

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL
MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENERIA CIVIL



**“USO DE CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA
VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES DE
ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL”**

TESIS PRESENTADA POR EL BACHILLER
CARLOS ROLANDO IBARCENÀ LAJO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AREQUIPA – PERU

2013

DEDICATORIA

A DIOS por haberme dado unos padres maravillosos que me apoyaron constantemente para la realización de mis objetivos, a quienes debo todo lo que soy.

A mis docentes que me infundieron conocimientos muy valiosos a lo largo de toda mi estadía en la Universidad.



RESUMEN

La presente tesis es de tipo experimental, propone la utilización de roca volcánica, como es la piedra pómez, en la fabricación de bloques de concreto para ser usados en la construcción de tabiques. Se sabe que los agregados en el concreto ocupan el 75% del volumen total, por lo que el uso de roca volcánica como agregado pueden reducir hasta un 50% el peso del concreto haciéndolo muy ligero y manejable, además de dar características adicionales como aislamiento acústico, aislamiento térmico y piro resistencia.

En la primera parte de la investigación se realizaron vaciados de especímenes, repartiéndose en tres grupos:

- ✓ Usando arena gruesa y piedra pómez entera
- ✓ Usando arena gruesa y piedra pómez entera saturada
- ✓ Usando piedra pómez fina saturada y piedra pómez entera saturada

Para cada caso se usaron diferentes relaciones agua-cemento con dosificaciones tentativas de agregado grueso: agregado fino. La cantidad de agua que se usó, fue la que lograba un asentamiento de 1 pulgada en el concreto fresco, posteriormente se ensayaron los especímenes a los 7, 14, 21 y 28 días de edad, finalmente se creó un diseño de mezclas especialmente hecho para fabricar concreto con piedra pómez.

Las densidades alcanzadas fueron de 1480Kg/m³, cuando se usaba arena gruesa y de 1080Kg/m³, cuando se usaba piedra pómez fina. Luego de tener un diseño de mezclas establecido se procedió a fabricar los bloques de concreto para realizar los ensayos correspondientes, y formar pilas de bloques para someterlos a compresión, los ensayos resultaron exitosos y se procedió a construir un tabique con dichos bloques para poder calcular el rendimiento de la mano de obra y los acabados.

En la parte final se realizaron los respectivos análisis de costos y beneficios comparando nuestros bloques ligeros con bloques convencionales, llegándose a la conclusión de que estos tienen un costo similar al de un bloque de concreto convencional pero son más vistosos y tienen mejor conductividad térmica, sin embargo es posible reducir aún más su densidad llegándose a un nivel de confort aún más alto a costa de un precio 18% más alto.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la incidencia de la adición de roca volcánica como agregado grueso en las características físicas, mecánicas y económicas del concreto ligero para la fabricación de unidades de albañilería no estructural.

Objetivos específicos:

- Calcular la dosificación óptima para la fabricación de unidades de albañilería no estructural de concreto ligero con adición de roca volcánica.
- Determinar cómo incide la adición de roca volcánica como agregado grueso en las características físicas y mecánicas de unidades de albañilería no estructural de concreto ligero.
- Establecer las diferencias físicas, mecánicas y económicas que existen entre una unidad de albañilería no estructural de concreto ligero con adición de roca volcánica y una unidad de albañilería no estructural convencional.

1.2 AMBITO GEOGRAFICO

- Departamento: Arequipa.
- Ciudad: Arequipa.
- Alta sismicidad: Zona 3
- Altitud promedio: 2300 m.s.n.m.
- Temperatura promedio: 20°C
- Humedad relativa promedio: 46%

1.3 JUSTIFICACION

Los concretos ligeros ofrecen propiedades adicionales a las que ofrece un concreto convencional o una unidad de arcilla.

El principal inconveniente del uso de concretos ligeros es la baja resistencia tanto a la compresión como a la abrasión comparado a su costo de fabricación, pero esto puede compensarse con las características de este material como son:

- Aislamiento acústico
- Aislamiento térmico
- Piro resistencia
- Durabilidad comparable a la de un bloque común
- Baja densidad

Dichas propiedades hacen que el muro no portante brinde un mayor nivel de confort a la estructura en general y sea aprovechada durante toda la vida útil de la estructura.

Como principales características de este material, se tienen el aislamiento acústico y el aislamiento térmico, las cuales son muy bien aprovechadas por muros divisorios en viviendas, por lo que el uso de bloques de concreto ligero va enfocado hacia la construcción de tabiques, principalmente.

Encontrar un método de diseño óptimo para hacer bloques de concreto ligero que cumplan con las exigencias de la Norma Técnica Peruana y tenga ventajas sobre unidades comunes para la construcción de tabiques, haría que esta alternativa de construcción con bloques de concreto ligero sea factible.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 EL CONCRETO

El concreto de uso común, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: cemento, agregados y agua. En un primer momento, este se encuentra en estado fresco y luego de unas horas endurece y toma la forma del recipiente que lo contiene. A continuación se detallan las características del concreto según el instituto de ingeniería de la UNAM:

2.1.1 Características y propiedades del concreto en estado fresco:

- **Cohesión y manejabilidad:** es la característica del concreto que evita la segregación en la mezcla y facilita su manejo durante la colocación en el encofrado.
- **Perdida de revenimiento:** es un término que describe el aumento de rigidez en la mezcla de concreto desde el momento en que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura.
Tanto el empleo de agregados porosos en condición seca como el uso de cementos portland-puzolana tienden a hacer perder revenimiento con mayor rapidez.
- **Tiempo de fraguado:** desde el momento se elabora el concreto, suceden reacciones químicas, durante este primer periodo, el concreto permanece sin grandes cambios en su consistencia; pero cuando la resistencia a la penetración¹ llega a 35 Kg/cm², el concreto comienza a perder fluidez notoriamente hasta convertirse en una masa rígida quebradiza no moldeable, se dice que el concreto ya ha fraguado cuando llega a una resistencia a la penetración de 280 Kg/cm² y empieza a adquirir resistencia mecánica. Es importante no confundir la pérdida de revenimiento que toda mezcla experimenta durante la primera media hora después del mezclado, con la rápida rigidización que se produce a causa del falso fraguado que ocurre en pocos minutos.
- **Segregación:** cuando el concreto es colocado en el encofrado o molde que lo contenga, se inicia un proceso natural donde el cemento y agregados tienden a

¹ Ensayo de resistencia a la penetración en el concreto: ASTM C-403

descender, mientras que el agua tiende a subir, de esta forma en superficie superior se forma una capa menos resistente y durable.

Para evitar problemas de segregación es conveniente usar la menor cantidad de agua en la mezcla, usar agregados que tengan una adecuada granulometría o usar cemento que tenga una mayor superficie específica².

2.1.2 Características y propiedades del concreto en estado endurecido:

- **Adquisición de resistencia mecánica:** la velocidad de hidratación del cemento es la que define la velocidad con que se adquiere resistencia mecánica, y esta es directamente proporcional a la superficie específica del cemento, a pesar de que el cemento portland-puzolana tenga mayor superficie específica, este no alcanza rápidamente resistencia mecánica ya que las puzolanas no aportan resistencia a edad temprana.
- **Generación de calor:** las reacciones que se producen entre el cemento y el agua son de carácter exotérmico, incrementando así la temperatura de la masa y al enfriarse sufre una contracción que genera esfuerzos de tracción que son capaces de agrietarlo. El riesgo que ocurra esto aumenta cuando se usa cemento de rápida hidratación (alta superficie específica), o en estructuras de gran espesor.
- **Resistencia al ataque de los sulfatos:** los sulfatos forman parte de las sales inorgánicas que frecuentemente se hallan presentes en los suelos y aguas superficiales o freáticas. Se sabe que el aluminato tricálcico (C_3A), es el compuesto que reacciona con los sulfatos externos para dar sulfoaluminato de calcio, cuya formación genera expansiones que desintegran gradualmente el concreto.

Para evitar esta generación de expansiones es necesario usar cemento con bajo contenido de C_3A , aunque existen algunas puzolanas que son capaces de mejorar la resistencia a los sulfatos.

- **Estabilidad volumétrica:** una característica indeseable del concreto es su predisposición a sufrir contracciones que crean agrietamientos. La contracción

² Grado de finura del cemento, siendo los de mayor superficie específica el tipo III y portland-puzolana

plástica ocurre en la etapa del fraguado que suele relacionarse con el exceso de agua en la mezcla y la deficiencia de protección y curado. La contracción térmica se debe al enfriamiento gradual del concreto luego de haberse calentado por efecto de la hidratación del cemento. La contracción por secado sucede a largo plazo cuando la estructura pierde agua por efecto de evaporación.

- **Estabilidad química:** se sabe que ningún agregado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, algunas de estas reacciones son benéficas, pero otras son perjudiciales y se les denomina reacciones álcali-agregado, se conocen tres tipos de modalidades que se distinguen por la naturaleza de la roca:
 - Álcali-sílice
 - Álcali-silicato
 - Álcali-carbonato

Siendo la reacción álcali-sílice, por mucho la más frecuente.

2.1.3 Agua para el concreto

El agua tiene dos funciones en el concreto: la primera como ingrediente en la elaboración del concreto y la segunda como medio de curado en estructuras recién construidas.

Durante la etapa de mezclado, el agua tiene la función de hacer que la mezcla que está siendo elaborada tenga el asentamiento deseado, según sea la estructura que se esté fabricando. A mayor cantidad de agua en la mezcla, mayor será el asentamiento y también el segregamiento.

Cuando el concreto empieza a endurecer, va perdiendo parte del agua que se usó en la mezcla, dejando poros en los lugares donde se alojaba haciendo que la resistencia mecánica del concreto disminuya, a la vez hace que el concreto sea más permeable haciéndolo más vulnerable a recibir ataques químicos del exterior.

La cantidad de agua que se use en la mezcla define la fluidez de la mezcla, pero esto no quiere decir que toda la cantidad de agua reaccionara con el cemento, se sabe que la relación agua cemento (a/c) necesaria es del 0.18³ ya que solo se necesita el 17% del peso del cemento para que este reaccione, el resto del agua se evapora.

³ Fuente: Instituto de ingeniería UNAM

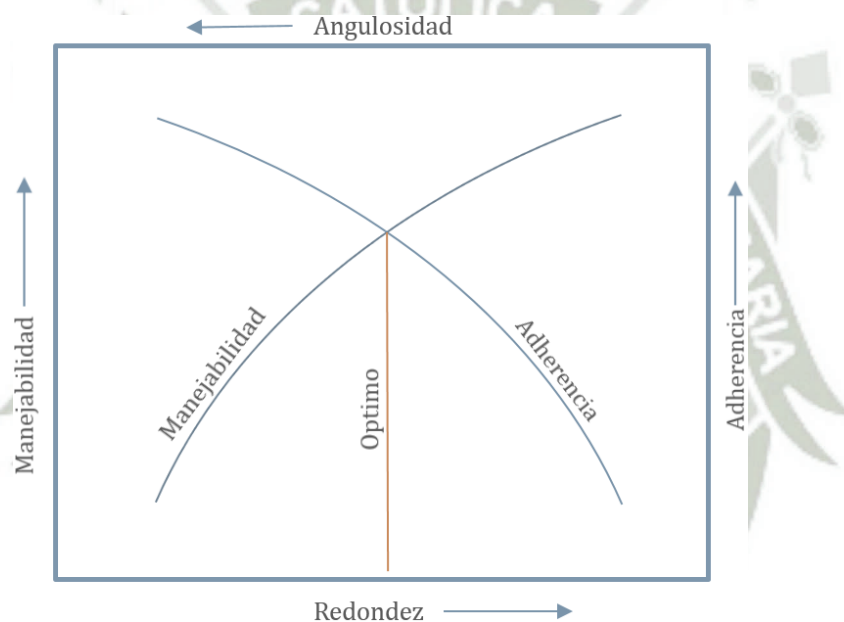
2.1.4 Agregados del concreto

En la mezcla de concreto convencional, los agregados suelen representar entre el 60 y 75 por ciento del volumen absolutos del concreto, de ahí la gran influencia que tienen estos sobre la mezcla. En la siguiente tabla se resume las características de los agregados que influyen en el concreto.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Granulometría	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua • Segregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Costos
Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos
Densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario
Sanidad	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad
Absorción y porosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de revenimiento • Contracción plástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Permeabilidad
Forma de partículas	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Costos
Textura superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Resistencia al desgaste • Costos
Tamaño máximo	<ul style="list-style-type: none"> • Segregación • Peso unitario • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Peso unitario • Permeabilidad • Economía
Reactividad álcali-agregado		<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad
Módulo de elasticidad		<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad • Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la abrasión • Durabilidad
Resistencia mecánica		<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • Contracción plástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Durabilidad • Reventones superficiales
Coefficiente de expansión térmica		<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades térmicas

Forma y textura superficial de las partículas: la forma y textura superficial no suele representar la calidad intrínseca de la roca, sino más bien su comportamiento en el concreto. Es necesario considerar los efectos que la variación de la forma superficial afecta al concreto, específicamente la influencia en la manejabilidad en estado fresco y la adherencia de las partículas en estado endurecido.

A medida que la angulosidad del agregado es mayor, su adherencia y por lo tanto su resistencia mecánica será más alta; en cambio si el agregado tiene mayor redondez, la manejabilidad del concreto en estado fresco será mayor. Esto se resume en el siguiente gráfico:



⁴Imagen 2.1.4

Propiedades térmicas: el concreto tiene características térmicas como son:

- Conductividad térmica: es el coeficiente que controla la velocidad de transferencia de calor por conducción (dQ/dt) a través de un área A , debido a un gradiente de temperatura (dT/dx).

⁴ Fuente: Instituto de ingeniería UNAM

- Calor específico: es la magnitud física que define cantidad de calor que requiere un objeto de masa “m” para elevar su temperatura en un grado Kelvin, el calor específico el agua es de $4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Calor: el calor es el proceso de transferencia de energía térmica entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas.
- Difusividad térmica: la difusividad térmica es la capacidad de un material de adaptarse a la temperatura que lo rodea.

2.1.5 Roca volcánica

Las rocas volcánicas o rocas ígneas extrusivas, son rocas que se formaron por el enfriamiento rápido de la lava en la superficie terrestre a escasa profundidad, obteniendo así un aspecto poroso y de baja densidad. Las rocas volcánicas se ubican en los alrededores de zonas volcánicas, como es el caso de Arequipa.

Cuando la roca volcánica es usada como agregado en la fabricación de concreto, puede reducir su densidad hasta más del 50% con respecto a un concreto convencional.

Piedra Pómez:

La piedra pómez es un tipo de roca volcánica conocido desde la antigüedad, que fue usado para diversos fines, desde elemento abrasivo (cuando se trata de un tipo de piedra pómez de alta dureza), hasta agregado para la construcción. Al ser un material poroso, funciona como un excelente aislante térmico que mejora la calidad de vida cuando se usa en la construcción de viviendas.

Características:

Químicamente es un silicato volcánico de aluminio⁵. Su estructura está compuesta por partículas vítreas con un alto contenido de sílice superior al 50%, y por una gran cantidad de poros diminutos que le proporcionan un bajo peso unitario que se encuentra entre 350 Kg/m³ y 800 Kg/m³.

La explotación de piedra pómez se hace a tajo abierto, en la naturaleza puede encontrarse en granos tan finos como la arena, hasta diámetros de más de 2 pulgadas.

La siguiente tabla resume las características de la piedra pómez:

Nombre de la roca	Piedra pómez, pumita, pumicita
Tipo	Roca volcánica
Grupo	Ígnea
Estructura	Formas variadas
Composición química	Trióxido de sílice y trióxido de aluminio, entre otros componentes: 71% de SiO ₂ , 12.8% de Al ₂ O ₃ , 1.75% de Fe ₂ O ₃ , 1.36% de CaO, 3.23% de Na ₂ O, 3.83% de K ₂ O, 3.88% de H ₂ O.
Formación y origen	Piro clástico, poroso que se constituyen de vidrio en forma de espuma que se forman durante el enfriamiento rápido del magma de alta viscosidad.
Dureza	5-6 Mohs. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie.
Textura	Porosa, esponjosa, espumosa. Con muchos huecos y cavidades.
Densidad	Sus poros cerrados le brindan una baja densidad, de 0.4 g/cm ³ a 0.9 g/cm ³ .
Color	Blanco grisáceo, ceniza, amarillento.

⁵ Arq. Edgar A. Huamán Gamarra, Universidad Peruana Los Andes.

<p>Propiedades</p>	<p>El origen volcánico le dio ciertas características a la piedra pómez: una multitud de poros y células cerradas dan por resultado una porosidad con una solidez de grano al mismo tiempo. Si porosidad le permite absorber y retener el agua, además de hacerla ligera y otorgarle condiciones particulares, especialmente para el filtrado de productos de elaboración industrial. La piedra pómez es tan suave que puede ser tallada, torneada y grabada con gran facilidad. Su color blanco le da una gran vistosidad, siendo también útil para la decoración. Debido a su ligereza puede flotar sobre las aguas a causa del aire contenido en sus cavidades. Aparte de eso la piedra pómez es resistente al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua. Las partículas de esta roca volcánica, poseen variadas formas predominando las alargadas y las angulosas. Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie trabajada.</p>
<p>Usos</p>	<p>Tiene múltiples usos: como filtrante en la industria, como aireador de suelos en la agricultura, y en la elaboración de polvos abrasivos para cosmetología, odontología y distintos procesos químicos. Limpieza de superficies delicadas en construcción civil y monumental tales como estucos, esgrafiados, bajorrelieves, y de forma general, todas aquellas superficies en las que sea deseable una aplicación suave. Aplicable también a superficies metálicas para matizado muy leve. La pumicita para horticultura se emplea en cultivos diversos, invernaderos, campos de golf, jardinería de paisaje, etc. La pumicita es un gran complemento para el suelo. Provee porosidad para la aireación y al mismo tiempo retiene el agua en el área, permitiendo a las plantas permanecer verdes y saludables por periodos más prolongados entre lluvias o riegos. La piedra pómez es la materia prima ideal para el material de un buen muro, porque es porosa, ligera, dura (relativo a la solidez del grano) y no inflamable</p>

⁶Tabla 2.1.5

La piedra pómez que se usó en este trabajo investigativo fue extraída de la cantera de Chiguata-Arequipa.



2.1.6 Puzolana

Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la antigüedad Romana hasta la invención del cemento Portland en el siglo XIX. Hoy en día el cemento puzolánico se considera un ecomaterial.

Tipos de puzolanas:

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

⁶Características de la piedra pómez. Fuente: Arq. Edgar Huamán Gamarra, Universidad Peruana Los Andes.

- Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.
- **Puzolanas artificiales:**
 - Cenizas volantes: las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
 - Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.
 - Escorias de fundición: principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
 - Cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

Las ventajas que ofrece la puzolana en el cemento son las siguientes:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de Hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la Abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua.

En Arequipa, la puzolana tiene un color rojizo y se encuentra en su mayor parte en el distrito de Cerro Colorado (el nombre del distrito justifica la abundancia de este material), su textura es fina.



⁷Imagen 2.1.6

2.2 DISEÑO DE MEZCLAS

Existen varios métodos de diseños de mezclas, pero casi todos son variaciones del método del ACI (American Concrete Institute); este método exige que conozcamos las siguientes características:

- **Resistencia a la compresión ($f'c$):** es la resistencia a la compresión que se requiere que alcance el concreto a la edad de 28 días. La unidad de medida es “Kg/cm²”.
- **Peso específico del cemento (PEc):** es la relación entre la masa en el aire de un volumen de cemento y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/cm³”.

⁷Puzolana siendo usada en obra.

- **Peso unitario compactado del agregado grueso (PUg):** es la relación que existe entre la masa de un grupo de partículas de agregado grueso, entre el volumen que ocupan todas ellas, incluyendo los espacios vacíos entre partículas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Peso específico del agregado grueso (PEg):** es la relación que existe entre la masa, en el aire, de un volumen de agregado grueso y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/cm³”.
- **Porcentaje de absorción del agregado grueso (ABSg):** es la relación que existe entre el peso del agua que puede absorber una cantidad de agregado grueso y el peso de la misma cantidad de agregado grueso en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Contenido de humedad del agregado grueso (HUMg):** es la relación que existe entre el peso del agua que contiene una cantidad de agregado grueso al momento de realizar el vaciado y el peso de la misma cantidad de agregado grueso en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** está definido como el siguiente tamiz (mayor) al tamiz cuyo porcentaje retenido acumulado es 15% o más. La unidad de medida es “pulgada (’)”.
- **Peso específico seco del agregado fino (PEf):** es la relación que existe entre la masa, en el aire, de un volumen de agregado fino y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/cm³”.
- **Porcentaje de absorción del agregado fino (ABSf):** es la relación que existe entre el peso del agua que puede absorber una cantidad de agregado fino y el peso de la misma cantidad de agregado fino en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Contenido de humedad del agregado fino (HUMf):** es la relación que existe entre el peso del agua que contiene una cantidad de agregado fino al momento de realizar el vaciado y el peso de la misma cantidad de agregado fino en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Módulo de fineza del agregado fino:** es un valor numérico que mide la fineza que tiene el agregado, mientras este valor sea menor, será más fino. No tiene unidad definida.

- **Cantidad de datos estadísticos:** es necesaria para calcular la resistencia a la compresión requerida (f'_{cr}), si se cuenta con 15 a 29 datos estadísticos, también se requiere de la cantidad de ensayos.
- **Tipo de estructura (a):** define el tipo de estructura que se va a fabricar para saber que asentamiento será necesario.

A continuación se describen los pasos a seguir para realizar el diseño de mezclas según el ACI.

a) **Calculo de la resistencia a la compresión requerida:** tomando como base el método de diseño de mezclas del ACI, existen tres formas de calcular f'_{cr} , de acuerdo a la cantidad de datos estadísticos⁸ con que se cuenta:

- (1) **Se cuenta con suficientes datos estadísticos (>30):** la resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}), es el mayor valor resultante de las siguientes formulas:

$$f'_{cr} = f'c + 1.34 * S$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33 * S - 35$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1}}$$

Dónde:

- f'_{cr} : resistencia a la compresión requerida en Kg/cm².
- S: desviación estándar en Kg/cm².
- x_i : resistencia de un espécimen en Kg/cm².
- x : resistencia promedio de “n” especímenes.
- n: número de especímenes ensayados.

⁸ Se toman como datos estadísticos a los resultados de obras anteriores que cumplan con los siguientes requisitos:

- Tener materiales, control de calidad y condiciones similares.
- Tener una $f'c$ dentro del rango de ± 70 Kg/cm².

- (2) **Se cuenta con pocos datos estadísticos (15-29):** cuando se cuentan con pocos datos estadísticos, se procede de igual forma que en el caso anterior, con la diferencia que se aplica la siguiente fórmula para la desviación estándar:

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1}} \right) * f$$

Dónde:

- f: factor de corrección:

# de ensayos	Factor de corrección (f)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

⁹Tabla 2.2.a

- (3) **No se cuenta con datos estadísticos (<15):** de acuerdo al ACI, en este caso se usa la siguiente tabla:

f'c	f'cr
Menor a 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
Mayor a 350	f'c + 98

¹⁰Tabla 2.2.b

⁹ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular el factor de corrección de la desviación estándar cuando se cuenta con pocos datos estadísticos.

¹⁰ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la f'cr, en concretos convencionales, cuando no se cuenta con datos estadísticos.

- b) **Contenido de agua:** según el ACI, la cantidad de agua que debe usarse, depende del TMN del agregado grueso, el asentamiento que se desea lograr y de las condiciones donde se fabrica la mezcla (cuando la temperatura es mayor o menor a 0°C):

Asentamiento	Agua en lt/m ³						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Sin aire incorporado							
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160
Con aire incorporado							
1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133
6" - 7"	216	205	187	184	174	166	154

¹¹Tabla 2.2.c

- c) **Relación a/c:** esta relación depende del tipo de dosificación que se quiera usar:

f'cr	Relacion a/c	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
150	0.8	71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	--
450	0.38	--

¹¹ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la cantidad de agua requerida en 1 m³ de mezcla para lograr un asentamiento deseado.

¹²Tabla 2.2.d

d) **Contenido de aire:** depende el TMN del agregado, según el ACI es el siguiente:

TMN	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%

¹³Tabla 2.2.e

e) **Contenido de cemento:** se calcula dividiendo la cantidad de agua ente la relación a/c:

$$C = \frac{A}{a/c}$$

f) **Peso del agregado grueso:** se calcula dividiendo la cantidad de agua ente la relación a/c:

TMN	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para módulos de fineza			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
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

¹⁴Tabla 2.2.f

¹² Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la reacion a/c, de acuerdo a una resistencia a la compresión requerida.

¹³ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la cantidad de vacíos de acuerdo al TMN del agregado grueso.

¹⁴ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular el volumen de agregado grueso que se usara en la mezcla.

- g) **Volúmenes absolutos sin considerar agregado fino (V):** se procede a calcular el volumen que ocupara cada material en la mezcla, dividiendo el peso entre el peso específico, sin considerar el agregado fino:

MATERIAL	PESO	PE	VOL
cemento			
agua			
ag. grueso			
aire			
		TOTAL	V

¹⁵Tabla 2.2.g

- h) **Calculo del volumen de agregado fino:** de lo anterior, se restan 1 m^3 y el volumen total, para calcular el volumen de agregado fino:

$$V_f = 1 - V$$

- i) **Peso en estado seco de los agregados:** se obtiene de la multiplicación del volumen obtenido anteriormente con su peso específico:

- (1) **Peso seco del agregado grueso:**

$$PS_g = V_g * PE_g$$

- (2) **Peso seco del agregado fino:**

$$PS_f = V_f * PE_f$$

- j) **Peso en estado húmedo de los agregados:** se obtiene añadiendo el peso del agua que contienen los agregados, al peso seco del mismo:

- (1) **Peso húmedo del agregado grueso:**

$$PH_g = PS_g * (1 + HUM_g)$$

- (2) **Peso húmedo del agregado fino:**

¹⁵ Fuente: American Concrete Institute (ACI), se calcula el total del volumen sin contar el agregado fino

$$PH_f = PS_f * (1 + HUM_f)$$

k) **Corrección por humedad:** en este paso, se calcula la cantidad de agua que aportan o retienen los agregados a la mezcla:

(1) **Aporte de agua del agregado grueso:**

$$A_g = PS_g * (ABS_g - HUM_g)$$

(2) **Aporte de agua del agregado fino:**

$$A_f = PS_f * (ABS_f - HUM_f)$$

(3) **Aporte de agua total:**

$$A_t = A + A_g + A_f$$

l) **Dosificación en peso:** para poder realizar el vaciado se necesitan los pesos los materiales que serán agregados a la mezcla, se dividen los pesos de cada material¹⁶ entre el peso del cemento:

(1) **Peso del cemento:** calculado en el paso “e)” (C).

(2) **Peso del agregado grueso:** calculado en el paso “j)” (PH_g).

(3) **Peso del agregado fino:** calculado en el paso “j)” (PH_f).

(4) **Peso del agua:** Calculado en paso “k)” (A_t).

2.3 BLOQUES DE CONCRETO

La construcción de muros con bloques de concreto es un procedimiento de construcción acreditado en los últimos 50 años que cumple en especial con las condiciones técnico-económicas para ser empleado en la construcción de viviendas de bajo costo¹⁷, ya que ofrece las siguientes ventajas

- Tienen un costo reducido por metro cuadrado de muro

¹⁶ En el caso de los agregados, se tomaran los pesos húmedos.

¹⁷ Fuente: <http://civilgeeks.com>

- El empleo de bloques de concreto permite una reducción apreciable en la mano de obra con relación a otros sistemas, tanto por el menor número de unidades a colocar, como por la simplificación de tareas.
- El muro de bloques de concreto requiere menor cantidad de mortero, lo que significa economía de mano de obra y de materiales.
- Los paramentos de la albañilería de bloques resultan lisos y regulares, por lo cual no exigen necesariamente revestimiento. Eventualmente se puede mejorar el aspecto con pintura de cemento. En caso que se especifique revestimiento, el censor del revoque es reducido, por lo que se obtiene economía de materiales y de mano de obra.
- El empleo de bloques de concreto facilita el refuerzo del muro.
- El muro con bloque de concreto presenta gran durabilidad y brinda al usuario confort térmico y acústico.

Un bloque de concreto está constituido por cemento portland, agregados (piedra chancada, arena, granulados volcánicos, escorias, puzolana, tierra de chacra, etc.) y agua.

Los bloques de concreto se subdividen en dos tipos, según las Normas técnico peruanas (NTP):

- Bloques de concreto para uso estructural
- Bloques de concreto para uso no estructural

2.4 MORTEROS

En definición general, mortero es toda mezcla de cemento + arena + agua, pueden tener o no una función estructural. En general, es costumbre hablar de morteros de relación 1:n (1:3, 1:4, etc.), queriendo indicar las partes de cemento:arena, sin embargo en morteros de igual relación 1:n e igual manejabilidad, pueden arrojar diferentes resistencias a la compresión ya que la granulometría de la arena influye.

Dado que el mortero representa una parte importante del volumen del muro, es importante su estudio teniendo en cuenta sus funciones:

- Función estética: dar acabado al muro, textura, color, etc.
- Función estructural:

- Unión de las unidades
- Impermeabilizante
- Si se trata de albañilería estructural: envuelve, protege y une a la armadura.
- recubrimiento

Existen varios tipos de morteros:

- Morteros calcáreos
- Mortero de yeso
- Mortero de cal y cemento
- Mortero de cemento

2.4.1 Morteros de yeso

Se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso. En obras corrientes se agrega el 50%, 115 para estucos el 60% y para moldes el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora.

2.4.2 Morteros calcáreos

Morteros en los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos. Las cales áreas más conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena más usada para revoque es de 1 -2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad.

2.4.3 Morteros de cal y cemento

De acuerdo a la norma ASTM C270, los morteros se clasifican por sus propiedades o proporciones.

- Especificación por propiedades: adquiere sentido para efectos de diseño en laboratorio, mas no para morteros mezclados en obra. La siguiente tabla resume lo dicho:

Tipo de mortero	f'c (Kg/cm ²)	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Relación de agregados
M	175	75	12	No menor que 2.25, ni mayor a 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	125	75	12	
N	50	75	14	
O	25	75	14	

¹⁸Tabla 2.4.3.a

- Especificación por proporciones: se basa en el conocimiento de los pesos unitarios de los materiales de la mezcla.

Tipo de mortero	Cemento portland	Cal apagada	Relación de agregados
M	1	0.25	No menor que 2.25, ni mayor a 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	1	0.25 - 0.50	
N	1	0.50 - 1.25	
O	1	1.25 - 2.50	

¹⁹Tabla 2.4.3.b

- **Características del mortero tipo “M”:**
 - Es un mortero de alta resistencia a la compresión.
 - Brinda mayor durabilidad en comparación de los otros tipos de morteros.
 - Uso destinado a mampostería sometida a grandes fuerzas de compresión acompañadas de congelamiento, grandes cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
 - Se recomienda su uso en estructuras en contacto con el suelo, cimentaciones, muros de contención, etc.
- **Características del mortero tipo “S”:**
 - Posee mayor adherencia que otros morteros.
 - Uso en estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que a la vez requieran alta adherencia.

¹⁸ Fuente: Tecnología de los morteros, Universidad militar nueva Granada, Bogotá, Colombia.

¹⁹ Fuente: Tecnología de los morteros, Universidad militar nueva Granada, Bogotá, Colombia.

- Debe usarse en casos donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como el revestimiento de cerámicos.
- **Características del mortero tipo “N”:**
 - Es un mortero de propósito general y es utilizado en estructuras sobre el nivel del suelo.
 - Es bueno en enchapes, paredes internas y divisiones.
 - Representa la mejor combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía.
 - Alcanzan una resistencia a la compresión cerca de 125kg/cm
 - Debe tenerse en cuenta que la mano de obra y los elementos dealbañilería afectan esta resistencia.
- **Características del mortero tipo “O”:**
 - Son morteros de baja resistencia y alto contenido de cal.
 - Son usados en construcción de vivienda de uno o dos pisos.
 - Es preferido por los albañiles por su alta trabajabilidad y bajo costo.

2.4.4 Morteros de cemento

Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación.

En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre sí, pues no existe suficiente pasta de cemento que actúe como lubricante. Por otro lado si el mortero es muy rico, es decir, con alto contenido de cemento, es muy resistente pero con alta retracción en el secado, o sea muy susceptible de agrietarse; estos morteros muy ricos sólo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como muros de contención o cimientos.

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones, tanques subterráneos.
1:3	Impermeabilizaciones menores.
1:4	Muros de albañilería, estuques finos.
1:5	Estuques exteriores, tabiquería.
1:6 y 1:7	Estuques interiores, tabiquería.
1:8 y 1:9	Construcciones que se demolerán pronto, estabilización de taludes.

²⁰Tabla 2.4.4.a

Calculo del volumen de mortero fabricado: A continuación se describe el proceso de cálculo del volumen de mortero a fabricar:

- a) **Calculo del peso de una proporción:** sabiendo que “n” define la relación del mortero 1:n, tenemos:

	Volumen	Peso Unitario	Peso (Kg)
Cemento	1 pie ³	1500 Kg/m ³	42.5
Arena	n pie ³ = n/35.315 m ³	PUa Kg/m ³	n*PUa/35.15
		TOTAL	n*PUa/35.15+42.5

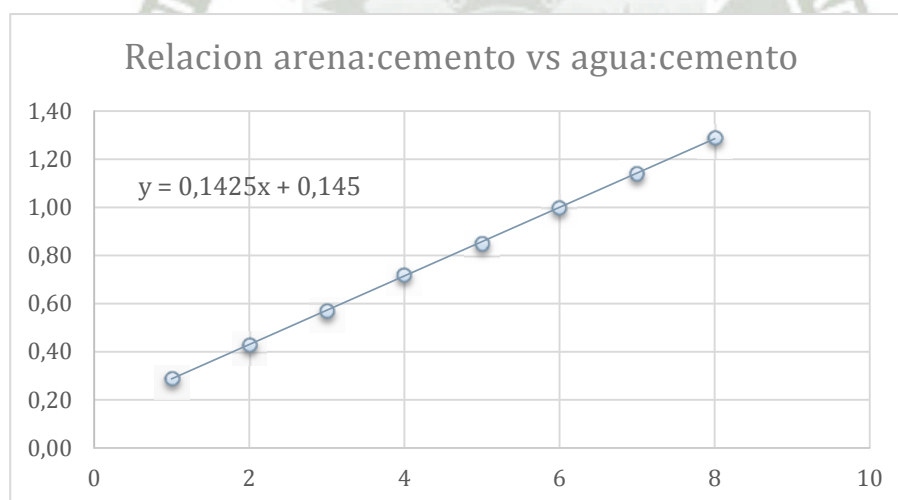
- b) **Calculo de la relación a/c:** se sabe que la relación a/c varia con respecto a la relación 1:n, de acuerdo a CAPECO, se buscó una función que defina la relación que existe entre estas dos variables:

²⁰ Uso de morteros de cemento, Universidad Nacional de Colombia.

Proporción	Relación a/c	Cantidad de materiales por m3 de Mortero *		
		Cemento (bolsa)	Arena (m3)	Agua (litros)
1 : 1	0,29	23,2	0,66	286
1 : 2	0,43	15,2	0,86	277
1 : 3	0,57	11,2	0,96	272
1 : 4	0,72	8,9	1,00	272
1 : 5	0,85	7,4	1,05	268
1 : 6	1,00	6,3	1,07	269
1 : 7	1,14	5,5	1,10	267
1 : 8	1,29	4,9	1,11	268

²¹Tabla 2.4.4.b

Se realizó un gráfico con ambas variables y se hizo una línea de tendencia lineal para calcular una ecuación que más se aproxime.



$$a/c = 0.1425 * n + 0.145$$

- c) **Rendimiento de la mezcla:** en este paso se calcula el volumen total de mezcla que puede fabricarse con el peso que se encontró en el paso “a”):

²¹ Fuente: Costos y presupuestos, CAPECO.

	Peso (Kg)	Peso Especifico	Volumen
Cemento	42.5	PEc Kg/m ³	42.5/PEc
Arena	n*PUa/35.15	PEa Kg/m ³	n*PUa/35.15/PEa
Agua	42.5*a/c	1000 Kg/m ³	0.0425*a/c
		SUBTOTAL	
		Aire (1%)	
		TOTAL	V

d) **Calculo de la dosificación en volumen:** se calcula la cantidad de material que se usara para una bolsa de cemento:

Cemento	Arena	Agua
1/V	n/35.315/V	42.5*a/c/V

e) **Corrección por humedad:** se calcula la cantidad de agua aportada por la arena:

$$At = Agua + Va * PEa * (ABSa - HUMa)$$

Dónde:

- At: agua total a usar en la mezcla
- Agua: cantidad de agua calculada en el paso “d”
- Va: volumen de arena calculada en el paso “d”
- PEa: peso específico de la arena
- ABSa: porcentaje de absorción de la arena
- HUMa: porcentaje de humedad de la arena

2.5 NORMAS TECNICO PERUANAS (NTP)

2.5.1 Normas técnico Peruanas en el concreto

Las normas que rigen los procedimientos para fabricar el concreto son las siguientes:

- Cuarteo de agregado: NTP 400.010
- Análisis granulométrico: NTP 400.012
- Peso unitario suelto y compactado: NTP 400.017
- Peso específico y porcentaje de absorción para agregado grueso: NTP 400.021
- Peso específico y porcentaje de absorción para agregado fino: NTP 400.022
- Contenido de humedad: ASTM D-2216
- Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas: NTP 339.034:2008

2.5.2 Normas técnico Peruanas en bloques de concreto

Las normas que rigen las características de los bloques de concreto son las siguientes:

- **Unidades de albañilería, métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería: NTP 399.613**

Refiere al ensayo de absorción en bloques de concreto, considera a la absorción de un bloque, al peso del agua que el bloque puede absorber, expresado en porcentaje del peso seco del bloque.

- **Unidades de albañilería, bloques de concreto para uso no estructural: NTP 399.600**
 - **Requisitos físicos:**
 - Promedio de 3 unidades = 4.2 Mpa
 - Unidad individual = 3.5 Mpa
 - **Variaciones en las dimensiones**
 - Espesor mínimo de pared = 13 mm
 - Las dimensiones no deben diferir más de +3 mm de las especificadas.
 - **Acabado y apariencia**
 - Todas las unidades deben estar en buenas condiciones y libres de grietas u otros defectos que podrían interferir con su empleo adecuado

o deteriorar significativamente la resistencia o durabilidad de la construcción. Las grietas menores inherentes al método usual de fabricación o los astillamientos leves que resultan de los métodos habituales de manipulación en el envío y distribución no son causa de rechazo.

- Cuando las unidades sean empleadas en la construcción de muros expuestos, la cara o caras expuestas no deben mostrar astillamientos ni agrietamientos, ni otras imperfecciones que pudieran ser vistas desde una distancia no menor de 6 metros bajo luz difusa.
 - Se permite que el 5% de un envío tenga astillamientos no mayores de 25 mm en alguna dimensión, o grietas no más anchas de 0,5 mm y no más largas que el 25% de la altura nominal de la unidad.
 - El color y la textura de las unidades deben ser especificados por el comprador. Las superficies acabadas que serán expuestas deben estar conformes con una muestra aprobada consistente en no menos de cuatro unidades, que representarán el rango de textura y color permitido.
- **Muestreo y método de ensayo**
- El comprador o representante autorizado debe estar conforme con las facilidades adecuadas para inspeccionar y muestrear las unidades en el lugar de fabricación de los lotes listos para el reparto. Se deben permitir por lo menos diez días para la conclusión de los ensayos. El muestreo y ensayo de las unidades debe estar de acuerdo con la Norma Técnica Peruana 339.604.
- **Conformidad**
- Si la muestra ensayada de un envío falla conforme a los requisitos especificados, se debe permitir que el fabricante remueva las unidades de la muestra. Debe seleccionarse una nueva muestra por el comprador del lote retenido, según la NTP 399.604, y los ensayos correrán a costa del fabricante. Si la segunda muestra cumple con los requisitos, la posición remanente del envío representado por dicha muestra cumple

con las especificaciones. Si falla conforme a los requisitos especificados, el lote completo no deberá ser aceptado.

- **Unidades de albañilería, bloques de concreto para uso estructural: NTP 399.602**
Los requisitos para usos estructurales son los mismos que para uso no estructurales, adicionando los siguientes:

- **Requisitos físicos:**

- Promedio de 3 unidades = 7 Mpa
- Unidad individual = 6 Mpa
- Absorción máxima = 12%

- **Conductividad térmica en el concreto:** ya que no existe una norma técnico peruana que describa correctamente el proceso del cálculo de la conductividad térmica, para realizar este ensayo, se usó la ley de Fourier:

$$k = -\frac{dQ/dt}{A(dT/dx)}$$

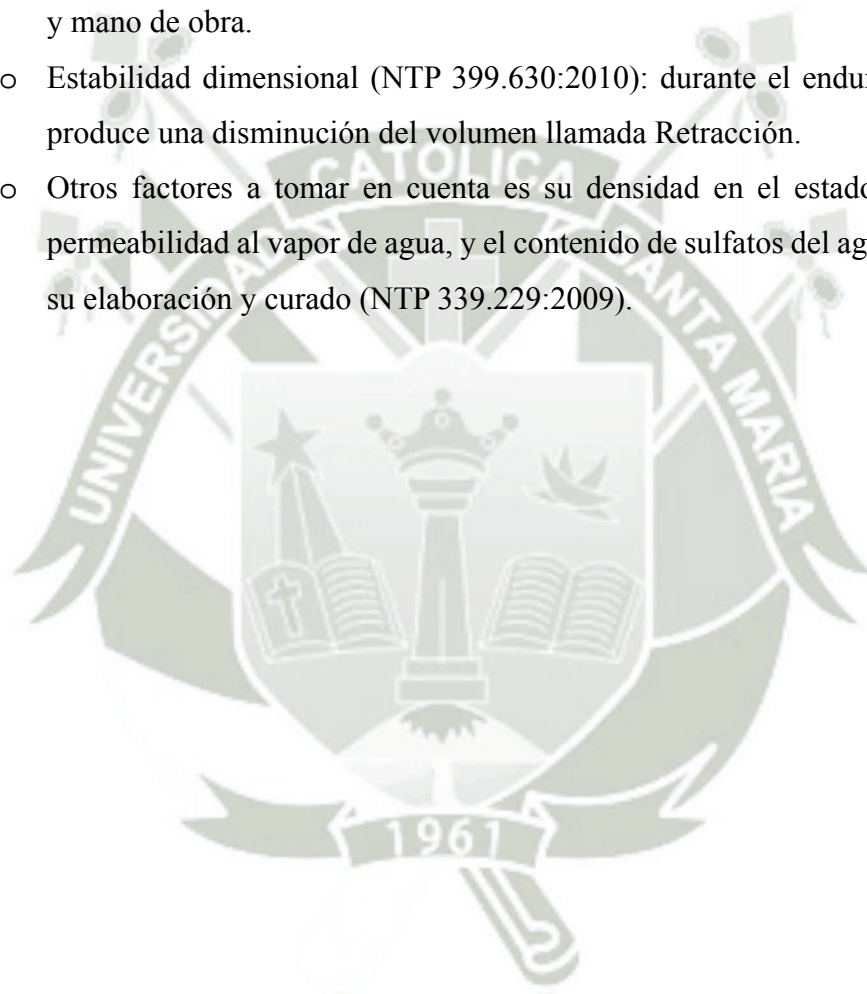
De esta forma se define la conductividad térmica como el coeficiente que controla la velocidad de transferencia de calor por conducción (dQ/dt) a través de un área A , debido a un gradiente de temperatura (dT/dx).

2.5.3 Normas técnico Peruanas en morteros

Las normas que rigen los procedimientos para fabricar mortero son las siguientes:

- En estado fresco:
 - Obtención de la mezcla (NTP 334.003:2008): Establece el método para obtener morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.
 - Tiempo de Utilización: se refiere al tiempo durante el cual el mortero tiene suficiente trabajabilidad, sin la adición posterior de agua para contrarrestar el fraguado.
 - Fluidéz del Mortero (NTP 334.057:2011): es un parámetro de la relación agua/cemento, la cual es un indicador de la trabajabilidad, se determina por medio de la mesa de sacudidas.

- Tiempo de Fraguado (NTP 334.006:2003): es el tiempo necesario para el endurecimiento completo del mortero.
- En estado endurecido:
 - Resistencia Mecánica a la Compresión (NTP 334.051:2006): determina la resistencia a la compresión en morteros de cemento Portland, usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
 - Adherencia (NTP 331.052): depende del tipo de mortero, soporte, preparación y mano de obra.
 - Estabilidad dimensional (NTP 399.630:2010): durante el endurecimiento se produce una disminución del volumen llamada Retracción.
 - Otros factores a tomar en cuenta es su densidad en el estado endurecido, permeabilidad al vapor de agua, y el contenido de sulfatos del agua usada para su elaboración y curado (NTP 339.229:2009).



CAPITULO III: FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO LIGERO

El proceso de fabricación de los bloques de concreto con agregado de roca volcánica, consto de tres etapas:

- Ensayos preliminares o pruebas exploratorias.
- Elaboración de un diseño de mezclas para concreto con roca volcánica.
- Fabricación del bloque de concreto propiamente dicho.

Después de fabricar los bloques de concreto, se procedió a realizar los respectivos ensayos, que son: ensayo a compresión, absorción, peso específico, conductividad térmica.

3.1 REQUISITOS Y PROCESO DE FABRICACION DEL BLOQUE DE CONCRETO

3.1.1 Requisitos del bloque de concreto

El agregado en el concreto ocupa aproximadamente el 75% del volumen de la mezcla, por lo que este influye enormemente en las características del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Requisitos en estado fresco:

- El asentamiento debe ser bajo.
- La mezcla debe tener la capacidad de evitar la segregación al momento en que se vibra el concreto dentro del molde.
- Debe tener una buena trabajabilidad para que sea fácilmente desmoldable luego de ser vibrado.

La roca volcánica es un elemento que contiene un gran porcentaje de poros, por lo tanto la cantidad de agua que se use en la mezcla debe ser más alta (comparada con el agua usada en una mezcla convencional) para que sea absorbida por los poros, a la vez ayuda a que la mezcla

no tenga una rigidización temprana. Al mismo tiempo la cantidad de agua debe hacer que la mezcla alcance un asentamiento bajo para evitar problemas de segregación.

De esta forma se concluye que la cantidad de agua en la mezcla juega un rol muy importante en el resultado final.

Si tomamos en cuenta que el tipo de cemento que se usara será constante (Tipo IP portland-Puzolanico), entonces la única forma de tener una adecuada trabajabilidad es hacer que la cantidad de finos sea la adecuada, si es necesario se deben agregar hasta alcanzar una buena trabajabilidad.

Requisitos en estado endurecido:

- El peso unitario debe ser menor al de un concreto convencional.
- La conductividad térmica debe ser menor a la de un concreto convencional.
- La resistencia a la compresión debe ser de 3.5 Mpa, si se usa en tabiquería y de 6 Mpa si se usa con fines estructurales.
- La resistencia en una pila de 3 unidades debe ser de 4.2 Mpa, si se usa en tabiquería y de 7 Mpa si se usa con fines estructurales.
- La absorción promedio de 3 unidades debe ser menor o igual al 12%, si se usa con fines estructurales.

Es lógico que al usar roca volcánica en el concreto, la densidad disminuirá considerablemente y por lo tanto la conductividad térmica también. La resistencia a la compresión se diseña, por lo que no habrá inconveniente en alcanzar la resistencia requerida. La absorción dependerá directamente de la cantidad de roca que se use en la mezcla, así que esta propiedad será la que definirá si es que el bloque es apto para ser usado con fines estructurales.

En resumen, las características del concreto endurecido son predecibles a partir de las características en estado fresco.

3.1.2 Fabricación del bloque de concreto

El primer paso para la fabricación de concreto, usando como agregado roca volcánica, es elegir la roca volcánica adecuada. Se realizaron pruebas exploratorias en 3 muestras:

- a) **Roca volcánica de Yura:** roca volcánica que fue hallada a 5 Km al norte de Yura, de dureza baja, color negro-rojizo. En la naturaleza se encuentra dispersa en fragmentos grandes y medianos. Esta roca se usa como piletas o cascadas en parques y jardines o también es tallada para hacer



²²Imagen 3.1.2.a



²³Imagen 3.1.2.b

adornos artificiales con un toque rustico.

Se procedió a realizar todos los ensayos de laboratorio, necesarios para hacer un vaciado. La roca tuvo que ser fracturada en fragmentos hasta llegar a un tamaño máximo nominal de ½”.

²² Roca volcánica de Yura en su estado natural.

²³ Roca volcánica de Yura: uso como cascada rustica artificial.



²⁴Imagen 3.1.2.c

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Peso unitario suelto: 452.3 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 623.3 Kg/m³
- Peso específico: 875.3 Kg/m³
- Absorción: 35.49 %
- Contenido de humedad: 22.55 %

Esta roca tiene una dureza baja, lo que hace que sea susceptible a deshacerse en condiciones abrasivas. Al realizarse el vaciado con esta roca y arena gruesa, para una resistencia a la compresión requerida de 100 Kg/cm², se obtuvo una densidad seca de 1567 Kg/m³, alcanzando una resistencia de 52.57 Kg/cm².

²⁴ Roca volcánica de Yura, luego de ser chancada para poder realizar ensayos y vaciado.



²⁵Imagen 3.1.2.d

- b) **Roca volcánica de Yarabamba:** roca volcánica hallada en las afueras de Yarabamba, carretera a Chapi, de dureza media-alta, color rojizo. Esta roca tiene mayor peso específico y se encuentra dispersa en grandes fragmentos.



²⁶Imagen 3.1.2.e

²⁵ Vaciado de especímenes, con roca volcánica de Yura.

²⁶ Roca volcánica de Yarabamba, en su estado natural.



²⁷Imagen 3.1.2.f

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Peso unitario suelto: 730.8 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 871.9 Kg/m³
- Peso específico: 1596.5 Kg/m³
- Absorción: 17.37 %
- Contenido de humedad: 21.51 %

Al igual que la roca de Yura, esta roca también tuvo que ser fracturada en fragmentos de 1/2” antes de ser ensayadas pero al tener una dureza más alta, fue más laborioso.

Esta roca tiene una dureza media-alta, lo que hace que alcance una mayor resistencia a la compresión, también es más resistente a la abrasión. Al realizarse el vaciado con esta roca y arena gruesa, para una resistencia a la compresión requerida de 100 Kg/cm², se obtuvo una densidad seca de 1645 Kg/m³, alcanzando una resistencia de 87.59 Kg/cm².

²⁷ Demostración de la ligereza de la roca volcánica de Yarabamba.

Al observar que los resultados en esta roca fueron motivadores, se procedió a hacer un estudio geológico de esta roca, cuyo resultado fue el siguiente:

- ✓ **Tipo de Roca: Piedra pómez**
- ✓ **Características generales:**
 - Aspecto: Granular – Fibroso - Conglomerático...
 - Color: Gris oscuro algo café con moteamiento algo blanquecino.
 - Densidad: Baja (+/- 0.4 a 0.9).
 - Compacidad: Porosa.
 - Coherencia: Coherente.
 - Superficie de fractura: Concoidea. Rugosa. Planar...
- ✓ **Composición (granos > 1 mm):**
 - Composición mineral: Sílice, Feldespatos, Micas. Arcillas.
 - Componentes petrográficos:
 - Granos:
 - granos monominerálicos:
 - granos poliminerálicos: Fragmentos de roca
 - otros granos:
 - Fase de unión: Cemento
- ✓ **Textura**
 - Tipo de textura: Afanítica - Microcristalina
 - Tamaño de grano // cristal:
 - Tamaño medio: muy fino.
 - calibrado: mal calibrada...
 - Forma de grano // cristal: Esférico y bien redondeado.
 - Empaquetamiento: Bajo.

c) **Piedra Pómez:** roca volcánica muy conocida y comercializada, de dureza media, color gris-blanco extraída de la cantera de Chiguata. En la naturaleza se encuentra en forma de arena y en forma de agregado grueso, hasta 2 pulgadas de diámetro. Tiene múltiples usos (ver Tabla N°1).

Se obtuvieron los siguientes resultados para la piedra pómez entera:

- Peso unitario suelto: 366.4 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 450.2 Kg/m³
- Peso específico: 1045.0 Kg/m³
- Absorción: 49.25 %
- Humedad (saturado): 43.74 %

Se obtuvieron los siguientes resultados para la piedra pómez fina:

- Peso unitario suelto: 721.0 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 854.9 Kg/m³
- Peso específico: 1266.5 Kg/m³
- Absorción: 34.13 %
- Humedad (saturado): 43.68 %
- Módulo de fineza: 3.24

Esta roca tiene una dureza media, y al ser muy comercial puede obtenerse fácilmente. Al realizarse el vaciado con esta roca y arena gruesa, para una resistencia a la compresión requerida de 100 Kg/cm², se obtuvo una densidad seca de 1038 Kg/m³, ya que se usó piedra pómez entera y piedra pómez fina en la mezcla, alcanzando una resistencia de 41.52 Kg/cm².

Al realizar las pruebas exploratorias de cada tipo de roca, se concluye que debe usarse la piedra pómez como agregado, ya que es la que alcanzo la densidad más baja y por lo tanto la más apta para la fabricación de un material de características térmicas y ligeras.

A diferencia de las rocas de Yura y Yarabamba, la piedra pómez se encuentra en su estado natural como fragmentos listos para ser agregados a la mezcla.

A continuación se describe todo el proceso que se siguió para hacer el diseño y fabricación de los bloques de concreto ligero, desde el momento en que se hicieron los ensayos preliminares, vaciados de especímenes, análisis de resultados, diseño de mezclas y fabricación de los bloques propiamente dichos.

3.1.2.1 Dosificación de concreto con agregado de piedra pómez

En esta etapa de la investigación se decidió hacer tres tipos de dosificaciones para comprobar las diferencias entre cada una y realizar crear un método de diseño de mezclas especialmente diseñado para fabricar concreto con agregado de piedra pómez.

Se ensayaron las siguientes dosificaciones:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.
- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.
- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

Los materiales que se usaron fueron los siguientes:

Arena gruesa: extraída de la cantera de Chiguata, presenta las siguientes características:

- Peso unitario suelto: 1374.0 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 1645.5 Kg/m³
- Peso específico: 2300.6 Kg/m³
- Absorción: 3.93 %
- Contenido de humedad: 2.12 %
- Módulo de fineza: 2.64

Piedra pómez entera:

- Peso unitario suelto: 366.4 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 450.2 Kg/m³
- Peso específico: 1045.0 Kg/m³
- Absorción: 49.25 %
- Humedad (saturado): 43.74 %

Piedra pómez fina:

- Peso unitario suelto: 721.0 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 854.9 Kg/m³
- Peso específico: 1266.5 Kg/m³
- Absorción: 34.13 %
- Humedad (saturado): 43.68 %
- Módulo de fineza: 3.24

Para comenzar se usaron dosificaciones tentativas en función a la relación agregado grueso entre agregado fino (AG/AF) en volumen, de la siguiente forma:

- Relación 1: $AG/AF = 4/3 = 1.333$
- Relación 2: $AG/AF = 4/4 = 1.000$
- Relación 3: $AG/AF = 4/5 = 0.800$

A su vez se subdividió cada relación, con la relación agregado grueso entre cemento (AG/C) en volumen, de la siguiente forma:

- $AG/C = 4.00$
- $AG/C = 6.00$
- $AG/C = 8.00$

De esta forma se ensayaron nueve grupos de especímenes para cada tipo de dosificación, cada grupo consta de cuatro especímenes, para ser ensayados a los 7, 14, 21 y 28 días de edad. La siguiente tabla resume los nueve grupos de especímenes que fueron fabricados para cada tipo de dosificación, a excepción de la dosificación 3, que consta de tres grupos de especímenes²⁸:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.
Peso unitario de agregado grueso: 408.20 Kg/m^3 .
Peso unitario de agregado fino: 1374.00 Kg/m^3 .

²⁸ A medida que la investigación fue avanzando, se comprobó que la dosificación 3 no podía ser usada en bloques con fines estructurales, por lo que se realizaron ensayos solo para alcanzar resistencias de 3.5 Mpa.

NOMBRE	CEMENTO	A.G.	A.F.
1-1	1.00	4.00	3.00
1-2	1.00	4.00	4.00
1-3	1.00	4.00	5.00
1-4	1.00	6.00	4.50
1-5	1.00	6.00	6.00
1-6	1.00	6.00	7.50
1-7	1.00	8.00	6.00
1-8	1.00	8.00	8.00
1-9	1.00	8.00	10.00

Tabla 3.1.2.1.a

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.
Peso unitario de agregado grueso: 616.38 Kg/m³.
Peso unitario de agregado fino: 1374.00 Kg/m³.

NOMBRE	CEMENTO	A.G.	A.F.
2-1	1.00	4.00	3.00
2-2	1.00	4.00	4.00
2-3	1.00	4.00	5.00
2-4	1.00	6.00	4.50
2-5	1.00	6.00	6.00
2-6	1.00	6.00	7.50
2-7	1.00	8.00	6.00
2-8	1.00	8.00	8.00
2-9	1.00	8.00	10.00

Tabla 3.1.2.1.b

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

Peso unitario de agregado grueso: 408.20 Kg/m³.

Peso unitario de agregado fino: 1130.00 Kg/m³.

NOMBRE	CEMENTO	A.G.	A.F.
3-1	1.00	6.00	4.50
3-2	1.00	6.00	6.00
3-3	1.00	6.00	7.50

Tabla 3.1.2.1.c

Para todos los casos se buscó una cantidad de agua tal que genere un asentamiento de 1 pulgada en la mezcla, ya que es el asentamiento necesario que evita que el concreto segregue.

Para realizar los vaciados se cambió la dosificación en volumen a dosificación en peso²⁹, llegándose a un peso aproximado de cada material de modo que se elabore suficiente mezcla como para fabricar 4 especímenes. A continuación se presenta la tabla que indica la dosificación en peso y también la cantidad de agua que se usó en cada caso:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

NOMBRE	DOSIFICACION EN PESO			
	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
1-1	7.714	8.397	21.199	8.400
1-2	6.750	7.348	24.732	7.858
1-3	6.000	6.531	27.480	7.862
1-4	5.143	8.397	21.199	7.469
1-5	4.500	7.348	24.732	7.887
1-6	4.000	6.531	27.480	5.944
1-7	3.857	8.397	21.199	7.476
1-8	3.375	7.348	24.732	7.564
1-9	3.000	6.531	27.480	7.110

Tabla 3.1.2.1.d

²⁹ Se tomó como peso unitario del cemento 1500 Kg/m³.

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

NOMBRE	DOSIFICACION EN PESO			
	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
2-1	7.643	12.562	21.003	4.225
2-2	6.688	10.992	24.503	4.153
2-3	5.944	9.771	27.226	4.320
2-4	5.095	12.562	21.003	4.023
2-5	4.458	10.992	24.503	3.123
2-6	3.963	9.771	27.226	5.035
2-7	3.821	12.562	21.003	3.030
2-8	3.344	10.992	24.503	4.042
2-9	2.972	9.771	27.226	3.959

Tabla 3.1.2.1.e

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

NOMBRE	DOSIFICACION EN PESO			
	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
3-1	5.143	12.680	17.434	0.000
3-2	4.500	11.095	20.340	0.000
3-3	4.000	9.862	22.600	0.000

Tabla 3.1.2.1.f

3.1.2.2. Resultados de densidad en especímenes

La densidad de los especímenes se hizo calculando la división del peso entre el volumen de agua que este desplaza al ser sumergido dentro de un recipiente totalmente lleno de agua. Se realizaron ensayos de densidad a los 7, 14, 21 y 28 días para analizar la variación de la densidad en el tiempo.

En las siguientes tablas se usó una escala de colores de verde a rojo para diferenciar las densidades altas de las bajas:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

NOMBRE	DENSIDAD			
	#1	#2	#3	#4
1-1	1634	1523	1428	1317
1-2	1713	1540	1499	1458
1-3	1767	1599	1600	1475
1-4	1636	1546	1424	1350
1-5	1613	1516	1565	1459
1-6	1722	1569	1626	1424
1-7	1756	1547	1595	1503
1-8	1692	1434	1602	1524
1-9	1789	1512	1448	1539

Tabla 3.1.2.2.a

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

NOMBRE	DENSIDAD			
	#1	#2	#3	#4
2-1	1632	1558	1717	1511
2-2	1610	1622	1542	1607
2-3	1587	1608	1455	1632
2-4	1634	1566	1508	1382
2-5	1660	1556	1661	1565
2-6	1838	1596	1541	1540
2-7	1763	1553	1553	1383
2-8	1625	1542	1460	1448
2-9	1571	1466	1466	1608

Tabla 3.1.2.2.b

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

NOMBRE	DENSIDAD			
	#1	#2	#3	#4
3-1	1392	1034	1079	1066
3-2	1302	1086	1108	1043
3-3	1302	1103	1104	1052

Tabla 3.1.2.2.c

3.1.2.3. Cálculo de la relación agua/cemento

La relación agua/cemento es uno de los parámetros más importantes en la tecnología del concreto, ya que es quien define la resistencia mecánica que alcanzara el concreto, por lo que se procedió a calcularla, teniendo en cuenta la humedad y absorción del agregado que se usó en cada caso, usando la siguiente formula:

$$a/c = \frac{\text{agua} + ag * (\text{hum}_g - \text{abs}_g) + af * (\text{hum}_f - \text{abs}_f)}{c}$$

- a/c : relación agua cemento
- agua : peso del agua usada
- ag : peso del agregado grueso usado
- hum_g : porcentaje de humedad del agregado grueso
- abs_g : porcentaje de absorción del agregado grueso
- af : peso del agregado fino usado
- hum_f : porcentaje de humedad del agregado fino
- abs_f : porcentaje de absorción del agregado fino
- c : peso del cemento usado

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

NOMBRE	AG. FINO		AG. GRUESO		a/c
	ABS	HUM	ABS	HUM	
1-1	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	0.65
1-2	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	0.71
1-3	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	0.84
1-4	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	0.80
1-5	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	1.07
1-6	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	0.78
1-7	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	1.07
1-8	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	1.34
1-9	3.93%	2.12%	35.49%	0.00%	1.43

Tabla 3.1.2.3.a

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

NOMBRE	AG. FINO		AG. GRUESO		a/c
	ABS	HUM	ABS	HUM	
2-1	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.64
2-2	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.69
2-3	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.78
2-4	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.92
2-5	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.80
2-6	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	1.35
2-7	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	0.96
2-8	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	1.35
2-9	3.93%	2.12%	35.49%	43.74%	1.44

Tabla 3.1.2.3.b

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

NOMBRE	AG. FINO		AG. GRUESO		a/c
	ABS	HUM	ABS	HUM	
3-1	49.93%	80.32%	35.49%	43.74%	0.82
3-2	49.93%	80.32%	35.49%	43.74%	1.05
3-3	49.93%	80.32%	35.49%	43.74%	1.28

Tabla 3.1.2.3.c

3.1.2.4. Resultados de resistencia a compresión de especímenes

Se sometieron a compresión todos los especímenes de cada grupo. A continuación se muestran los resultados de las pruebas a compresión de realizadas en los cuatro especímenes (a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente), en las siguientes tablas se usó una escala de colores de verde a rojo para diferenciar las resistencias a compresión altas de las bajas:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

NOMBRE	a/c	RESISTENCIA A COMPRESION			
		#1	#2	#3	#4
1-1	0.65	47.03	62.24	47.68	62.52
1-2	0.71	55.60	43.75	51.16	64.74
1-3	0.84	36.69	34.46	41.03	50.15
1-4	0.80	31.20	37.32	42.69	51.46
1-5	1.07	19.70	28.00	32.32	29.52
1-6	0.78	20.10	22.93	28.64	27.87
1-7	1.07	26.92	24.90	30.69	33.00
1-8	1.34	18.32	20.40	22.10	29.87
1-9	1.43	10.79	17.73	19.68	20.93

Tabla 3.1.2.4.a

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

NOMBRE	a/c	RESISTENCIA A COMPRESION			
		#1	#2	#3	#4
2-1	0.64	65.77	55.08	63.48	74.78
2-2	0.69	56.30	58.89	77.66	68.32
2-3	0.78	41.48	38.41	63.06	56.20
2-4	0.92	37.59	43.73	44.25	48.27
2-5	0.80	40.32	45.82	54.51	59.09
2-6	1.35	32.92	36.01	44.71	54.31
2-7	0.96	38.11	36.59	37.96	29.72
2-8	1.35	24.85	25.59	29.29	29.40
2-9	1.44	17.36	21.16	19.80	23.40

Tabla 3.1.2.4.b

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

NOMBRE	a/c	RESISTENCIA A COMPRESION			
		#1	#2	#3	#4
3-1	0.82	29.08	31.74	38.56	42.03
3-2	1.05	23.95	25.83	33.87	31.79
3-3	1.28	23.41	25.62	25.38	29.03

Tabla 3.1.2.4.c

3.1.2.5. Evolución de la resistencia en el tiempo

Se tomó como resistencia última la obtenida por el espécimen #4 (resistencia a compresión a los 28 días), y se calculó el porcentaje de resistencia alcanzada para el resto de especímenes. En las siguientes tablas se usó una escala color verde para distinguir las resistencias más altas de las más bajas:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

NOMBRE	EVOLUCION DE LA RESISTENCIA			
	#1	#2	#3	#4
1-1	75.23%	99.55%	76.27%	100.00%
1-2	85.89%	67.58%	79.03%	100.00%
1-3	73.16%	68.71%	81.81%	100.00%
1-4	60.63%	72.54%	82.97%	100.00%
1-5	66.75%	94.86%	109.50%	100.00%
1-6	72.12%	82.27%	102.76%	100.00%
1-7	81.56%	75.44%	93.00%	100.00%
1-8	61.34%	68.28%	74.00%	100.00%
1-9	51.54%	84.73%	94.04%	100.00%

Tabla 3.1.2.5.a

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

NOMBRE	EVOLUCION DE LA RESISTENCIA			
	#1	#2	#3	#4
2-1	87.96%	73.66%	84.89%	100.00%
2-2	82.41%	86.20%	113.67%	100.00%
2-3	73.81%	68.34%	112.19%	100.00%
2-4	77.88%	90.59%	91.68%	100.00%
2-5	68.23%	77.54%	92.24%	100.00%
2-6	60.60%	66.31%	82.32%	100.00%
2-7	128.25%	123.15%	127.75%	100.00%
2-8	84.52%	87.05%	99.64%	100.00%
2-9	74.18%	90.41%	84.61%	100.00%

Tabla 3.1.2.5.b

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

NOMBRE	EVOLUCION DE LA RESISTENCIA			
	#1	#2	#3	#4
3-1	69.19%	75.51%	91.75%	100.00%
3-2	75.32%	81.26%	106.54%	100.00%
3-3	80.64%	88.24%	87.43%	100.00%

Tabla 3.1.2.5.c

De los anteriores datos se observó que las dosificaciones 1-6, 2-6 y 2-7-1 muestran datos erróneos, por lo que fueron desechadas. Posteriormente se procedió a calcular un porcentaje promedio que identifique la resistencia a la compresión a una cierta edad:

- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

Edad	Desv. Est.	Inferior	Medio	Superior
7 días	11.56%	57.95%	69.51%	81.07%
14 días	12.61%	66.36%	78.96%	91.57%
21 días	11.83%	74.50%	86.33%	98.15%

Tabla 3.1.2.5.d

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

Edad	Desv. Est.	Inferior	Medio	Superior
7 días	7.67%	72.25%	79.92%	87.59%
14 días	8.31%	74.26%	82.57%	90.88%
21 días	11.40%	84.72%	96.11%	107.51%

Tabla 3.1.2.5.e

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.

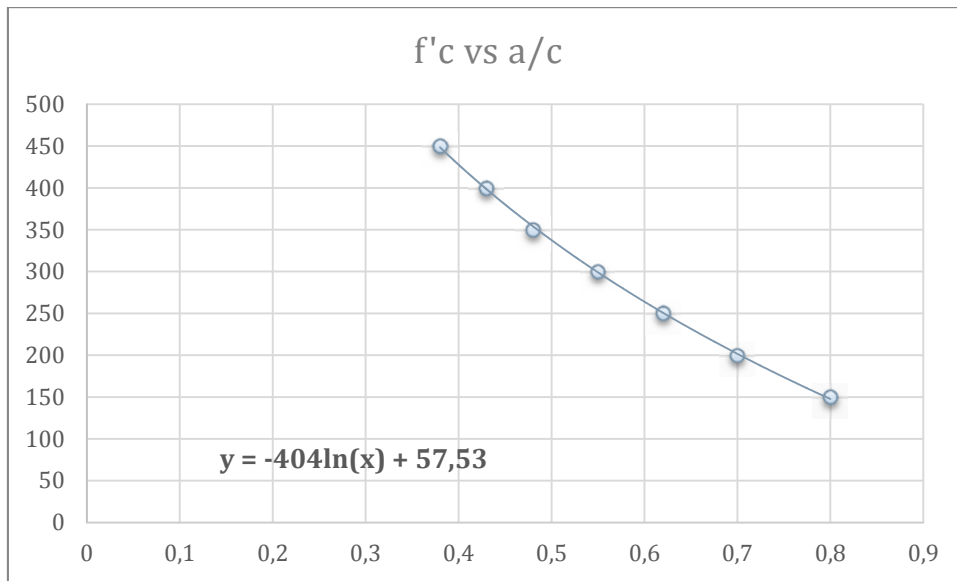
Edad	Desv. Est.	Inferior	Medio	Superior
7 días	5.73%	69.32%	75.05%	80.78%
14 días	6.37%	75.30%	81.67%	88.05%
21 días	10.02%	85.21%	95.24%	105.26%

Tabla 3.1.2.5.f

3.1.2.6. *Calculo de $f'c$, de acuerdo a la relación a/c*

En esta parte de la investigación se calculara la relación que existe entre la resistencia a la compresión ($f'c$) y la relación agua/cemento (a/c), y es una de las etapas más importantes al momento de realizar un diseño de mezclas. Por referencias del ACI³⁰, se sabe que la relación entre $f'c$ decrece logarítmicamente a medida que aumenta la relación a/c , como se muestra a continuación:

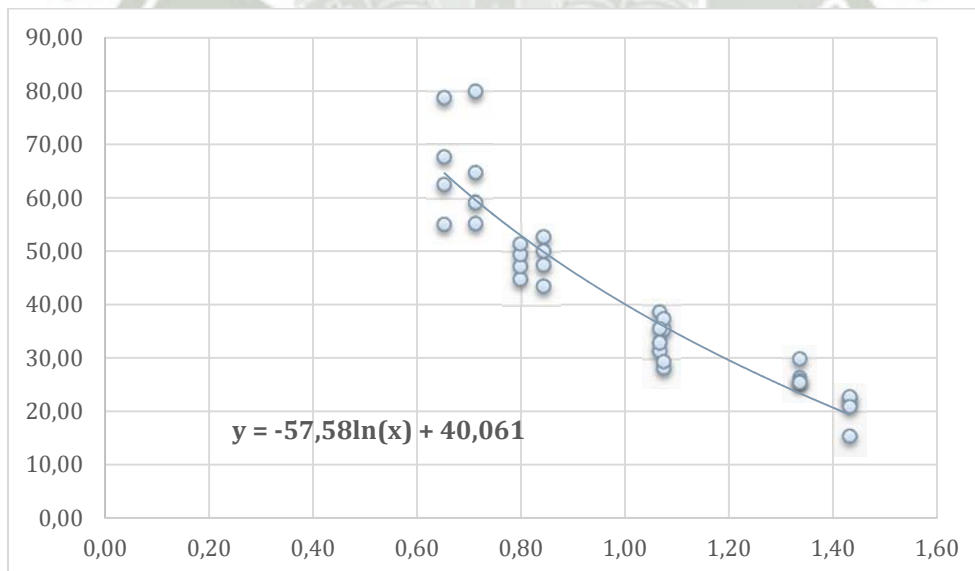
³⁰ Los distintos diseños de mezcla existentes usan la tabla $f'c$ vs a/c del ACI para el diseño de mezclas.



³¹Cuadro 3.1.2.6.a

De igual forma se hizo con los datos obtenidos de nuestros ensayos, tomando la resistencia de los especímenes a los 28 días, por lo que se tuvo que llevar la resistencia de los especímenes con edades menores a 28 días usando el porcentaje de resistencia media de las tablas: 3.1.2.5.d, 3.1.2.5.e y 3.1.2.5.d

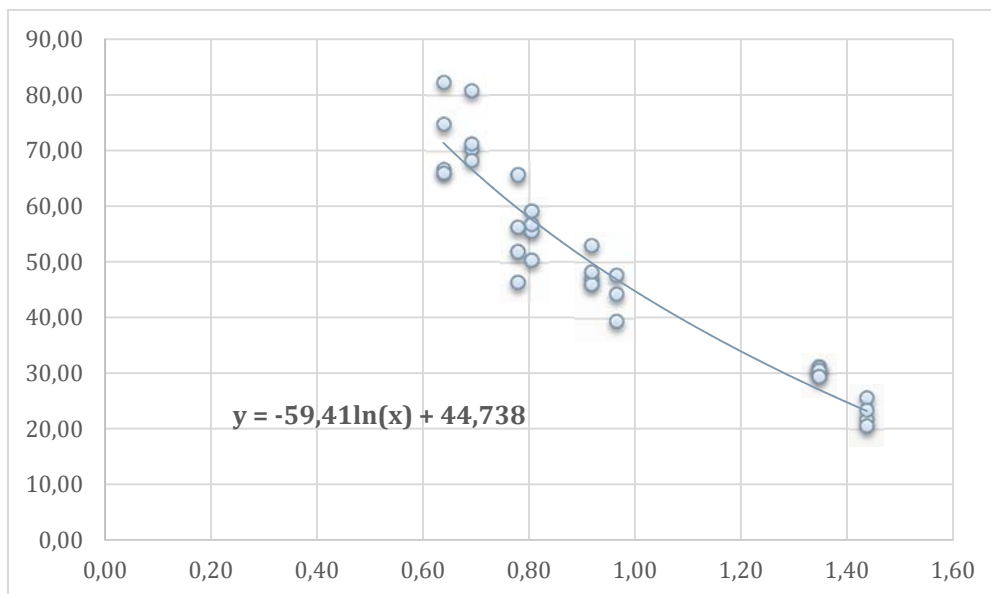
- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.



Cuadro 3.1.2.6.b

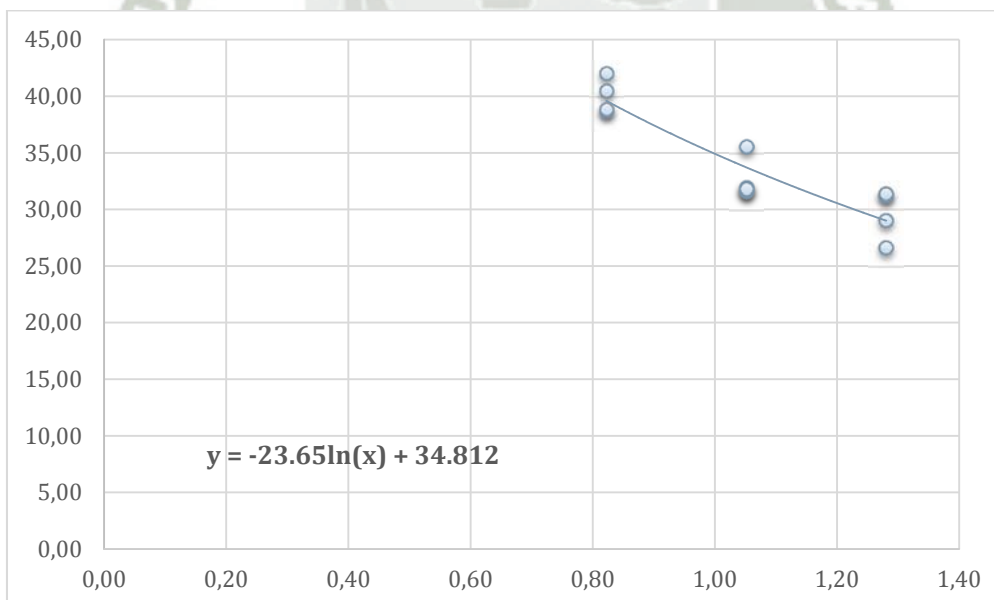
³¹ Fuente: Diseño de mezclas de acuerdo a ACI (American Concrete Institute).

- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.



Cuadro 3.1.2.6.c

- **Dosificación 3:** Concreto con piedra pómez entera saturada y piedra pómez fina saturada.



Cuadro 3.1.2.6.d

Dado que las dosificaciones 1 y 2, tienen el mismo tipo de agregado (en diferentes condiciones de saturado), se procedió a verificar como afecta el uso de piedra pómez en estado saturado a la resistencia a compresión final.

a/c	Dosificación 1	Dosificación 2	variación
0.60	69.47	75.09	8.08%
0.70	60.60	65.93	8.80%
0.80	52.91	57.99	9.61%
0.90	46.13	51.00	10.56%
1.00	40.06	44.74	11.67%
1.10	34.57	39.08	13.02%
1.20	29.56	33.91	14.69%
1.30	24.95	29.15	16.82%
1.40	20.69	24.75	19.63%

Tabla 3.1.2.6

Se observa que a medida que se requiere una menor resistencia, la dosificación 2 es más eficiente, variando esta de un 8% hasta 20% (rango en que se puede diseñar³²).

3.1.2.7. Definición de la relación AG/AF óptima

Como se explicó en el apartado [3.1.2.1](#), se usaron tres relaciones Agregado Grueso/Agregado Fino, que son:

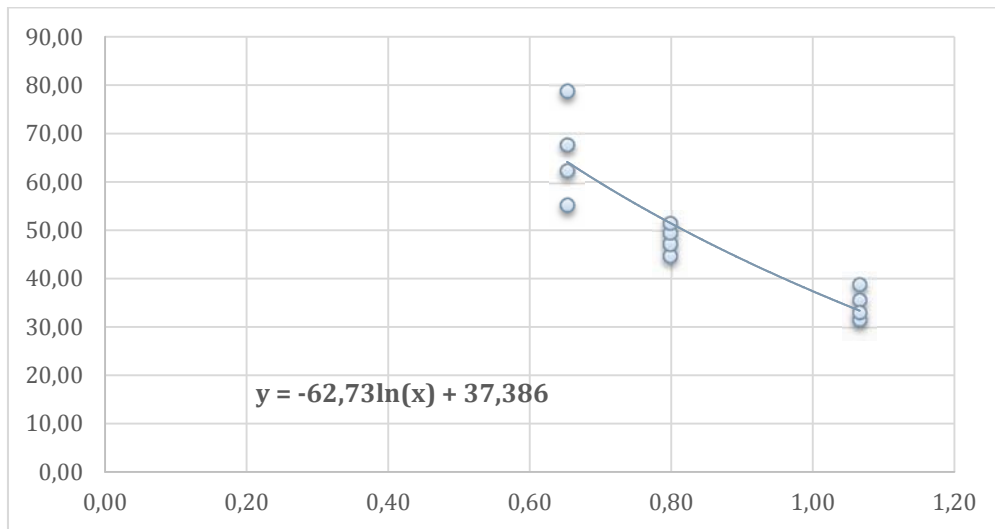
- Relación 1: $AG/AF = 4/3 = 1.333$
- Relación 2: $AG/AF = 4/4 = 1.000$
- Relación 3: $AG/AF = 4/5 = 0.800$

El siguiente paso es averiguar qué relación es la óptima para el diseño de mezclas, para esto se calculó una función que defina la relación entre f^c y la relación a/c para cada relación a excepción de la dosificación 3, al igual que en el apartado 3.1.2.6, se elevó la resistencia de los especímenes con edades menores a 28 días para trabajar con resistencias a la compresión finales, usando el porcentaje de resistencia media a diferentes edades:

³² De acuerdo a los ensayos realizados, el rango de relación a/c, es desde 0.60 hasta 1.40.

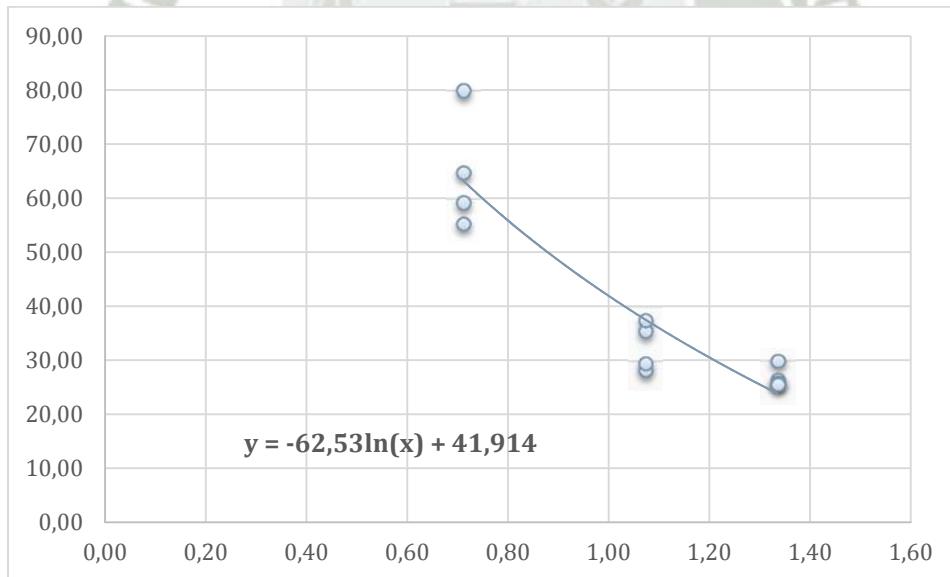
- **Dosificación 1:** Concreto con piedra pómez entera y arena gruesa.

RELACION 1:



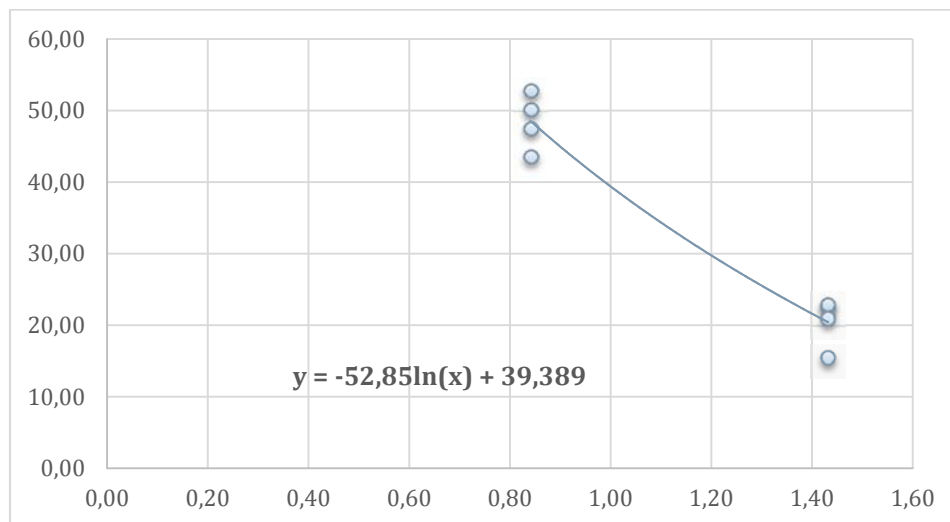
Cuadro 3.1.2.7.a

RELACION 2:



Cuadro 3.1.2.7.b

RELACION 3:



Cuadro 3.1.2.7.c

Después de obtener las funciones de cada relación, se procedió a compararlas en el siguiente cuadro resumen usando una escala de colores, de verde a rojo:

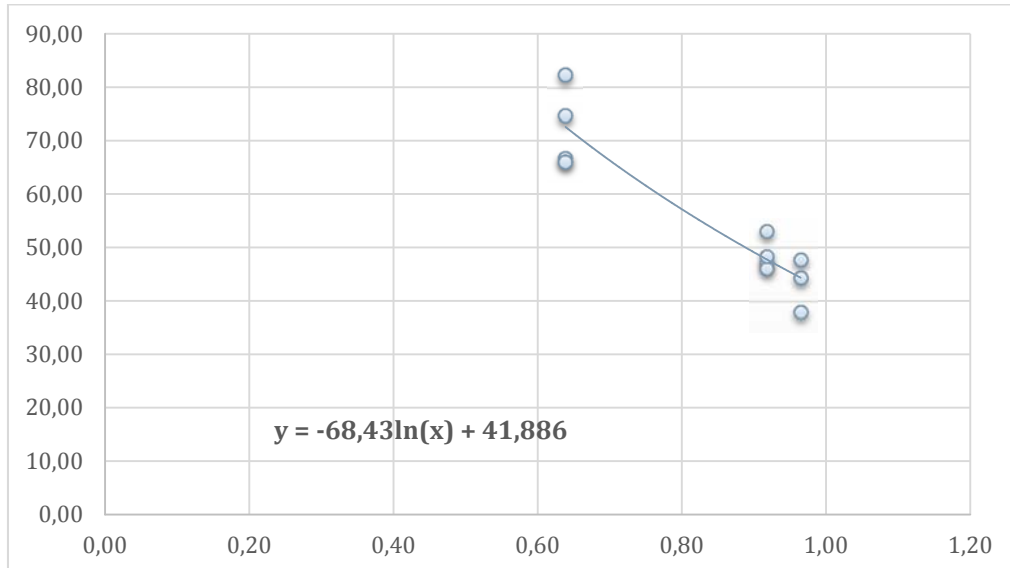
a/c	RELACION 1	RELACION 2	RELACION 3
0.6	69.43	73.86	66.39
0.7	59.76	64.22	58.24
0.8	51.38	55.87	51.18
0.9	44.00	48.50	44.96
1.0	37.39	41.91	39.39
1.1	31.41	35.95	34.35
1.2	25.95	30.51	29.75
1.3	20.93	25.51	25.52
1.4	16.28	20.87	21.61

Tabla 3.1.2.7.a

Teniendo como conclusión, para esta dosificación, que la relación 2 es la óptima.

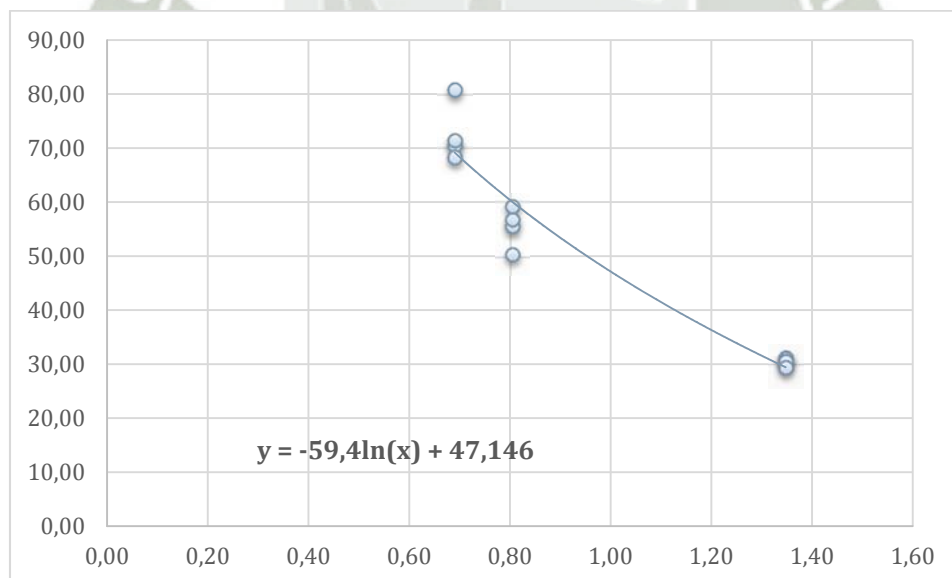
- **Dosificación 2:** Concreto con piedra pómez entera saturada y arena gruesa.

RELACION 1:



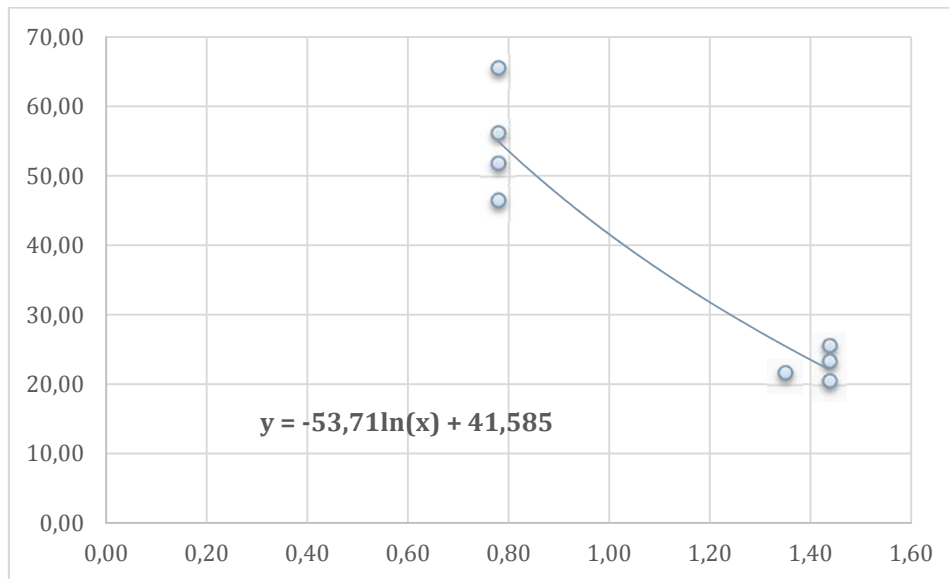
Cuadro 3.1.2.7.d

RELACION 2:



Cuadro 3.1.2.7.e

RELACION 3:



Cuadro 3.1.2.7.f

Después de obtener las funciones de cada relación, se procedió a compararlas en el siguiente cuadro resumen usando una escala de colores, de verde a rojo:

a/c	REL 1	REL 2	REL 3
0.6	76.84	77.49	69.02
0.7	66.29	68.33	60.74
0.8	57.16	60.40	53.57
0.9	49.10	53.40	47.24
1.0	41.89	47.15	41.59
1.1	35.36	41.48	36.47
1.2	29.41	36.32	31.79
1.3	23.93	31.56	27.49
1.4	18.86	27.16	23.51

Tabla 3.1.2.7.b

Al igual que en la dosificación 1, la relación 2 es la óptima.

3.1.2.8. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas es la etapa final antes de fabricar los bloques de concreto ligero, los datos necesarios para realizar el diseño de mezclas son los siguientes:

- **Resistencia a la compresión ($f'c$):** es la resistencia a la compresión que se requiere que alcance el concreto a la edad de 28 días. La unidad de medida es “Kg/cm²”.
- **Peso específico del cemento (PEc):** es la relación entre la masa en el aire de un volumen de cemento y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Dosificación:** es el tipo de dosificación que se usara en el concreto, establecida en el apartado 3.1.2.1 (dosificación 1, dosificacion2 o dosificación 3).
- **Relación AG/AF:** es el resultado de la división entre el volumen de agregado grueso y agregado fino que se usara en la mezcla, ver el apartado 3.1.2.7.
- **Peso unitario del agregado grueso (PUg):** es la relación que existe entre la masa de un grupo de partículas de agregado grueso, entre el volumen que ocupan todas ellas, incluyendo los espacios vacíos entre partículas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Peso específico seco del agregado grueso (PEg):** es la relación que existe entre la masa, en el aire, de un volumen de agregado grueso y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Porcentaje de absorción del agregado grueso (ABSg):** es la relación que existe entre el peso del agua que puede absorber una cantidad de agregado grueso y el peso de la misma cantidad de agregado grueso en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Contenido de humedad del agregado grueso (HUMg):** es la relación que existe entre el peso del agua que contiene una cantidad de agregado grueso al momento de realizar el vaciado y el peso de la misma cantidad de agregado grueso en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** está definido como el siguiente tamiz (mayor) al tamiz cuyo porcentaje retenido acumulado es 15% o más. La unidad de medida es “pulgada (”)”.
- **Peso unitario del agregado fino (PUf):** es la relación que existe entre la masa de un grupo de partículas de agregado fino, entre el volumen que ocupan todas ellas, incluyendo los espacios vacíos entre partículas. La unidad de medida es “Kg/m³”.

- **Peso específico seco del agregado fino (PEf):** es la relación que existe entre la masa, en el aire, de un volumen de agregado fino y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Porcentaje de absorción del agregado fino (ABSf):** es la relación que existe entre el peso del agua que puede absorber una cantidad de agregado fino y el peso de la misma cantidad de agregado fino en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Contenido de humedad del agregado fino (HUMf):** es la relación que existe entre el peso del agua que contiene una cantidad de agregado fino al momento de realizar el vaciado y el peso de la misma cantidad de agregado fino en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Peso unitario de la puzolana (PUp):** es la relación que existe entre la masa de un grupo de partículas de la puzolana, entre el volumen que ocupan todas ellas, incluyendo los espacios vacíos entre partículas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Peso específico seco de la puzolana (PEp):** es la relación que existe entre la masa, en el aire, de un volumen de la puzolana y la masa de un volumen igual de agua libre de gas. La unidad de medida es “Kg/m³”.
- **Porcentaje de absorción de la puzolana (ABSp):** es la relación que existe entre el peso del agua que puede absorber una cantidad de la puzolana y el peso de la misma cantidad de agregado fino en estado seco. La unidad de medida es “%”.
- **Cantidad de datos estadísticos:** es necesaria para calcular la resistencia a la compresión requerida (f'_{cr}), si se cuenta con 15 a 29 datos estadísticos, también se requiere de la cantidad de ensayos.
- **Contenido de agua (a):** es la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla para que esta adquiera una consistencia deseada. La unidad de medida es ”lt”.

A continuación se describe un procedimiento de 11 pasos para hacer el cálculo de diseño de mezclas hecho para ser usado en concreto ligero con agregado de piedra pómez, en base al diseño de mezclas establecido por el ACI:

a) **Calculo de la resistencia a la compresión requerida:** tomando como base el método de diseño de mezclas del ACI, existen tres formas de calcular f'_{cr} , de acuerdo a la cantidad de datos estadísticos³³ con que se cuenta:

a. **Se cuenta con suficientes datos estadísticos (>30):** la resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}), es el mayor valor resultante de las siguientes formulas:

$$f'_{cr} = f'c + 1.34 * S$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33 * S - 35$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1}}$$

Dónde:

- f'_{cr} : resistencia a la compresión requerida en Kg/cm².
- S: desviación estándar en Kg/cm².
- x_i : resistencia de un espécimen en Kg/cm².
- x: resistencia promedio de “n” especímenes.
- n: número de especímenes ensayados.

b. **Se cuenta con pocos datos estadísticos (15-29):** cuando se cuentan con pocos datos estadísticos, se procede de igual forma que en el caso anterior, con la diferencia que se aplica la siguiente fórmula para la desviación estándar:

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1}} \right) * f$$

Dónde:

- f: factor de corrección:

# de ensayos	Factor de corrección (f)

³³ Se toman como datos estadísticos a los resultados de obras anteriores que cumplan con los siguientes requisitos:

- Tener materiales, control de calidad y condiciones similares.
- Tener una $f'c$ dentro del rango de ± 70 Kg/cm².

15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

³⁴Tabla 3.1.2.8.a

- c. **No se cuenta con datos estadísticos (<15):** de acuerdo al ACI, en este caso se usa la siguiente tabla:

f'c	f'cr
Menor a 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
Mayor a 350	f'c + 98

³⁵Tabla 3.1.2.8.b

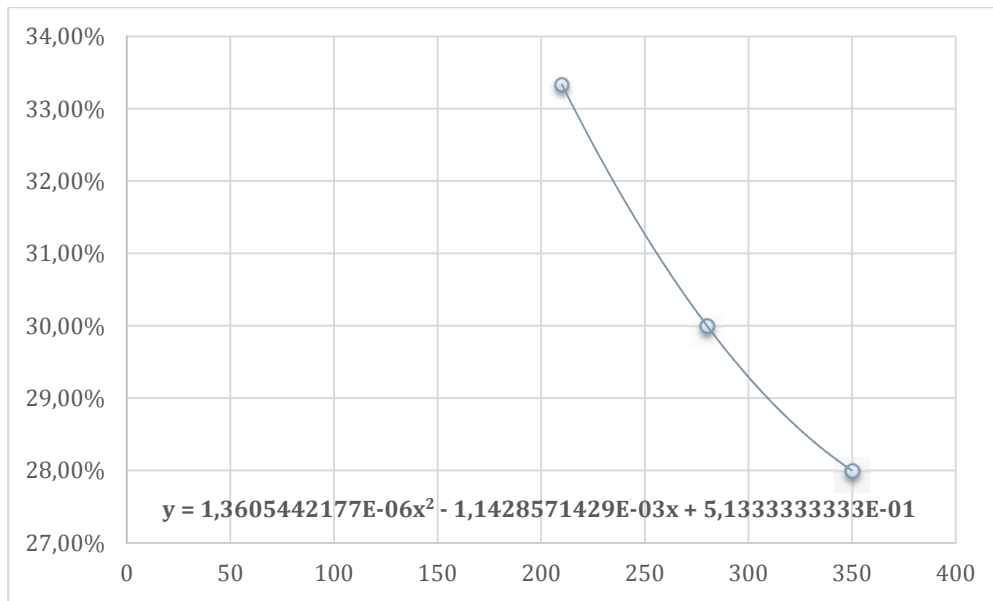
No obstante, esta tabla se usa para concretos convencionales, en nuestro caso esta tabla debe ser modificada, ya que las resistencias a compresión (f'c), varían de 20 Kg/cm² a 80 Kg/cm², por lo que se calculó la función que los contiene los siguientes tres puntos:

f'c	Resistencia agregada	Resistencia agregada (%)
210	70	33.33%
280	84	30.00%
350	98	28.00%

Se interpolo polinómicamente los tres puntos, encontrándonos con el siguiente cuadro que define la ecuación que une los puntos:

³⁴ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular el factor de corrección de la desviación estándar cuando se cuenta con pocos datos estadísticos.

³⁵ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la f'cr, en concretos convencionales, cuando no se cuenta con datos estadísticos.



Cuadro 3.1.2.8

Por lo tanto la forma de calcular la f'_{cr} cuando no se cuenta con datos estadísticos, es la siguiente:

$$f'_{cr} = f'_c * (1 + 1.36 * 10^{-6} * f'_c{}^2 - 1.14 * 10^{-3} * f'_c + 0.513)$$

- b) **Contenido de agua:** según el ACI, la cantidad de agua que debe usarse, depende del TMN del agregado grueso, el asentamiento que se desea lograr y de las condiciones donde se fabrica la mezcla (cuando la temperatura es mayor o menor a 0°C):

Asentamiento	Agua en lt/m ³						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Sin aire incorporado							
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160
Con aire incorporado							
1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133
6" - 7"	216	205	187	184	174	166	154

³⁶Tabla 3.1.2.8.c

³⁶ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular la cantidad de agua requerida en 1 m³ de mezcla para lograr un asentamiento deseado.

Realizando tanteos de los ensayos realizados, se encontró que la cantidad de agua óptima para que la mezcla adquiriera una consistencia apta para fabricar bloques de concreto ligero es de 180 litros por m³ de concreto, también se encontró empíricamente que la cantidad de puzolana necesaria para que el concreto tenga una buena trabajabilidad es:

Dosificación	Volumen de Puzolana	Volumen de concreto	Volumen de Agua
1	25% (AG+AF)	1.080 m ³	194 lt
2	25% (AG+AF)	1.080 m ³	194 lt
3	50% (AG+AF)	1.160 m ³	209 lt

Como se observa en la tabla anterior, el volumen de concreto se incrementa en 8% y 16%³⁷ según sea la dosificación que se use, por lo que la cantidad de agua en la mezcla también aumentará.

- c) **Relación a/c:** esta relación depende del tipo de dosificación que se quiera usar:
- a. **Dosificación 1:** se subdivide en 3 tipos, definidos por la relación AG/AF, cabe recalcar que la relación 2 es la óptima³⁸ en cuanto a resistencia, pero en ocasiones es necesario tener mayor cantidad de agregado fino o viceversa.

i. **Relación 1: AG/AF = 4/3**

$$a/c = e^{\left(\frac{f'_{cr}-37.386}{-62.73}\right)}$$

ii. **Relación 2: AG/AF = 4/4**

$$a/c = e^{\left(\frac{f'_{cr}-41.914}{-62.53}\right)}$$

iii. **Relación 3: AG/AF = 4/5**

$$a/c = e^{\left(\frac{f'_{cr}-39.389}{-52.85}\right)}$$

³⁷ Estos porcentajes son aproximados, si se quiere calcular la cantidad exacta de agua que se usara en el concreto se debe hacer una iteración.

³⁸ Se definió que la relación 2 es la óptima en el apartado 3.1.2.7.

b. Dosificación 2: se subdivide en 3 tipos, definidos por la relación AG/AF, al igual que en la dosificación 1, la relación 2 es la óptima.

i. Relación 1: AG/AF = 4/3

$$a/c = e^{\left(\frac{f'cr-41.886}{-68.43}\right)}$$

ii. Relación 2: AG/AF = 4/4

$$a/c = e^{\left(\frac{f'cr-47.146}{-59.40}\right)}$$

iii. Relación 3: AG/AF = 4/5

$$a/c = e^{\left(\frac{f'cr-41.585}{-53.71}\right)}$$

c. Dosificación 3:

$$a/c = e^{\left(\frac{f'cr-34.915}{-23.91}\right)}$$

d) Contenido de aire: depende el TMN del agregado, según el ACI es el siguiente:

TMN	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%

³⁹Tabla 3.1.2.8.d

e) Contenido de cemento: se calcula dividiendo la cantidad de agua ente la relación a/c:

$$C = \frac{A}{a/c}$$

³⁹ Fuente: American Concrete Institute (ACI), usada para calcular el contenido de aire atrapado en forma de burbujas macroscópicas el concreto.

- f) **Volúmenes absolutos sin considerar agregados (V):** se procede a calcular el volumen que ocupara cada material en la mezcla, dividiendo el peso entre el peso específico, sin considerar los agregados fino y grueso:

MATERIAL	PESO (Kg)	Peso Específico (Kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
cemento			
agua			
aire			
		TOTAL	V

- g) **Calculo del volumen de agregados:** de lo anterior, se resta 1 m³ y el volumen total, para calcular el volumen de agregado grueso y fino. Teniendo la relación AG/AF se puede obtener los volúmenes exactos de agregados que se usan en la mezcla:

- a. **Volumen del agregado grueso:**

$$V_g = \frac{\frac{AG}{AF} * (1 - V) * PU_g * PE_f}{\frac{AG}{AF} * PU_g * PE_f + PU_f * PE_g}$$

- b. **Volumen del agregado fino:**

$$V_f = \frac{(1 - V) * PU_f * PE_g}{\frac{AG}{AF} * PU_g * PE_f + PU_f * PE_g}$$

- h) **Peso en estado seco de los agregados:** se obtiene de la multiplicación del volumen obtenido anteriormente con su peso específico:

- a. **Peso seco del agregado grueso:**

$$PS_g = V_g * PE_g$$

- b. **Peso seco del agregado fino:**

$$PS_f = V_f * PE_f$$

i) **Peso en estado húmedo de los agregados:** se obtiene añadiendo el peso del agua que contienen los agregados, al peso seco del mismo:

a. **Peso húmedo del agregado grueso:**

$$PH_g = PS_g * (1 + HUM_g)$$

b. **Peso húmedo del agregado fino:**

$$PH_f = PS_f * (1 + HUM_f)$$

j) **Corrección por humedad:** en este paso, se calcula la cantidad de agua que aportan o retienen los agregados a la mezcla:

a. **Aporte de agua del agregado grueso:**

$$A_g = PS_g * (ABS_g - HUM_g)$$

b. **Aporte de agua del agregado fino:**

$$A_f = PS_f * (ABS_f - HUM_f)$$

c. **Aporte de agua de la puzolana:**

$$A_p = \% * (V_g + V_f) * PU_p * (ABS_p - HUM_p)$$

d. **Aporte de agua total:**

$$A_t = A + A_g + A_f + A_p$$

k) **Dosificación en peso:** para poder realizar el vaciado se necesitan los pesos los materiales que serán agregados a la mezcla, se dividen los pesos de cada material⁴⁰ entre el peso del cemento:

a. **Peso del cemento:** calculado en el paso “e)” (C).

b. **Peso del agregado grueso:** calculado en el paso “i)” (PH_g).

c. **Peso del agregado fino:** calculado en el paso “i)” (PH_f).

d. **Peso del agua:** Calculado en paso “J)” (A_t).

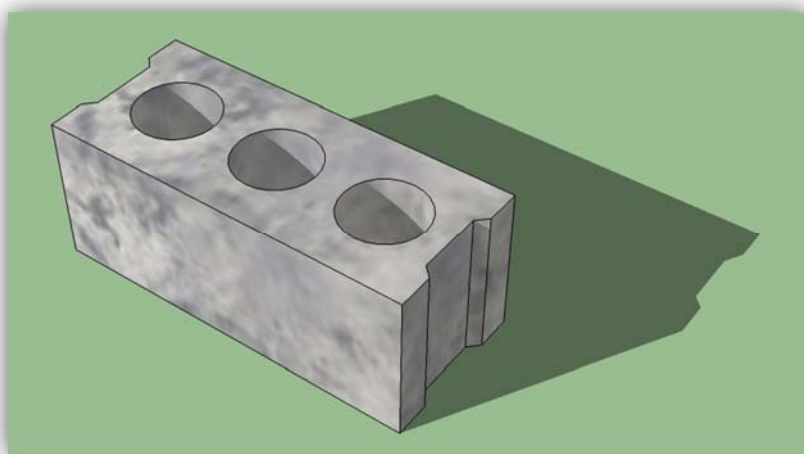
⁴⁰ En el caso de los agregados, se tomaran los pesos húmedos.

e. **Peso de la puzolana:** $PS_p = \%*(V_g+V_f)*PU_p$

3.1.2.9. *Fabricación de los bloques de concreto*

Las dimensiones de los bloques son: 36cm x14cm x15cm y el diámetro de las perforaciones depende del tamaño máximo nominal de la piedra pómez, pero varía entre 6.5cm y 8.5cm.

A continuación se muestra un modelo elaborado en el programa SketchUp donde se puede apreciar el bloque fabricado:



⁴¹Imagen3.1.2.9

Puede apreciarse que el largo del bloque tiene dos medidas: una central y otra en los bordes, las medias son 34cm y 36cm respectivamente, estos hundimientos se hacen para evitar que el bloque de concreto falle ante cargas ortogonales, esto hace que la cantidad de mortero que se usa aumente, para simplificar este proceso, se toma una junta de 2.00 cm en las uniones verticales.

Para fabricar los bloques de concreto ligero, se usó la dosificación tipo 3, la que usa piedra pómez fina, piedra pómez gruesa y puzolana como agregados del bloque de concreto.

A continuación se muestra el proceso de cálculo del diseño de mezclas de los bloques de concreto ligero que se usaron para ser ensayados.

⁴¹ Modelo elaborado en el programa SketchUp, elaboración propia.

a. Cálculo de la resistencia a la compresión requerida

Se hizo el diseño de mezclas para una resistencia a la compresión $f'c = 35 \text{ Kg/cm}^2$.

Se tienen suficientes datos estadísticos, la desviación estándar (según los ensayos realizados en el apartado 3.1.2.5), es de 2.58 Kg/cm^2 .

$$f'cr = 35 + 1.34 * 2.58 = 38.46$$

$$f'cr = 35 + 2.33 * 2.58 - 35 = 6.01$$

Por lo tanto la resistencia a la compresión requerida es de: 38.46 Kg/cm^2 .

b. Contenido de agua

Como se usa la dosificación 3, la cantidad de agua es de 209 lt.

c. Relación a/c

$$\frac{a}{c} = e^{\left(\frac{38.46-34.915}{-23.91}\right)} = 0.857$$

d. Contenido de aire

Aire = 2.50%

e. Contenido de cemento

$$C = \frac{209}{0.857} = 243.61 \text{ Kg}$$

f. Volúmenes absolutos sin considerar agregados

MATERIAL	PESO (Kg)	Peso Específico (Kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
cemento	243.61	2860	0.085
agua	208.80	1000	0.209
aire			0.025
		TOTAL	0.319

g. Cálculo del volumen de agregados

$$V_g = 0.263m^3$$

$$V_f = 0.418m^3$$

h. Peso en estado seco de los agregados

$$PS_g = 274.48 Kg$$

$$PS_f = 529.84 Kg$$

i. Peso en estado húmedo de los agregados

$$PH_g = 394.55 Kg$$

$$PH_f = 761.27 Kg$$

j. Corrección por humedad

$$A_g = - 15.13 lt$$

$$A_f = 50.60 lt$$

$$A_p = - 20.26 lt$$

$$A_t = 193.59 lt$$

k. Dosificación en peso

- | | |
|-----------------|-------|
| • Cemento | 1.00 |
| • Piedra pómez | 1.62 |
| • Agregado fino | 3.12 |
| • Agua | 0.795 |
| • Puzolana | 3.03 |

3.2 ENSAYOS EN BLOQUES DE CONCRETO

3.2.1 Ensayo de Absorción

- Se tomó un espécimen con dosificación tipo 2 (piedra pómez entera saturada + arena fina) y se anotó su peso: 8.193 Kg. Luego se sumergió en agua durante 24 horas y se volvió a pesar: 9.114 Kg, se calculó el porcentaje de absorción:

$$\%abs = \frac{9.114 - 8.193}{8.193} = 11.24\%$$

- Se tomó un espécimen con dosificación tipo 3 (piedra pómez entera saturada + piedra pómez fina saturada) y se anotó su peso: 6.127 Kg. Luego se sumergió en agua durante 24 horas y se volvió a pesar: 7.329 Kg, se calculó el porcentaje de absorción:

$$\%abs = \frac{7.329 - 6.127}{6.127} = 19.62\%$$



Este ensayo demuestra que los bloques con dosificación tipo 3 tienen una absorción mayor al 12%, por lo que no son aptos para fines estructurales. También se demostró que durante el

secado del concreto, los poros abiertos⁴² se convierten en poros cerrados⁴³ gracias al secado de las partículas de la pasta de cemento y el uso de la puzolana como agregado.

3.2.2 Ensayo de Peso unitario

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en los especímenes de concreto, como se indica en el apartado 3.1.2.2 se concluye que las dosificaciones tipo 1 y 2 tienen densidades muy similares, ya que contienen los mismos agregados, en estado seco alcanzan densidades de 1400 Kg/m³ a 1500 Kg/m³, sin embargo el uso de la puzolana aumenta su densidad de 5% a 6%.

La dosificación tipo 3 alcanza densidades de 1000 Kg/m³ a 1100 Kg/m³, pero el uso de la puzolana aumenta su densidad en un 25%.

En el apartado 5.1.2 se detalla el cálculo de la densidad del concreto fabricado con piedra pómez, numéricamente, antes de realizar el vaciado del concreto.

3.2.3 Ensayo de Conductividad térmica

Como se explicó en el apartado 2.5.2, el cálculo de la conductividad térmica se realizara de acuerdo a la ley de Fourier:

$$k = -\frac{dQ/dt}{A(dT/dx)}$$

Para esto, se cortó dos fragmentos de un espécimen de área conocida, ambos se colocaron en el horno durante 24 horas, para obtener una muestra seca, luego se dejó enfriar por 24 horas más hasta que alcanzaron una temperatura ambiente.

⁴² Espacios vacíos por los cuales el agua puede ingresar.

⁴³ Espacios vacíos que están aislados, por lo que el agua no puede ingresar.



⁴⁴Imagen 3.2.3



⁴⁴ Imagen donde se muestra el proceso de cortado del concreto, puede observarse que por las características de los materiales, es posible cortarlo con una sierra de mano.



Calculo del calor específico:

Primero se calculó el calor específico del espécimen usando el fragmento #1. La ley de transferencia de calor, indica que la suma de calores de una serie de objetos es igual a cero:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

Además, el calor esta expresado por la siguiente formula:

$$Q = c * \Delta T * m$$

Dónde:

- Q: variación de calor (J)
- c: calor específico ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$)
- ΔT : variación de temperatura (K)
- m: masa (g)

Para calcular el calor específico del concreto, este elevó su temperatura en el horno hasta que alcanzó los 65.9°C ⁴⁵ y se midió su peso:



⁴⁵ Para hacer mediciones de temperatura se usó un termógrafo de error $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ que mide temperaturas en el rango de -250°C a $+550^{\circ}\text{C}$.



Se tomó también la temperatura del agua (a temperatura ambiente) y su peso. Sabiendo el calor específico del agua ($4.184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) se procedió a mezclar el concreto en el agua por un tiempo, posteriormente se tomó nota de las nuevas temperaturas y se procedió a calcular el calor específico del concreto ligero usando la ley de transferencia del calor:

$$Q_{H_2O} + Q_{C^e} = 0$$

$$4.184 * (13.5 - 10.1) * 3560 + c_{C^e} * (20.5 - 65.9) * 1080 = 0$$

$$c_{C^e} = 1.033 \text{ J} * \text{g}^{-1} * \text{K}^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

De esta forma se obtiene la primera ecuación.

Calculo de la conductividad térmica:

Se tomó el fragmento #2 y se calcularon sus parámetros físicos:

- Masa: 2045 g
- Área: 189.423 cm²
- Espesor: 9.859 cm

Conociendo el calor específico del concreto ligero, se colocó el fragmento #2 sobre una hornilla que va transfiriéndole calor por la cara inferior, mientras se mide la temperatura en la cara superior:



Antes de comenzar el ensayo se tomó la temperatura del fragmento #2:

$$T_{\text{inicial}} = 14.3^{\circ}\text{C}$$

Al cabo de 40 minutos, se obtienen los siguientes registros:

$$T_{\text{superior}} = 41.3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{inferior}} = 298^{\circ}\text{C}$$

En este punto contamos con dos ecuaciones y tres incógnitas, entonces se procede a calcular el calor Q , volviendo a realizar el ensayo de calor específico sumergiendo el fragmento #2 en agua:

$$4.184 * (13.8 - 11.1) * 2985 + Q_{c^{\circ}} = 0$$

$$Q_{c^{\circ}1} = 33721 \text{ J}$$

Mientras el concreto se encuentra estabilizando su temperatura, se sabe que el calor comienza a perderse a medida que pasa el tiempo, por lo que se estabilizó su temperatura hasta que llegó a los 24.0°C , luego se calculó el calor restante:

$$Q_{c^{\circ}} = 1.033 * (24.0 - 14.3) * 2045 + Q_{c^{\circ}1}$$

$$Q_{c^{\circ}} = 54212 \text{ J} \dots \dots \dots (2)$$

Tomando en cuenta que el calor total que se transmitió al bloque, el área, la conductividad térmica y el tiempo son constantes, despejamos la fórmula de la ley de Fourier:

$$k = -\frac{dQ/dt}{A(dT/dx)}$$

$$-\frac{k * A * t}{Q} dT = dx$$

$$-\frac{k * A * t}{Q} \int_{T1}^{T2} dT = \int_{x1}^{x2} dx \dots \dots \dots (3)$$

$$k = 4.58 * 10^{-3} * \frac{W}{cm * K} = 0.458 * \frac{W}{m * K}$$

3.2.4 Ensayo a Compresión

Los ensayos a compresión se realizaron colocando dos planchas de acero en las partes superior e inferior de cada bloque:



Los resultados de los tres bloques y el murete fueron los siguientes:

ESPECIMEN	Largo 1	Largo 2	Ancho	Perforación	Carga	f'c
1	35.80	33.90	14.20	6.60	15190	38.73
2	36.10	34.10	14.00	6.50	16130	41.16
3	36.20	33.90	14.10	6.40	17240	43.35

El promedio de los tres bloques es de 41.08 Kg/cm² ó 4.03 Mpa, cumpliendo con la Norma Técnico Peruana, que exige una resistencia a la compresión de 3.5 Mpa.

Adicionalmente se compraron bloques de concreto convencionales y se sometieron a compresión, para verificar su calidad. Los resultados fueron los siguientes:

ESPECIMEN	Largo 1	Largo 2	Ancho	Perforación	Carga	f'c
1	35.90	33.80	14.00	8.40	3150	9.79
2	36.00	34.00	14.00	8.50	3170	9.91
3	36.00	34.00	14.00	8.50	3440	10.76

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión no llega a los estándares requeridos por las normas en unos bloques de concreto artesanales.



CAPITULO IV: PILAS DE BLOQUES DE CONCRETO

4.1 FABRICACION DE LAS PILAS

4.1.1 Diseño de mezclas del mortero

De acuerdo a lo especificado en la tabla 2.4.4.a, del apartado 2.4.4, la dosificación del mortero que se usara será de 1:4, usando la misma arena gruesa que se usó en los ensayos con los bloques de concreto ligero, se procede al diseño de mezclas:

- a. **Calculo del peso de una proporción:** sabiendo que “n” define la relación del mortero 1:n, tenemos:

	Volumen	Peso Unitario	Peso (Kg)
Cemento	1 pie ³	1500 Kg/m ³	42.50
Arena	4 pie ³ = 0.1133 m ³	1677 Kg/m ³	189.94
		TOTAL	232.44

- b. **Calculo de la relación a/c:** se sabe que la relación a/c varia con respecto a la relación 1:n, de acuerdo a CAPECO, se buscó una función que defina la relación que existe entre estas dos variables:

$$a/c = 0.1425 * 4 + 0.145 = 0.715$$

- c. **Rendimiento de la mezcla:** en este paso se calcula el volumen total de mezcla que puede fabricarse con el peso que se encontró en el paso “a”:

	Peso (Kg)	Peso Especifico	Volumen
Cemento	42.5	2860 Kg/m ³	0.01486
Arena	189.94	2301 Kg/m ³	0.08255
Agua	42.5*a/c	1000 Kg/m ³	0.03039
		SUBTOTAL	0.1278
		Aire (1%)	0.001278
		TOTAL	0.1291

- d. **Calculo de la dosificación en volumen:** se calcula la cantidad de material que se usara para una bolsa de cemento:

Cemento	Arena	Agua
7.75 bls	0.8775 m ³	235.41 lt

- e. **Corrección por humedad:** se calcula la cantidad de agua aportada por la arena:

$$At = 235.41 + 36.49 = 271.90 \text{ lt}$$

4.1.2 Fabricación de las pilas

Se fabricaron 2 pilas, una con la dosificación 3 y una con bloques de concreto convencionales.



4.2 ENSAYOS EN LAS PILAS

Las pilas fueron ensayadas de igual forma que los bloques de concreto:



Los resultados para la pila de concreto ligero (M-1) y la pila de concreto convencional (M-2), fueron los siguientes:

ESPECIME N	Largo 1	Largo 2	Ancho	Perforación	Carga	f'c
M-1	36.30	34.10	14.20	6.40	26340	65.31
M-2	36.00	34.00	14.00	8.50	8280	25.89

La resistencia a la compresión en la pila de concreto ligero fue de 6.41 Mpa, mientras que en la pila de concreto convencional fue de 2.54 Mpa. La Norma Técnico Peruana exige una resistencia a la compresión de 4.2 Mpa.

CAPITULO V: ANALISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

5.1 DE MANO DE OBRA

La mano de obra interviene en dos partes al momento de fabricar los bloques de concreto, primero al momento de fabricar el bloque y luego para realizar la partida de construcción de tabique.

5.1.1 Fabricación del bloque

La fabricación de los bloques de concreto estuvo a cargo del maestro Roger Pio, en su vivienda ubicada en Characato, carreta a Yarabamba. Este proceso requiere una cuadrilla de un operario y un peón. El proceso de fabricación de un bloque de concreto consta de tres partes, las cuales fueron cronometradas:

- I. **Dosificación de materiales:** en obra la mezcla suele dosificarse por bolsa de cemento, en este punto el operario mide y dosifica la mezcla en volumen, este proceso tarda 5 minutos.



- II. Preparación de la mezcla:** luego de tener listos los materiales se procede a mezclarlos y agregar el agua necesaria con cuidado ya que es en este punto en que se mide la calidad de los bloques, este proceso tarda 4 minutos.



- III. Vaciado de los bloques:** este es el paso que define el rendimiento de la mano de obra, ya que es un proceso repetitivo:

- Se hecha la mezcla en el molde y se deja de 10 a 15 segundos en la mesa vibradora para evitar la aparición de vacíos. Mientras se encuentra en la mesa vibradora se va enrazando.
- Después se lleva el bloque con la mezcla hasta el lugar donde se colocan los bloques para su secado.

Este proceso es variable de acuerdo a la distancia a la que se encuentre la plataforma de ubicación de los bloques, pero en promedio tarda entre 40 y 45 segundos. La mesa vibradora juega un papel importante, ya que sin ella este proceso podría aumentar hasta 1 minuto además que la calidad de los bloques disminuiría.



Se procede a calcular el rendimiento por jornada de 8 horas (28800 segundos) teniendo en cuenta que se fabrican 35 bloques por cada tanda⁴⁶:

	Tiempo (segundos)	# veces	Parcial (segundos)
Dosificación de materiales	300	1	300
Preparación de la mezcla	240	1	240
Vaciado de los bloques	43	35	1505
		Total	2045
		Rendimiento	493 bloq/día

⁴⁶ La cantidad de bloques que se pueden fabricar con una bolsa de cemento esta alrededor de 35, es por eso que se eligió esta cantidad.



5.1.2 Fabricación de un muro

Para averiguar el rendimiento de la construcción de un muro con los bloques ligero, se procedió a levantar un muro de 5.016 m². Tomando como base el libro de costos y presupuestos de CAPECO, se usó una cuadrilla de 01 operario y 01 peón para dicho trabajo.



La faena comenzó a las 10:22 am y culminó a la 1:36 pm, teniendo un total de 3 horas y 14 minutos, que equivale a 3.23 horas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{5.016 \text{ m}^2}{3.23 \text{ hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ dia}} = 12.41 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

5.2 ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

5.2.1 Para fabricar un bloque de concreto ligero

Para hacer el cálculo del costo de fabricación de un bloque de concreto ligero, primero se calculó el volumen de concreto fabricado:

MATERIAL	DOSIFICACION EN VOLUMEN	VOLUMEN
Agua	193.59 lt	0.209 m ³
Cemento	0.162 m ³	0.085 m ³
Pómez	0.672 m ³	0.263 m ³
Ag. Fino	0.672 m ³	0.418 m ³
Aire	0.025 m ³	0.025 m ³
Puzolana	0.672 m ³	0.353 m ³
Total		1.353 m³

Se tienen las dimensiones de los bloques:

Largo promedio =	35.00 cm
Ancho =	14.00 cm
Alto =	15.00 cm
Numero de perforaciones =	3
Diámetro de perforaciones =	6.50 cm

El volumen de un solo bloque de concreto será: 5.86 lt.

Teniendo un desperdicio del 3%, se pueden fabricar 165.60 bloques con 1 m³ de concreto.

El material necesario para fabricar un bloque será:

# de bolsas de cemento por bloque =	0.0256
m3 de piedra pómez por bloque =	0.0030
m3 de agregado fino por bloque =	0.0030
m3 de puzolana por bloque =	0.0030

El proceso de fabricación de los bloques de concreto requiere 1 operario y 1 peón, teniendo un rendimiento diario de 493 bloques, los equipos usados son: una bloquetera y una mesa vibradora, ambos tienen una vida útil de 8 horas diarias durante un año. A continuación se presenta el ACU de dicha partida.

Partida:	Fabricación de bloque de concreto ligero
Especificación:	Bloque 36x14x15
Cuadrilla:	1 operario + 1 peón
Rendimiento:	493 bloq/día

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 0.06
Operario	hh	0.0020	S/. 14.65	S/. 0.03
Peón	hh	0.0020	S/. 12.89	S/. 0.03
MATERIALES:				S/. 1.14
Cemento Puzolanico tipo I	bls	0.0256	S/. 19.90	S/. 0.51
Piedra pómez	m3	0.0030	S/. 90.00	S/. 0.27
Agregado fino	m3	0.0030	S/. 90.00	S/. 0.27
Puzolana	m3	0.0030	S/. 30.00	S/. 0.09
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 0.01
Mesa vibradora	und	0.0000	S/. 1,500.00	S/. 0.01
Bloquetera	und	0.0000	S/. 90.00	S/. 0.00
Herramientas manuales 3%		0.0300	S/. 0.06	S/. 0.00
TOTAL				S/. 1.20

5.2.2 Para construir un muro

El mortero del muro tendrá una dosificación de 1:4, con una junta de 1.50 cm.

- La cantidad de mortero usado en un bloque de concreto será: 0.0012 m³.
- La cantidad de bloques que entran por m² de muro es: 16.38 und.
- Por lo tanto la cantidad de mortero que se usa en 1 m² de muro es: 0.0196 m³.
- De acuerdo al apartado 4.1.1, se calcula la cantidad de cada material:
 - # de bolsas de cemento por m² de muro: 0.1652 bls.
 - m³ de arena por m³ de muro: 0.0187 m³.

La construcción de un muro de bloques de concreto ligero demanda la cantidad de 1 operario y 1 peón, teniendo un rendimiento diario de 12.41 m²/día. Se tomó un desperdicio del 3% tanto para el mortero como para los bloques de concreto ligero:

Partida:	Muro de concreto ligero (tabique) de soga
Especificación:	Bloque 36x14x15, junta de 1.5 cm, mezcla 1:4
Cuadrilla:	1 operario + 1 peón
Rendimiento:	12.41 m ² /día (204 bloq/día)

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 17.75
Operario	hh	0.6446	S/. 14.65	S/. 9.44
Peon	hh	0.6446	S/. 12.89	S/. 8.31
MATERIALES:				S/. 24.16
Cemento Puzolanico tipo I	bls	0.1564	S/. 19.90	S/. 3.11
Arena gruesa	m ³	0.0177	S/. 45.00	S/. 0.80
Bloque 36*14*15	pza	16.8714	S/. 1.20	S/. 20.32
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 2.92
Andamio de madera	p2	0.5080	S/. 4.50	S/. 2.29
Clavos de 3"	Kg	0.0220	S/. 4.50	S/. 0.10
Herramientas manuales 3%		0.0300	S/. 17.75	S/. 0.53
TOTAL				S/. 44.83

CAPITULO VI: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

6.1 ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO

Por lo que se vio en el Capítulo III, el proceso de diseño de mezclas es un proceso mecánico que se puede sistematizar para hacer el proceso de diseño mucho menos tedioso, por lo que se elaboró una hoja de Excel donde se puede hacer diseños de mezcla y además hacer cálculos de densidad y costos.

6.1.1 Diseño de mezclas sistematizado

Se procedió a elaborar una hoja de Excel de la siguiente forma (donde todas las celdas de color celeste son datos necesarios para el diseño):

DISEÑO DE MEZCLAS

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:

Resistencia a la compresion =	35 Kg/cm ²
Peso específico =	2860 Kg/m ³
Precio del cemento =	S/. 19.90/bls
Tipo de dosificación =	Dosificación 3
Relacion AG/AF =	4/4

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (piedra pomez):

Peso unitario =	408 Kg/m ³
Peso específico =	1045 Kg/m ³
Absorcion =	49.25%
Contenido de humedad =	43.74%
Precio de piedra pomez =	S/. 90.00/m ³
TMN =	1/2"

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (ag. fino):

Peso unitario =	788 Kg/m ³
Peso específico =	1267 Kg/m ³
Absorcion =	34.13%
Contenido de humedad =	43.68%
Precio de agregado fino =	S/. 90.00/m ³

CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA:

Peso unitario =	1097 Kg/m ³
Peso específico =	2088 Kg/m ³
Absorcion =	15.74%
Contenido de humedad =	0.00%
Precio de la puzolana =	S/. 30.00/m ³
Relacion puzolana/agregado =	0.50

RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA:

Suficientes datos estadísticos (>30)	
Desv Estandar=	2.58 Kg/cm ²
f _{cr} =	38.46 Kg/cm ²

CONTENIDO DE AGUA

209 lt

RELACION AGUA/CEMENTO

0.857

CONTENIDO DE CEMENTO

243.61 Kg

CONTENIDO DE AIRE

2.50%

VOLUMENES ABSOLUTOS SIN CONSIDERAR AGREGADOS

MATERIAL	PESO	Peso Especifico	VOL
cemento	243.61 Kg	2860 Kg/m ³	0.085
agua	208.80 lt	1000 Kg/m ³	0.209
aire			0.025
TOTAL			0.319

CALCULO DEL VOLUMEN DE AGREGADOS

Piedra pomez =	0.263 m ³
Agreg. Fino =	0.418 m ³

PESO EN ESTADO SECO DE AGREGADOS

Piedra pomez =	274.48 Kg
Agreg. Fino =	529.84 Kg

CORRECCION POR HUMEDAD

Peso Humedo:

Piedra pomez:	394.55
Agreg. Fino:	761.27

Aporte de agua:

Piedra pomez:	-15.13
Agreg. Fino:	50.60
Puzolana:	-20.26

Agua añadida:

193.59 lt

DOSIFICACION EN PESO

Cemento	Piedra pomez	Agreg. Fino	Agua	Puzolana
1	1.62	3.12	0.795	3.03

Al introducir datos en la hoja, automáticamente se colocan las unidades, además se cuenta con 4 listas desplegables:

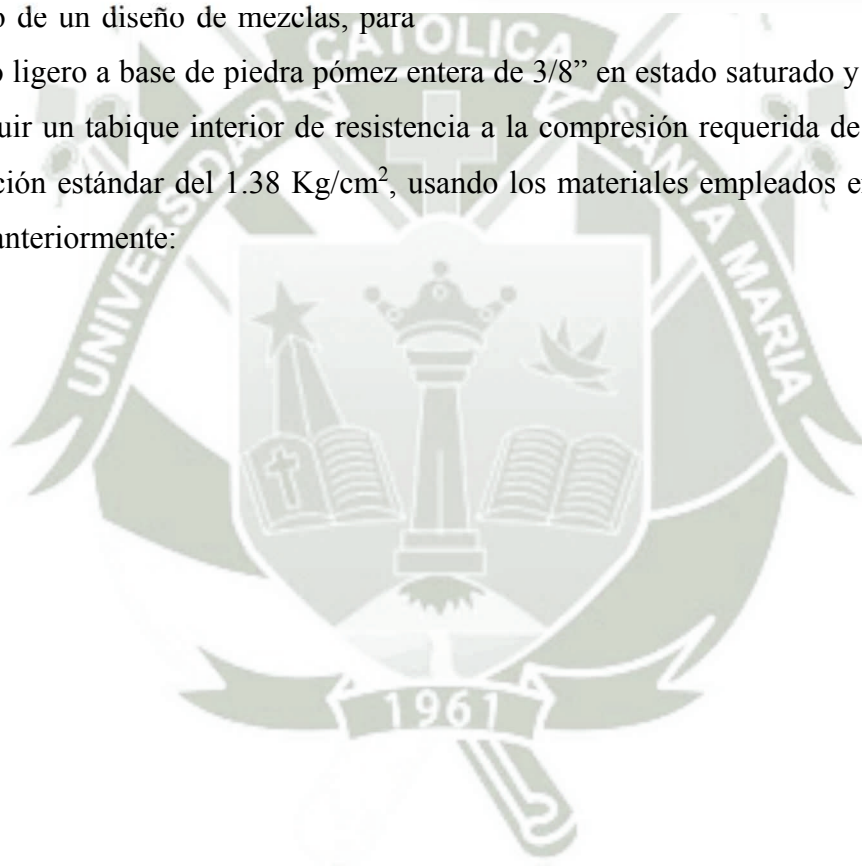
Precio del cemento =	
Estado del agregado =	
Relacion AG/AF =	Dosificación 1 Dosificación 2 Dosificación 3
CARACTERISTICAS FISICAS (piedra pómez):	

Estado del agregado =	
Relacion AG/AF =	4/3 4/4 4/5
CARACTERISTICAS FISICAS (piedra pómez):	
Peso unitario =	

Precio de piedra pómez =	
TMN =	3/8" 1/2" 3/4"
CARACTERISTICAS FISICAS (ag. f):	
Peso unitario =	

RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA:	
	Sin datos estadísticos (<15) Pocos datos estadísticos (15-30) Suficientes datos estadísticos (>30)

Un ejemplo de un diseño de mezclas, para un concreto ligero a base de piedra pómez entera de 3/8" en estado saturado y arena gruesa, para construir un tabique interior de resistencia a la compresión requerida de 35 Kg/cm² y una desviación estándar del 1.38 Kg/cm², usando los materiales empleados en los ensayos realizados anteriormente:



Avance de tesis.xlsx - Microsoft Excel Preview

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA Carlos Ibarcena

General Formato condicional Insertar Dar formato como tabla Eliminar Formato Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar y filtrar y seleccionar Modificar

X125

DISEÑO DE MEZCLAS

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:

Resistencia a la compresión =	35 Kg/cm ²
Peso específico =	2860 Kg/m ³
Precio del cemento =	S/. 19.90/bls
Tipo de dosificación =	Dosificación 2
Relacion AG/AF =	4/4

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (piedra pomez):

Peso unitario =	408 Kg/m ³
Peso específico =	1045 Kg/m ³
Absorsion =	49.25%
Contenido de humedad =	43.74%
Precio de piedra pomez =	S/. 90.00/m ³
TMN =	3/8"

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (ag. fino):

Peso unitario =	1677 Kg/m ³
Peso específico =	2301 Kg/m ³
Absorsion =	3.93%
Contenido de humedad =	2.12%
Precio de agregado fino =	S/. 45.00/m ³

CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA:

Peso unitario =	1097 Kg/m ³
Peso específico =	2088 Kg/m ³
Absorción =	15.74%
Contenido de humedad =	0.00%
Precio de la puzolana =	S/. 30.00/m ³
Relacion puzolana/agregada =	0.25

RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA:

Suficientes datos estadísticos (>30)	
Desv Estandar=	1.38 Kg/cm ²
f'cr=	36.85 Kg/cm ²

CONTENIDO DE AGUA

194 lt

RELACION AGUA/CEMENTO

1.189

CONTENIDO DE CEMENTO

163.47 Kg

CONTENIDO DE AIRE

3.00%

VOLUMENES ABSOLUTOS SIN CONSIDERAR AGREGADOS

MATERIAL	PESO	Peso Especifico	VOL
cemento	163.47 Kg	2860 Kg/m ³	0.057
agua	194.40 lt	1000 Kg/m ³	0.194
aire			0.030
TOTAL			0.282

CALCULO DEL VOLUMEN DE AGREGADOS

Piedra pomez =	0.251 m ³
Agreg. Fino =	0.468 m ³

PESO EN ESTADO SECO DE AGREGADOS

Piedra pomez =	261.95 Kg
Agreg. Fino =	1076.12 Kg

CORRECCION POR HUMEDAD

Peso Humedo:	
Piedra pomez:	376.54
Agreg. Fino:	1098.98
Aporte de agua:	
Piedra pomez:	-14.43
Agreg. Fino:	-19.45
Puzolana:	-14.41
Agua añadida:	
	242.70 lt

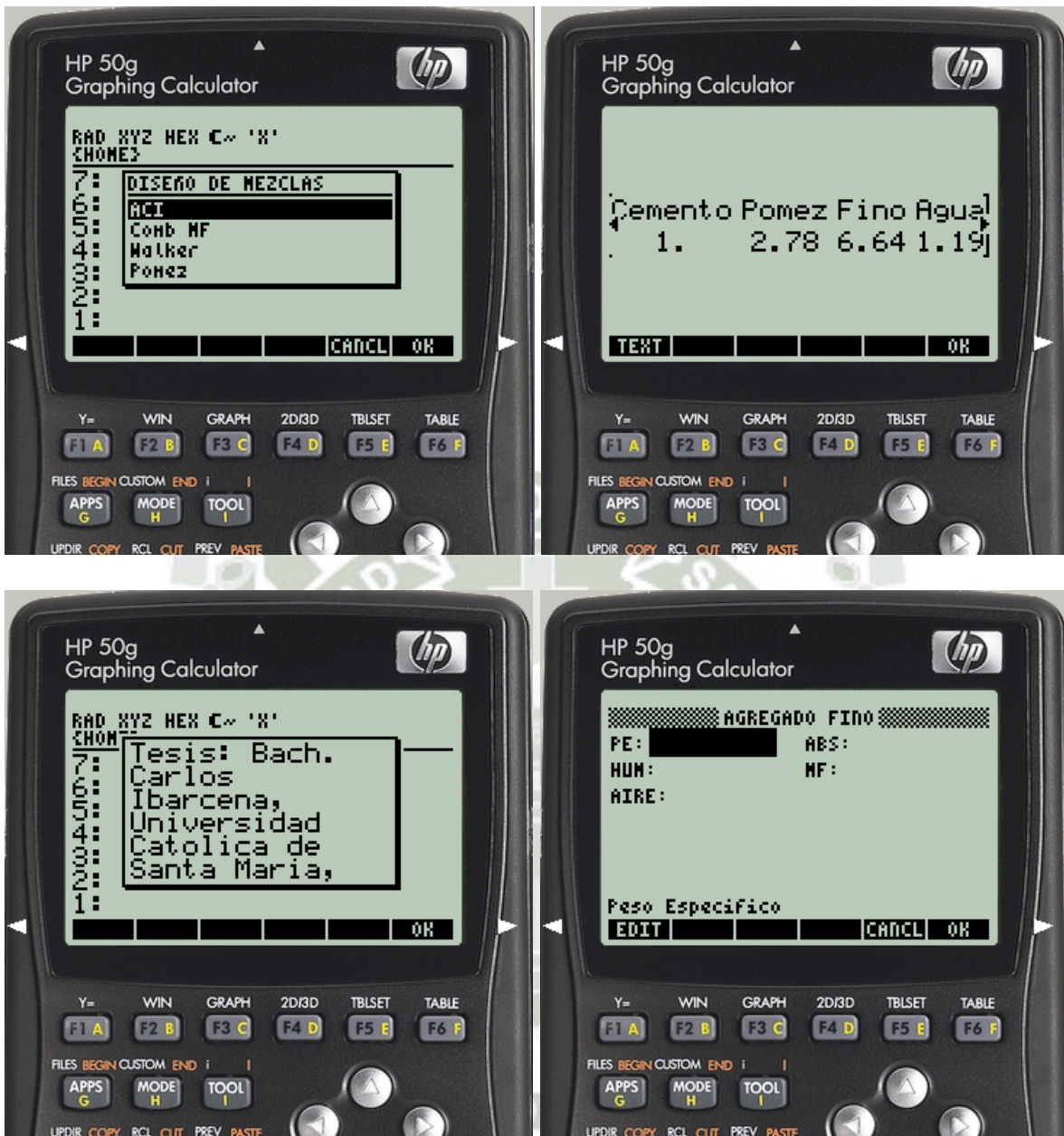
DOSIFICACION EN PESO

Cemento	Piedra pomez	Agreg. Fino	Agua	Puzolana
1	2.30	6.72	1.485	2.15

Pruebas exploratorias Resumen Interpretacion **Diseño de mezcla**

LISTO 80 %

Ya que el uso de calculadoras HP es común entre los ingenieros civiles, se hizo un programa de diseño de mezclas para calculadoras HP49g, HPg49+ y HP50g, que contiene los métodos de ACI, Combinación de módulos de fineza, Walker y Pómez:



6.1.2 Análisis de los bloques de concreto

Adicionalmente al diseño de mezclas sistematizado, se propuso realizar una tabla, donde indique las características del bloque de concreto como son: la densidad, costos y cantidad de bloques por metro cubico o bolsa de cemento, de la siguiente forma:

Avance de tesis.xlsx - Microsoft Excel Preview

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA Carlos Ibarcena

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

F71

ANÁLISIS DEL BLOQUE DE CONCRETO

MATERIAL	VOLUMEN	DOSIFICACION EN VOLUMEN	PESO SECO	DOSIFICACION POR BOLSA
Agua	0.194 m3	242.70 lt		63.10 Kg
Cemento	0.057 m3	0.109 m3	163.47 Kg	1.00 bls
Pomez	0.251 m3	0.642 m3	261.95 Kg	68.10 Kg
Ag. Fino	0.468 m3	0.642 m3	1076.12 Kg	279.77 Kg
Aire	0.030 m3	0.030 m3		
Puzolana	0.169 m3	0.321 m3	352.14 Kg	91.55 Kg
Total	1.169 m3		1586 Kg/m3	

DIMENSIONES DEL BLOQUE:

Largo promedio =	35.00 cm
Ancho =	14.00 cm
Alto =	15.00 cm
Numero de perforaciones =	3
Diametro de perforaciones =	7.50 cm

DETALLES:

Numero de bloques por m2 =	16.38
Volumen de un bloque =	5.37 lt
Peso de un bloque =	8.51 Kg
# de bloques por m3 =	180.86
# de bloques por bolsa =	47.02
# de bolsas por bloque =	0.0182
m3 de piedra pomez por bloque =	0.0030
m3 de agregado fino por bloque =	0.0030
m3 de puzolana por bloque =	0.0015

Pruebas exploratorias Resumen Interpretacion **Diseño de mezcla**

LISTO 80 %

- En la columna “C”, se calculó la cantidad total de mezcla que se fabricara.
- En la columna “D”, se calculó el volumen de materiales sueltos que se introducirán en el preparado de la mezcla para fabricar 1.169 m³ de concreto.
- En la columna “E”, se calculó el peso seco de cada material, al final se sumaron los pesos y se dividió entre el volumen de concreto (1.169 m³), para calcular la densidad seca del concreto.
- En la columna “F” se calculó las cantidades en volumen de cada material usado en función a una bolsa de cemento (42.5 Kg).

De acuerdo a las dimensiones del bloque que se fabricara se calculó el volumen de cada bloque, así como su peso, la cantidad de bloques que se fabricaran en una tandada y el costo de cada uno.

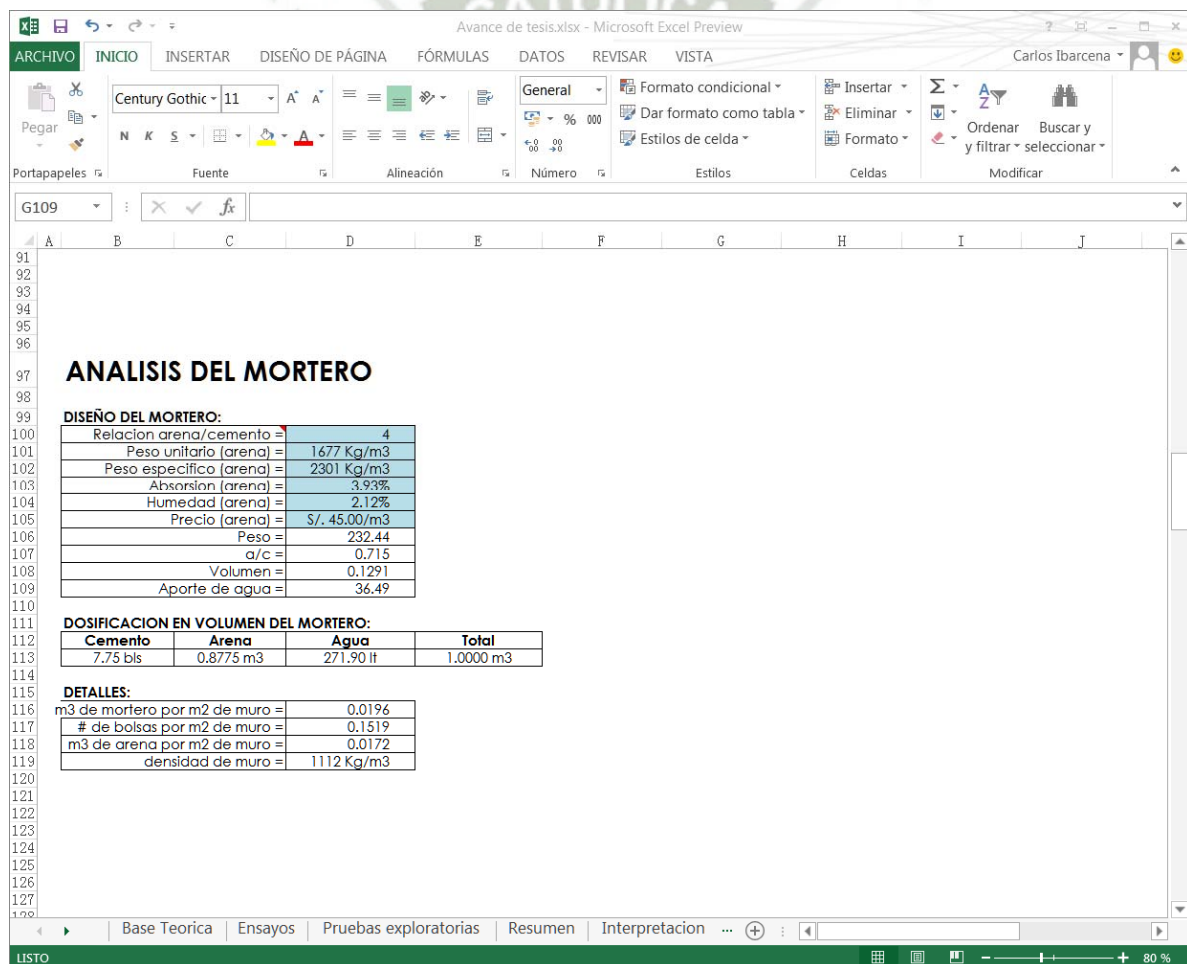
También se calcularon las cantidades a introducir en los análisis de costos unitarios.

6.2 ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DE LAS PILAS

Las pilas de bloques de concreto, al igual que en un muro de concreto, necesitan mortero y se debe calcular la cantidad de mortero que se usa en 1 m² de muro:

En la imagen 3.1.2.9, se observa un modelo del bloque en 3 dimensiones donde se observa una entrada en ambos lados del bloque, que hace que ingrese más mortero en esas partes, para simplificar el proceso, se calculó que en dichas partes la junta pasara a ser de 1.50 cm a 2.00 cm, así será como se calculará la cantidad de mortero.

A continuación se describe un proceso sistematizado en una hoja de Excel para calcular las cantidades de los materiales para fabricar el mortero:



Avance de tesis.xlsx - Microsoft Excel Preview

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA Carlos Ibarcena

Century Gothic 11

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

G109

ANALISIS DEL MORTERO

DISEÑO DEL MORTERO:

Relacion arena/cemento =	4
Peso unitario (arena) =	1677 Kg/m3
Peso especifico (arena) =	2301 Kg/m3
Absorsion (arena) =	3.93%
Humedad (arena) =	2.12%
Precio (arena) =	S/. 45.00/m3
Peso =	232.44
a/c =	0.715
Volumen =	0.1291
Aporte de agua =	36.49

DOSIFICACION EN VOLUMEN DEL MORTERO:

Cemento	Arena	Agua	Total
7.75 bls	0.8775 m3	271.90 lt	1.0000 m3

DETALLES:

m3 de mortero por m2 de muro =	0.0196
# de bolsas por m2 de muro =	0.1519
m3 de arena por m2 de muro =	0.0172
densidad de muro =	1112 Kg/m3

Base Teorica | Ensayos | Pruebas exploratorias | Resumen | Interpretacion ...

LISTO 80 %

6.3 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS Y BENEFICIOS

Se hará una comparación entre:

- Muro de ladrillos
- Muro de bloques convencionales
- Muro de bloques de concreto ligero (dosificación 3)
- Muro de bloques de concreto ligero (dosificación 1 y 2)

6.3.1 Muro a base de ladrillos

Se usara un ladrillo pandereta para tabiquería de dimensiones: 10x14x23:

- Cantidad de ladrillos por m² de muro⁴⁷: 36.56 und.
- Cantidad de mortero por m² de muro: 0.0265 m³.
- Rendimiento (350 lad/día): 9.57 m²/día.

Partida:	Muro de ladrillo (Tabique) de sogá
Especificación:	Ladrillo 10x14x23, junta de 1.5 cm, mezcla 1:4
Cuadrilla:	1 operario + 1 peón
Rendimiento:	9.57 m ² /día (350 lad/día)

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 23.02
Operario	hh	0.836	S/. 14.65	S/. 12.25
Peon	hh	0.836	S/. 12.89	S/. 10.78
MATERIALES:				S/. 43.52
Cemento Puzolanico tipo I	bls	0.205	S/. 19.90	S/. 4.09
Arena gruesa	m3	0.023	S/. 45.00	S/. 1.05
Ladrillo pandereta	pza	36.560	S/. 1.05	S/. 38.39
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 3.08
Andamio de madera	p2	0.508	S/. 4.50	S/. 2.29
Clavos de 3"	Kg	0.022	S/. 4.50	S/. 0.10
Herramientas manuales 3%		0.030		S/. 0.69
TOTAL				S/. 69.62

⁴⁷ Incluye junta de 1.5 cm y desperdicio del 3%.

6.3.2 Muro a base de bloques de concreto convencionales

Se usara un bloque de concreto de dimensiones iguales de la del bloque de concreto ligero:
36x14x15:

- Cantidad de bloques por m² de muro⁴⁸: 16.38 und.
- Cantidad de mortero por m² de muro: 0.0213 m³.
- Rendimiento (350 lad/día): 12.41 m²/día.

Partida:	Muro de concreto ligero (tabique) de soga
Especificación:	Bloque 36x14x15, junta de 1.5 cm, mezcla 1:4
Cuadrilla:	1 operario + 1 peón
Rendimiento:	12.41 m ² /día (204 bloq/día)

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 17.75
Operario	hh	0.6446	S/. 14.65	S/. 9.44
Peon	hh	0.6446	S/. 12.89	S/. 8.31
MATERIALES:				S/. 29.22
Cemento Puzolanico tipo I	bls	0.1564	S/. 19.90	S/. 3.11
Arena gruesa	m3	0.0177	S/. 45.00	S/. 0.80
Bloque 36*14*15	pza	16.8714	S/. 1.50	S/. 25.31
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 2.92
Andamio de madera	p2	0.5080	S/. 4.50	S/. 2.29
Clavos de 3"	Kg	0.0220	S/. 4.50	S/. 0.10
Herramientas manuales 3%		0.0300	S/. 17.75	S/. 0.53
TOTAL				S/. 49.89

⁴⁸ Incluye junta de 1.5 cm y desperdicio del 3%.

6.3.3 Muro a base de bloques de concreto ligero con dosificación 3

Partida: Muro de concreto ligero (tabique) de sogá
Especificación: Bloque 36x14x15, junta de 1.5 cm, mezcla 1:4
Cuadrilla: 1 operario + 1 peón
Rendimiento: 12.41 m²/día (204 bloq/día)

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 17.75
Operario	hh	0.6446	S/. 14.65	S/. 9.44
Peon	hh	0.6446	S/. 12.89	S/. 8.31
MATERIALES:				S/. 24.16
Cemento Puzolanico tipo I	bls	0.1564	S/. 19.90	S/. 3.11
Arena gruesa	m3	0.0177	S/. 45.00	S/. 0.80
Bloque 36*14*15	pza	16.8714	S/. 1.20	S/. 20.32
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 2.92
Andamio de madera	p2	0.5080	S/. 4.50	S/. 2.29
Clavos de 3"	Kg	0.0220	S/. 4.50	S/. 0.10
Herramientas manuales 3%		0.0300	S/. 17.75	S/. 0.53
TOTAL				S/. 44.83

6.3.4 Muro a base de bloques de concreto ligero con dosificación 1 y 2

Partida:	Muro de concreto ligero (tabique) de sogá
Especificación:	Bloque 36x14x15, junta de 1.5 cm, mezcla 1:4
Cuadrilla:	1 operario + 1 peón
Rendimiento:	12.41 m ² /día (204 bloq/día)

	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA:				S/. 17.75
Operario	hh	0.6446	S/. 14.65	S/. 9.44
Peon	hh	0.6446	S/. 12.89	S/. 8.31
MATERIALES:				S/. 18.76
Cemento Puzzolánico tipo I	bls	0.1564	S/. 19.90	S/. 3.11
Arena gruesa	m ³	0.0177	S/. 45.00	S/. 0.80
Bloque 36*14*15	pza	16.8714	S/. 0.88	S/. 14.90
EQUIPOS - HERRAMIENTAS				S/. 2.92
Andamio de madera	p2	0.5080	S/. 4.50	S/. 2.29
Clavos de 3"	Kg	0.0220	S/. 4.50	S/. 0.10
Herramientas manuales 3%		0.0300	S/. 17.75	S/. 0.53
TOTAL				S/. 39.43

6.3.5 Cuadro comparativo

En una escala de colores, se detallan los aspectos más favorables con color verde y los menos favorables con color rojo:

	MATERIAL			
	Ladrillo	Concreto convencional	Concreto ligero (Tipo 3)	Concreto ligero (Tipo 1 y 2)
Unidades (und/m ²)	35.56	16.38	16.38	16.38
Rendimiento M.O. (m ² /día)	9.57	12.41	12.41	12.41
Precio (S/. /m ²)	69.62	49.89	44.83	39.43
Densidad de muro (Kg/m ³)	1800	1460	1150	1330
Conductividad térmica (W/m*K)	0.780	1.400	0.458	0.810 ⁴⁹

⁴⁹ Conductividad térmica aproximada, fuente: <http://www.miliarium.com>

Aparentemente, el bloque de concreto ligero con dosificación 3 es el más viable para construir un muro, pero la diferencia entre los bloques de concreto ligero y los demás, es que el precio de cada unidad no tiene el costo de comercialización. Si se aproxima un costo de comercialización que eleve en un 75% el precio de cada bloque, para comparar de mejor manera con los demás materiales, se tiene una variación en el cuadro comparativo:

	MATERIAL			
	Ladrillo	Concreto convencional I	Concreto ligero (Tipo 3)	Concreto ligero (Tipo 1 y 2)
Unidades (und/m ²)	35.56	16.38	16.38	16.38
Rendimiento M.O. (m ² /día)	9.57	12.41	12.41	12.41
Precio (S/. /m ²)	69.62	50.23	60.01	50.56
Densidad de muro (Kg/m ³)	1800	1460	1150	1330
Conductividad térmica (W/m*K)	0.780	1.400	0.458	0.810



CONCLUSIONES

- La adición de roca volcánica al concreto influye en las características del concreto de la siguiente forma:
 - Físicamente, reduce su densidad entre 34% (1450 Kg/m³) y 52% (1050 Kg/m³), lo hace más poroso y reduce notoriamente su conductividad térmica hasta un 67% (0.458 W/m*K), además le proporciona un color y una textura más vistosa y elegante.
 - Mecánicamente, reduce su resistencia a la compresión de acuerdo al agregado que se use, entre 75% y 87%, pero al usarse en bloques de concreto, esta característica no afecta sustancialmente.
 - Económicamente mantiene su costo (S/. 51.00/m²), cuando se requiere una densidad del muro de 1330 Kg/m³, con respecto a un muro de bloques de concreto convencional (S/.50.23/m²) pero es 35% más económico que un muro de ladrillos (S/.69.62/m²). Cuando se requiere una densidad del muro de 1183 Kg/m³ (S/.60.35/m²), es 20% más costoso que un muro de bloques de concreto convencionales, pero 15% más económico que un muro de ladrillos.
- Es viable construir muros con bloques de concreto ligero de densidades alrededor de 1330 Kg/m³, sin embargo la construcción de bloques de concreto con densidades alrededor de 1183 Kg/m³ es viable si es que se requiere un mayor nivel de confort, ya que tiene un costo 18% más alto.
- La dosificación óptima para fabricar bloques de concreto ligero para tabiquería es:
 - Para densidades de muro de 1330 Kg/m³:
 - Cemento : 1 bolsa
 - Agua : 63.10 lt
 - Piedra pómez : 0.167 m³
 - Arena gruesa : 0.167 m³
 - Puzolana : 0.083 m³
 - Para densidades de muro de 1150 Kg/m³:

- Cemento : 1 bolsa
 - Agua : 36.41 lt
 - Piedra pómez : 0.126 m³
 - Pómez fina : 0.126 m³
 - Puzolana : 0.126 m³
- La fabricación de tabiques de bloques de concreto ligero hace que el peso se reduzca entre 26% y 52%, en comparación a un tabique de ladrillos y entre 9% y 18% en comparación a un tabique de bloques de concreto convencionales.
 - Un bloque de concreto ligero puede alcanzar resistencias entre 19 Kg/cm² y 72 Kg/cm², solo basta con seguir el procedimiento de diseño de mezclas.



RECOMENDACIONES

- Seguir investigando el uso de la piedra pómez en el concreto, ya que el diseño de mezclas tiene limitaciones:
 - Resistencia a la compresión requerida (f'_{cr}):
 - Dosificación 1 : entre 19 Kg/cm² y 65 Kg/cm²
 - Dosificación 2 : entre 22 Kg/cm² y 72 Kg/cm²
 - Dosificación 3 : entre 24 Kg/cm² y 39 Kg/cm²
 - Tamaño máximo nominal (TMN):
 - Usar piedra pómez de 3/8" y 1/2"; y 3/4" solo cuando las dimensiones lo permitan.
 - Usar puzolana tamizada por la malla #30.
- Seguir investigando sobre el uso de diferentes rocas volcánicas como agregados en el concreto, ya que como se vio en el apartado 3.1.2, la roca volcánica extraída de Yarabamba tiene excelentes propiedades para ser usada como agregado, solo hace falta un método ingenioso para extraer y fracturar la roca mecánicamente.
- Para fabricar bloques de concreto ligero usando la dosificación tipo 3, primero debe tenerse en cuenta la calidad de la piedra pómez fina, ya que esta influye mucho en la trabajabilidad de la mezcla.
- Investigar más la parte de la relación entre agregado grueso y agregado fino, para cuando se tengan TMN mayores a 3/4", ya que en estos casos la cantidad de piedra pómez debe ser cada vez mayor.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA DOCUMENTAL

- MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCION I, Instituto de Ingeniería UNAM, Limusa Noriega editores, México, 2001.
- MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCION II, Instituto de Ingeniería UNAM, Limusa Noriega editores, México, 2001.
- MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCION III, Instituto de Ingeniería UNAM, Limusa Noriega editores, México, 2001.
- USO DE CONCRETO CELULAR EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL, Yuri Néstor Ninaquispe Manchego, Tesis de grado Universidad Nacional de Ingenierías, Perú, 2007.
- NORMA TECNICO PERUANA NTP 399.600-2010, Unidades de albañilería. Bloques de concreto para uso no estructurales. Requisitos, INDECOPI, Lima, Perú, 2010.
- NORMA TECNICO PERUANA NTP 399.602-2010, Unidades de albañilería. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos, INDECOPI, Lima, Perú, 2002.
- MORTEROS DE CEMENTO, Universidad Nacional de Ingenierías, Tecnología de materiales.
- TECNOLOGIA DE LOS MORTEROS, Universidad militar nueva granada, Bogotá, Colombia.
- CALOR ESPECÍFICO DE UN SÓLIDO Y UN LÍQUIDO, Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.
- COSTOS Y PRESUPUESTOS EN EDIFICACION, CAPECO, Lima, Perú.

•

BIBLIOGRAFIA ELECTRONICA

- CONDUCTIVIDAD TERMICA
 - <http://www.hbcnetbase.com/La>
- PIEDRA POMEZ, Arq. Edgar A. Huamán Gamarra, Universidad Peruana Los Andes.
 - <http://es.scribd.com/doc/45506248/CLASE-13-PIEDRA-POMEZ>
- USO DE MORTEROS DE CEMENTO, Universidad Nacional de Colombia.
 - http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf

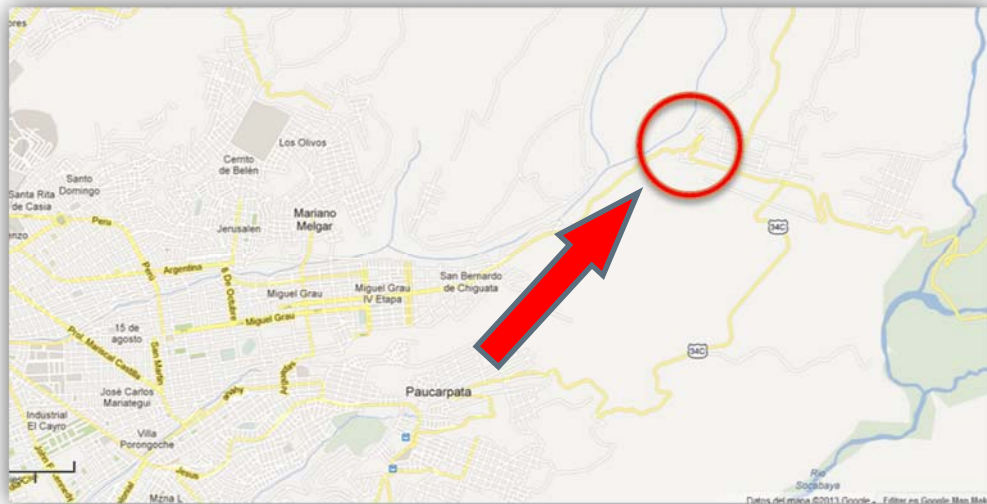


ANEXOS Y ASPECTOS TECNICOS

PANEL FOTOGRAFICO



Cantera de Piedra Pómez en Chiguata.



Ubicación de la cantera de piedra pómez, a 10 Km al este del centro de Arequipa.



Realizando ensayos de peso específico y porcentaje de absorción en arena gruesa.



Realizando ensayos de peso específico y porcentaje de absorción en la piedra pómez fina.



Realizando el ensayo de Asentamiento en el concreto fresco.



Especímenes fabricados.



Ensayo de peso unitario en la piedra pómez fina.



Bloques de concreto fabricados en obra.



Se muestra el corte de los bloques de concreto para apreciar el agregado usado



Contaminación a causa de las ladrilleras, una ventaja del uso de bloques de concreto prefabricados.

ENSAYOS DE LABORATORIO

FORMULAS USADAS:

- **Peso unitario:**

- **Peso unitario suelto:**

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto}}{\text{Volumen}}$$

- **Peso unitario compactado:**

$$PUC = \frac{\text{Peso compactado}}{\text{Volumen}}$$

- PUS: Peso unitario suelto (Kg/m³)
- PUC: Peso unitario compactado (Kg/m³)
- Peso: Peso de la muestra (Kg)
- Volumen: Volumen del recipiente (m³)

- **Peso específico y porcentaje de absorción:**

- **Para el agregado grueso:**

$$PE_s = \frac{A}{B - C} * 1000$$

$$PE_{sss} = \frac{B}{B - C} * 1000$$

$$PE_n = \frac{A}{A - C} * 1000$$

$$ABS = \frac{B - A}{A}$$

- PE_s: Peso específico seco (Kg/m³)
- PE_{sss}: Peso específico saturado superficialmente seco (Kg/m³)
- PE_n: Peso específico nominal (Kg/m³)
- A: Peso de la muestra seca (Kg ó g)
- B: Peso de la muestra seca superficialmente seca (Kg ó g)
- C: Peso de la muestra bajo el agua (Kg ó g)

○ **Para el agregado fino:**

$$PE_s = \frac{A}{B + S - C} * 1000$$

$$PE_{sss} = \frac{S}{B + S - C} * 1000$$

$$PE_n = \frac{A}{B + A - C} * 1000$$

$$ABS = \frac{S - A}{A}$$

- PEs: Peso específico seco (Kg/m³)
- PE_{sss}: Peso específico saturado superficialmente seco (Kg/m³)
- PEn: Peso específico nominal (Kg/m³)
- A: Peso de la muestra seca (Kg ó g)
- B: Peso de la probeta + agua (Kg ó g)
- C: Peso de la muestra sss + probeta + agua (Kg ó g)
- S: Peso de la muestra sss (Kg ó g)

● **Contenido de humedad:**

$$HUM = \frac{A - B}{B}$$

- A: Peso de la muestra (Kg ó g)
- B: Peso de la muestra seca (Kg ó g)

MATERIALES ENSAYADOS:

ARENA GRUESA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00283 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 4.443 Kg
Peso 2 = 4.322 Kg
Peso 3 = 4.387 Kg

PUS= 1526.1 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 5.176 Kg
Peso 2 = 5.149 Kg
Peso 3 = 5.139 Kg

PUC= 1827.7 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

S = 433.5 gr
C = 905.6 gr
B = 653.4 gr
A = 417.1 gr

PEs = 2300.6 Kg/m³
PEsss = 2391.1 Kg/m³
PEn = 2529.4 Kg/m³
ABS = 3.93%

3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la muestra = 500.0 gr
Peso de la muestra seca = 489.6 gr

HUM = 2.12%

4. GRANULOMETRIA

	RET	%RET	%RET ACUM	%PASA
#4	35.20	7.07%	7.07%	92.93%
#8	79.80	16.04%	23.11%	76.89%
#16	83.00	16.68%	39.79%	60.21%
#30	68.00	13.67%	53.46%	46.54%
#50	76.40	15.35%	68.81%	31.19%
#100	76.20	15.31%	84.12%	15.88%
FONDO	73.00	14.67%	98.79%	1.21%
	491.60			

MF = 2.76

PIEDRA POMEZ FINA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00283 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 2.089 Kg
Peso 2 = 2.042 Kg
Peso 3 = 2.157 Kg

PUS= 721.0 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 2.277 Kg
Peso 2 = 2.421 Kg
Peso 3 = 2.280 Kg

PUC= 854.9 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

S = 450.0 gr
C = 1338.5 gr
B = 1153.4 gr
A = 335.5 gr

PEs = 1266.5 Kg/m³
PEsss = 1698.8 Kg/m³
PEn = 2230.7 Kg/m³
ABS = 34.13%

3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la muestra = 500.0 gr
Peso de la muestra seca = 491.5 gr

HUM = 1.73%

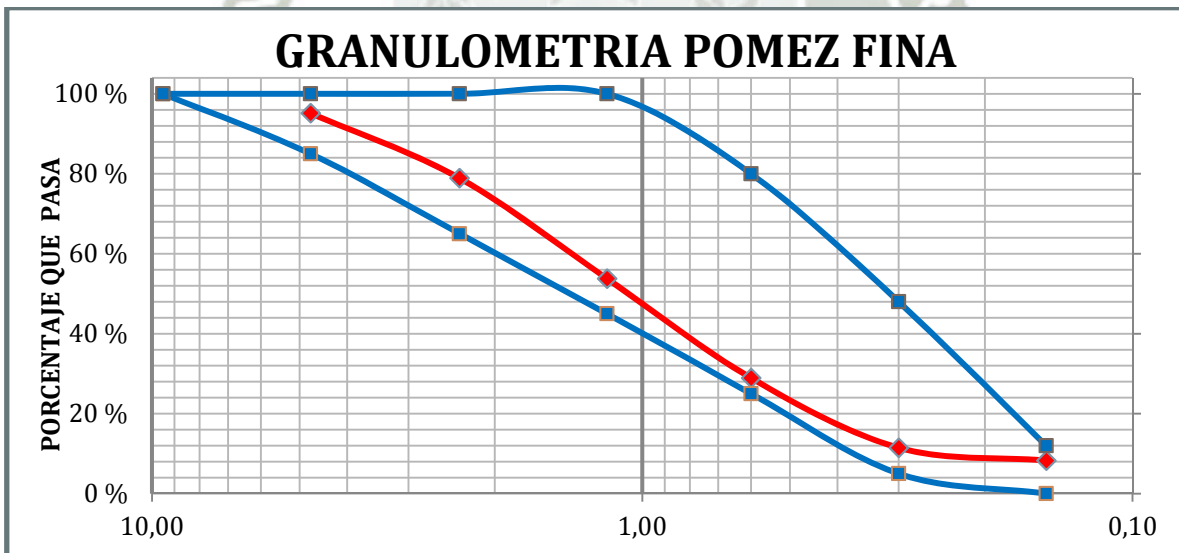
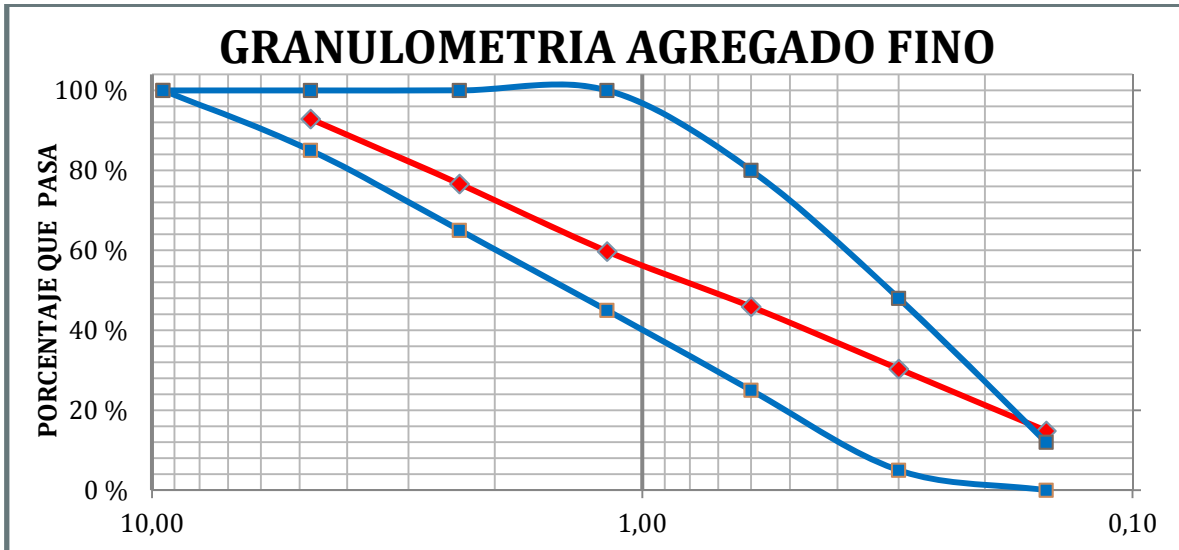
Peso de la muestra (sat) = 1000.0 gr
Peso de muestra seca (sat) = 696.0 gr

HUM = 43.68%

4. GRANULOMETRIA

	RET	%RET	%RET ACUM	%PASA
#4	24.10	4.84%	4.84%	95.16%
#8	80.90	16.26%	21.10%	78.90%
#16	125.00	25.12%	46.22%	53.78%
#30	123.80	24.88%	71.10%	28.90%
#50	86.70	17.42%	88.52%	11.48%
#100	15.90	3.20%	91.72%	8.28%
#200	12.60	2.53%	94.25%	5.75%
FONDO	28.60	5.75%	100.00%	0.00%
	497.60			

MF = 3.24



ROCA VOLCANICA YURA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00421 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 1.904 Kg
Peso 2 = 2.103 Kg
Peso 3 = 1.986 Kg

PUS= 452.3 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 2.620 Kg
Peso 2 = 2.624 Kg
Peso 3 = 2.620 Kg

PUC= 623.3 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

B = 1.275 Kg
C = 0.200 Kg
A = 0.941 Kg

PEs = 875.3 Kg/m³
PEss = 1186.0 Kg/m³
PEn = 1269.9 Kg/m³
ABS = 35.49%

3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la muestra = 1.000 Kg
Peso de la muestra seca = 0.816 Kg

HUM = 22.55%

ROCA VOLCANICA YARABAMBA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00944 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 7.149 Kg
Peso 2 = 6.899 Kg
Peso 3 = 6.998 Kg

PUS= 730.8 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 8.154 Kg
Peso 2 = 8.231 Kg
Peso 3 = 7.923 Kg

PUC= 871.9 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

B = 3.000 Kg
C = 1.399 Kg
A = 2.556 Kg

PEs = 1596.5 Kg/m³
PEss = 1873.8 Kg/m³
PEn = 2209.2 Kg/m³
ABS = 17.37%

3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la muestra = 2.000 Kg
Peso de la muestra seca = 2.000 Kg

HUM = 0.00%

Peso de la muestra (sat) = 2.000 Kg
Peso de la muestra seca (sat) = 1.646 Kg

HUM = 21.51%

PIEDRA POMEZ GRUESA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00283 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 1.037 Kg
Peso 2 = 1.077 Kg
Peso 3 = 1.058 Kg

PUS= 366.4 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 1.258 Kg
Peso 2 = 1.274 Kg
Peso 3 = 1.206 Kg

PUC= 450.2 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

B = 1.700 Kg
C = 0.610 Kg
A = 1.139 Kg

PEs = 1045.0 Kg/m³
PEsss = 1559.6 Kg/m³
PEn = 2153.1 Kg/m³
ABS = 49.25%

3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la muestra = 1.000 Kg
Peso de la muestra seca = 1.000 Kg

HUM = 0.00%

Peso de la muestra (sat) = 1.344 Kg
Peso de la muestra seca (sat) = 0.935 Kg

HUM = 43.74%

PUZOLANA

1. PESO UNITARIO

Volumen = 0.00283 m³

1.1 PESO UNITARIO SUELTO

Peso 1 = 2.793 Kg
Peso 2 = 2.961 Kg
Peso 3 = 3.181 Kg

PUS= 986.2 Kg/m³

1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso 1 = 3.423 Kg
Peso 2 = 3.328 Kg
Peso 3 = 3.370 Kg

PUC= 1208.7 Kg/m³

2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

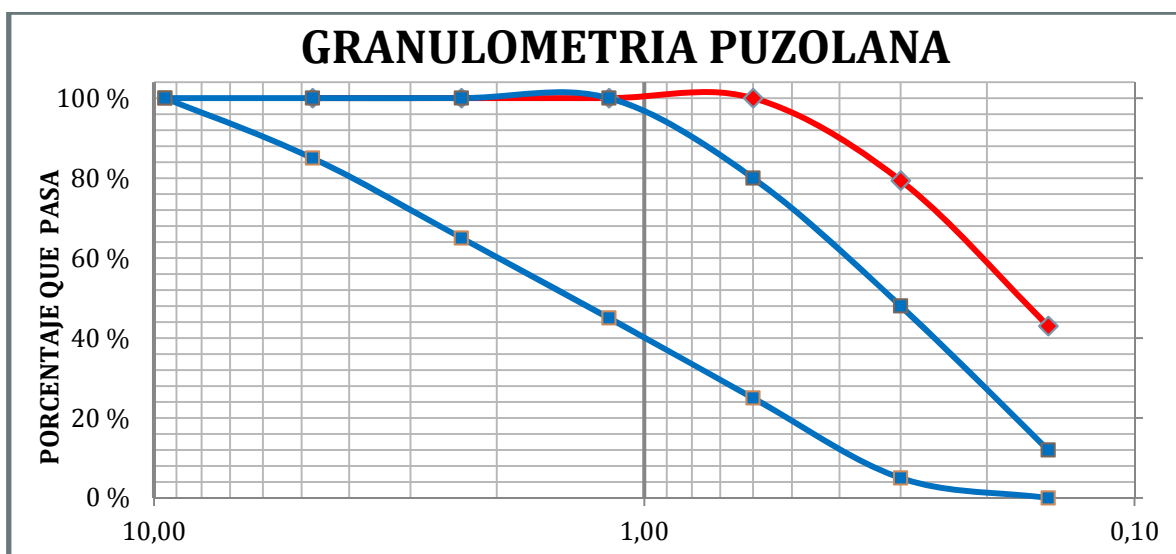
S = 400.0 gr
C = 1387.9 gr
B = 1153.4 gr
A = 345.6 gr

PEs = 2088.2 Kg/m³
PEsss = 2416.9 Kg/m³
PEn = 3110.7 Kg/m³
ABS = 15.74%

3. GRANULOMETRIA

	%RET			
	RET	%RET	ACUM	%PASA
#4	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#16	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#30	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#50	99.40	19.98%	19.98%	80.02%
#100	175.40	35.25%	55.23%	44.77%
#200	139.80	28.09%	83.32%	16.68%
FONDO	67.60	13.59%	96.91%	3.09%
	482.20			

MF = 0.75





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Ing. Fernando Garnica Cuba**, Encargado del Laboratorio de Suelos y Concreto del Programa Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

que el señor Bachiller en Ingeniería Civil **CARLOS ROLANDO IBARCENA LAJO**, identificado con Código N° 2007100451, ha realizado los ensayos de Laboratorio de Suelos para complementar su trabajo de Tesis para optar el título de Ingeniero Civil cuyo título es: **“Uso de Concreto Ligeró con Agregado de Roca Volcánica en la fabricación de Unidades de Albañilería No Estructural”**.

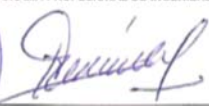
Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos del Parque Industrial han sido elaborados entre el 29/10/2012 y el 16/11/2012.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Arequipa, 07 de Enero del 2013



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorio de Suelos y Concreto