

EL OBJETO DE CONOCIMIENTO

1.1. El problema

A lo largo del tiempo, el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades. Con este propósito han sido utilizados diversos materiales naturales que, con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en distintos productos, mediante procesos de manufactura de creciente sofisticación.

Hasta la fecha sean presentados diferentes adiciones, sustracciones a la mezcla de hormigón con la finalidad de mejorar su comportamiento, abaratar el costo y aminorar el peso del mismo.

El hormigón es un material compuesto por “Aglomerados y aglomerantes”, los primeros están compuestos por agregados pétreos que permiten formar una pasta moldeable consistente y los segundos están compuestos por agua y cemento, esta combinación reacciona químicamente logrando así el endurecimiento y las propiedades mecánicas del hormigón.

En nuestro medio el hormigón es el material principal utilizado en la construcción de obras civiles, esto se debe a sus propiedades mecánicas del mismo ya que es capaz de resistir grandes esfuerzos a compresión.

Pero llama la atención el peso propio del mismo siendo este considerable, esta es una de las desventajas del mismo, esto hace que en ocasiones las cargas por peso propio sean superiores a las de servicio.

Por este motivo es necesario analizar el peso del hormigón no estructural, que influye en el peso propio de las edificaciones.

1.1.1. Planteamiento

Las variables comprendidas con el peso del hormigón, son directamente proporcionales al peso de cada uno de sus componentes, con gran proporción los materiales que tienen mayor peso unitario, sea el caso de los agregados pétreos, además porque estos son aproximadamente el 70% de la mezcla.

El considerable peso del hormigón se debe a:

- ✓ El peso de los agregados pétreos naturales.
- ✓ El peso del cemento hidratado.

Los efectos más desfavorables que ocasionan el peso propio de los hormigones no estructurales en las edificaciones es el diseño de mayores secciones en las columnas, vigas y zapatas, etc.

En ocasiones el peso de los hormigones no estructurales llega a ser mayor que las cargas de servicio.

Para disminuir el peso del hormigón se podría estudiar las siguientes alternativas:

- ✓ Reemplazar los agregados pétreos naturales con cascotes de ladrillo.
- ✓ Generar un hormigón aligerado a base de corcho reciclable.
- ✓ Generar un hormigón aligerado a base de incrustación de aire.
- ✓ Generar un hormigón aligerado con polietileno expandido.

1.1.2. Formulación

El planteamiento de este trabajo investigación surge de la siguiente pregunta:

¿Cómo reducir el peso del hormigón para fines no estructurales y estructurales con cemento IP-30 sin afectar características de resistencia?

Al reemplazar los agregados pétreos por materiales más livianos sean pétreos o no, en consecuencia con las alternativas de solución planteadas al ocupar el mismo volumen y a menor masa y por lo tanto dará como resultado un hormigón más liviano.

Se considera hormigones no estructurales a aquellos que tienen una resistencia menor a 210 kg/cm^2 y mayor o igual a 150 kg/cm^2 y su uso es más para la parte ornamental en y el hormigón estructural tiene una resistencia igual a 210 kg/cm^2 y menor a 350 kg/cm^2 y su uso es en estructuras de hormigón armado.

1.1.3. Sistematización

Para hacer más liviano al hormigón se estableció que es preciso reducir el peso de sus componentes como ser:

- ✓ El peso de los agregados pétreos naturales.

Peso de los agregados pétreos.- Al poseer importante densidad dentro de la mezcla, son las variables indicadas a ser modificadas o cambiadas, además por ser aproximadamente el 70% de la mezcla de hormigón.

De las alternativas planteadas para la disminución del peso del hormigón, se define como material más viable al reciclado de perlas de polietileno pre-expandido debido a sus propiedades que tiene y es un material reciclable, que será resuelto en el planteamiento de las hipótesis.

1.2. Objetivos

Los objetivos planteados en este presente estudio de investigación son los siguientes:

1.2.1. General

- ✓ Determinar las propiedades físicas y la resistencia a compresión del hormigón aligerado con distintos porcentajes de reemplazo de perlas de polietileno pre-expandido (EPS).

1.2.2. Especifico

- ✓ Determinar el peso específico del hormigón aligerado, para distintos porcentajes de reemplazo de grava por EPS.
- ✓ Determinar la absorción de agua que tiene el hormigón aligerado.
- ✓ Analizar los montos del hormigón aligerado y de los componentes del mismo con los distintos porcentajes de reemplazo de grava por EPS.
- ✓ Determinar la resistencia al fuego del hormigón aligerado con EPS.
- ✓ Establecer el campo de aplicación de este hormigón aligerado.
- ✓ Realizar análisis de ventajas y desventajas del hormigón aligerado con perlas de polietileno pre-expandido.

1.3. Justificación

Las razones por las cuáles se elaboró el estudio de investigación son las siguientes:

1.3.1. Teórica

El trabajo de investigación propone en función de teorías existentes, aportar con innovaciones tecnológicas, para enriquecer conocimientos en los procesos de diseño de mezclas y su desarrollo mismo.

1.3.2. Metodológica

A través de la selección de un hormigón patrón (resistencia a la compresión igual a 250kg/cm^2), metodológicamente a partir de la dicha dosificación, se pretende reemplazar parcialmente el agregado grueso, por el material propuesto en proporción volumétrica, representada en porcentajes (0%-40%), de manera que las partículas de este que ocupan el mismo volumen del agregado extraído.

1.3.3. Practica

Prácticamente al reemplazar parcialmente los agregados pétreos naturales por otro material no pétreo, como es el EPS, siendo este material más liviano, efectivamente solucionará el problema del peso.

1.3.4. Ambiental

En la actualidad se destruyen montañas enteras y ríos no sólo en Bolivia si no en todo el mundo. Esto debido a los daños irreversibles al medio ambiente que la explotación de grava y arena provoca, incluida la erosión, contaminación y desecación de los mantos acuíferos.

El EPS es un material reciclable, que en nuestro medio es desechado como basura, pero este material no es biodegradable por lo tanto tarda muchos años en desintegrarse lo que genera bastante contaminación. Al ser utilizado este material como parte de un hormigón se estaría contribuyendo al medio ambiente.

1.4. Alcance del estudio

El presente trabajo de investigación será desarrollado con el siguiente alcance.

1.4.1. Marco conceptual

Las perlas de polietileno pre-expandido (EPS)

La materia prima es introducida en unas máquinas denominadas pre-expandidores. El proceso consiste en la expansión de la perla de polietileno expandido mediante la aportación de vapor de agua. De esta forma, el agente expansivo que lleva la materia prima permite que ésta se expanda bajando por tanto su densidad aparente. El control de la densidad se realiza mediante el control de distintos parámetros.

En función de diversos parámetros como la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m^3 a densidades que oscilan entre los $10 - 30 \text{ kg/m}^3$.

En el proceso de pre-expansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

1.4.2. Marco espacial

Este estudio o trabajo de investigación, en el proceso de recolección de datos experimentales, se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de suelos y hormigones de la empresa “EOLO S.R.L.” para luego procesar los mismos en gabinete.

1.4.3. Marco temporal

El tiempo estimado en que se realizó el estudio para determinar las propiedades más importantes del hormigón aligerado a base de EPS será de 18 semanas que corresponden al 2014.

1.4.4. Hipótesis

La inclusión o adición de perlas de polietileno pre-expandido en el hormigón permitirá reducir su peso sin alterar sus características físico-mecánicas (resistencia a compresión, densidad, resistencia al fuego, resistencia térmica y acústica, absorción de agua).

1.4.5. Ensayos realizados

Se determinaran las siguientes propiedades de hormigón aligerado a base de EPS:

- ✓ Propiedades mecánicas de los materiales componentes del hormigón aligerado.
- ✓ El peso específico del hormigón aligerado.
- ✓ La resistencia a la compresión de hormigón aligerado.
- ✓ La absorción de agua que tiene el hormigón aligerado.
- ✓ Conjeturas sobre la resistencia al fuego y las propiedades térmicas y acústicas.

1.4.6. Restricciones

Las restricciones están en función a la capacidad que tienen los distintos laboratorios de suelos y hormigones en la ciudad de Tarija, ya que estos no cuentan con el equipo adecuado para que las pruebas realizadas tengan mayor veracidad y precisión.

MARCO TEÓRICO

2.1. Hormigón

El **hormigón** o concreto es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos si es necesario.

El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación.

Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos que se clasifican en grava, gravilla y arena, estos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y, según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, graníticos, etc. El árido cuyo tamaño sea superior a 4.75 mm se llama árido grueso o grava, mientras que el inferior a 4.75 mm se llama árido fino o arena. El tamaño de la grava influye en las propiedades mecánicas del hormigón.

La pasta formada por cemento y agua es la que confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento, mientras que el árido es un material inerte sin participación directa en el fraguado y endurecimiento del hormigón. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose diversas reacciones químicas de hidratación que lo convierten en una pasta maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, adquiriéndose un material de consistencia pétreo.

El hormigón liviano fue clasificado e identificado durante mucho tiempo por la densidad que este presenta, debido a que esta es inferior a 2400 kg/m^3 que es la densidad con la que fluctúa el hormigón normal. La característica más evidente del Hormigón Liviano es, por su puesto su densidad, la cual es considerablemente menor que la del hormigón normal y con frecuencia es una fracción de la misma.

Se presentan muchas ventajas al tener materiales de baja densidad, como por ejemplo se reduce la carga muerta, mayor rapidez de construcción, menores costos de

transporte. Se ha demostrado que utilizando hormigón liviano en la construcción se logra menos tiempo de ejecución en la obra, que si se utilizaran materiales tradicionales.

Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que producen una densidad que fluctúa entre 1200kg/m^3 y 2000kg/m^3 , ya que los normales presentan una densidad normal de 2400kg/m^3 .

Hormigón liviano elaborado con polietileno pre-expandido

Se tiene una idea general de lo que es hormigón liviano. El hormigón liviano a base de Polietileno Pre Expandido es un tipo de hormigón con características físico mecánicas propias, haciendo a este un hormigón más ligero que el convencional. La característica más evidente del hormigón es con Polietileno Pre Expandido es, su densidad, la cual es siempre menor que de un hormigón convencional.

El hormigón liviano se caracteriza por su capacidad aislante y su baja densidad. Según CIRSOC 201 un hormigón se considera liviano cuando su densidad no excede los 2000Kg/m^3 . Las demás características dependerán del tipo de agregado.

Los hormigones livianos se definen en ACI 213R (2008) como aquellos que poseen una densidad en estado seco al aire menor a 1850Kg/m^3 , y pueden dividirse en tres tipos los hormigones aireados, que se fabrican con aditivos espumantes, los hormigones sin finos y los hormigones con áridos livianos. Estos últimos consideran el reemplazo parcial (fracción gruesa) o total del árido normal por otro de menor densidad. Con el uso de áridos livianos de origen artificial se ha logrado fabricar hormigones con alta resistencia a compresión y baja densidad.

Los agregados livianos usados en la elaboración de hormigones, han sido adoptados en consideración a su estructura celular, que ofrece una de las principales ventajas, que es la baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico, a la par de ciertas propiedades acústicas, pues amortiguan las vibraciones. Es de origen artificial, ya que al no encontrarse polietileno expansible en la naturaleza, debemos recurrir a procesos de sintonización a fin de producirlo.

Las características físicas y mecánicas que se generan por los agregados o el tipo de mezcla para la elaboración del hormigón liviano presentan ciertas ventajas las cuales se ponen a consideración del ingeniero para el tipo de proyecto que se tenga en mente.

Las ventajas del hormigón con Polietileno Pre Expandido por su baja densidad, son numerosas, por ejemplo la reducción de la carga muerta, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo.

2.1.1. Características mecánicas

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (*ensayos de rotura*) sobre probetas de hormigón.

Para superar este inconveniente, se "arma" el hormigón introduciendo barras de acero, conocido como hormigón armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero.

2.1.2. Características físicas del hormigón

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son:

- *Densidad*: en torno a 2.350 kg/m^3
- *Resistencia a compresión*: de 150 a 500 kg/cm^2 (15 a 50 MPa) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2.000 kg/cm^2 (200 MPa).
- *Resistencia a tracción*: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- *Tiempo de fraguado*: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- *Tiempo de endurecimiento*: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.

- De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana $3/4$ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.

2.1.3. Fraguado y endurecimiento

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua. El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. Fraguado: Es la fase inicial de hidratación y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas

Endurecimiento: El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos micro cristalino asimilable a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

2.1.4. Resistencia

Para comprobar que el hormigón colocado en obra tiene la resistencia requerida, se rellenan con el mismo hormigón unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio realizando ensayos de rotura por compresión.

En el proyecto previo de los elementos, la Resistencia característica (f_{ck}) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor, se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La Resistencia característica de proyecto (f_{ck}) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a f_{ck} , considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

La resistencia del hormigón a compresión se obtiene en ensayos de rotura por compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra. La Instrucción española (EHE) recomienda utilizar la siguiente serie de resistencias características a compresión a 28 días (medidas en Newton/mm²): 20; 25; 30; 35; 40; 45 y 50. Por ello, las plantas de fabricación de hormigón suministran habitualmente hormigones que garantizan estas resistencias. En nuestro medio se utiliza la norma CBH-87 la cual tiene los mismos rangos que la norma EHE.

2.1.5. Consistencia del hormigón fresco



Figura 2.1. Consistencia del hormigón fresco

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de consistencia en hormigón fresco mediante el Cono de Abrams que mide el asiento que se produce en una forma troncocónica normalizada cuando se desmolda.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se crea cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente.

Consistencia de los hormigones frescos

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	0-2	Vibrado
Plástica	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Picado con barra
Fluida	10-15	Picado con barra
Líquida	16-20	Picado con barra

Tabla 2.1. Consistencia del hormigón fresco

Fuente: Elaboración propia

2.1.6. Durabilidad.-

La capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc

2.1.7. Tipos de hormigón.-

Tipos de Hormigón	
Hormigón ordinario	También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón. Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con grava y arena.

Hormigón en masa	Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.
Hormigón armado	Es el hormigón que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual.
Hormigón pretensado	Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su resistencia.
Mortero	Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso.
Hormigón ciclópeo	Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
Hormigón sin finos	Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).
Hormigón aireado o celular	Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad.
Hormigón de alta densidad	Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

Tabla 2.2. Tipos de hormigón

Fuente: Elaboración propia

Hormigón no estructural

Según el anejo N°18 “Hormigón no estructural” de la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08, se definen como hormigones de uso no estructural, aquellos

hormigones que no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran en mejorar las condiciones durables del hormigón estructural, se puede clasificar en:

HNE-15/C/TM Contenido mínimo de cemento 250 kg/m³, en donde la resistencia mínima ha de ser de 25 N/ mm²

Hormigón aligerado

Se denomina Hormigón Ligero al Hormigón de poca densidad, formado por áridos de pequeña densidad. Los hormigones ligeros presentan como principal característica su reducido peso específico y su mayor capacidad de aislación térmica.

Es utilizado para la obtención de elementos que no precisen grandes resistencias, Por su pequeña densidad se pueden obtener piezas de grandes dimensiones y aligerar las estructuras.

Clasificación del hormigón según densidad

Tipo de hormigón	Peso unitario del hormigón (Kg/m³)	Ejemplo de aplicación
Ligero	500-800	Para aislamientos
	950-1350	Rellenos y mampostería no estructural
	1450-1950	hormigón estructural y no estructural
Normal	2250-2450	hormigón estructural y no estructural
Pesado	3000-5600	Protección contra radiación gama o rayos X

Tabla 2.3. Clasificación del hormigón según su densidad

Fuente: Elaboración propia

Hormigón gaseoso.-Las células o burbujas se obtienen por desprendimiento de gases en el seno de la mezcla como consecuencia de reacciones químicas producidas en la misma.

Hormigón de espuma.- La formación de los alvéolos resulta de incorporar a la mezcla un producto que, por agitación, es susceptible de generar una espuma abundante de burbujas de aire de la dimensión deseada. Se puede, asimismo, preparar la espuma con anterioridad e incorporarla como agregado ordinario a la mezcla.

Hormigones cavernosos.- Los hormigones cavernosos – también llamados “sin finos” o de textura abiertas son mezclas constituidas por agregados gruesos o medianos (con exclusión de finos) y cemento portland destinado a aglomerarlos.

2.2. Perlas de polietileno pre-expandido (EPS)

Se lo fabrica en forma de perlas de 3mm a 7mm de diámetro. Incrementando la temperatura, estas perlas pueden dar lugar a expandirse libremente o a ser soltadas unas a otras y producir piezas moldeadas de células cerradas.

Para la expansión del polietileno se consideran tres pasos.

Pre-expansión.- Se somete a la perla inicialmente a la acción del vapor de agua a 100°C en dispositivos de pre-expansión. La temperatura ablanda la materia prima y aumenta la presión del vapor del agente expandido.

Esto hace que el material aumente de volumen, hasta aproximadamente 50 veces su tamaño original. El material resultante tiene una densidad aparente que puede hallarse entre 10Kg/m³ y 30Kg/m³.

Reposo intermedio.- Las perlas pre-expandidas se colocan en silos ventilados para enfriamiento. En esta etapa las partículas condensan el agente expansivo y el vapor de agua, como resultado la perla adquiere la estabilidad mecánica que necesitara en la etapa posterior.

Disposición final.- Las piezas pre-expandidas y enfriadas son convertidas en piezas moldeadas para bloques, planchas, embalaje, etc.

Para escoger el tamaño de las perlas de polietileno se debe tomar en cuenta la granulometría del agregado grueso, ya que el EPS remplazara la grava. La grava tiene como diámetro mínimo 4.75mm, por lo tanto se escogieron perlas de polietileno pre-expandido de 5mm.

2.3. Cemento

El cemento portland IP-30 es un conglomerante hidráulico que se presenta en forma de polvo muy fino que convenientemente amasado con agua forman pastas que y

endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis o hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua hasta llegar a sus resistencias finales en función al tipo de cemento empleado, el diseño del hormigón y su aplicación final en la obra civil.

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada Clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una pasta uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México y parte de Suramérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

Los cementos son productos que amasados con agua fraguan y endurecen formándose nuevos compuestos resultantes de reacciones de hidratación que son estables tanto al aire como sumergidos en agua



Figura 2.2. Cemento FANCESA IP-30

Fuente: Elaboración propia

Material : Cemento Portland con Puzolana tipo IP30 				
			CEMENTO	REQUISITOS
ANALISIS QUIMICO		Unidad	LIDER IP30	Según NB011
Oxido de Magnesio: (NB 061)	MgO	%	4,10	menor a 6,0
Oxido de Azufre: (NB 061)	SO ₃	%	2,70	menor a 4,0
Pérdidas por Calcinación: (NB 061)	PPC	%	3,00	menor a 7,0
ENSAYOS FISICOS		Unidad		
Tiempo inicial de fraguado (NB 063)		Hrs:min	2:09	mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado (NB 063)		Hrs:min	4:19	menor a 10:00
Expansión (Le-Chatelier C-A) (NB 643)		mm.	0,80	menor a 10
Finura, Superficie Específica según Blaine(NB 472)		cm ² /g	4244	mayor a 2600
Peso específico (NB 064)		g/cm ³	2,94	No especifica
ENSAYOS MECANICOS		Unidad		
NORMA NB 470 (ASTM C109)				
Resistencia a la compresión	3 días	MPa	17,5	No especifica
en mortero normalizado a:	7 días	MPa	26,3	mayor a 17
	28 días	MPa	33,7	mayor a 30

Tabla 2.3. Propiedades del cemento FANCESA

Fuente: Revista Fancesa

2.3.1. Características del cemento portland

Las propiedades mas importantes del cemento son: Peso específico, finura de molido.

2.3.1.1. Peso específico

El peso específico de los cementos portland suelen variar muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 2.9 y 3.15gr/cm³, esta limitación esta establecida también por algunas normas esta limitación por lo general se cumple.

2.3.1.2. Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que incluye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el

fraguado y endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01mm por lo que, si estos granos fuesen muy grandes, su rendimiento seria muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy grandes (lo que resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible al envejecimiento tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Pero siendo así que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, entonces se llega a lo siguiente: el cemento portland debe estar finamente molido, pero no en exceso.

2.4. Áridos

Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente.



Figura 2.4. Planta chancadora de áridos

Fuente: Elaboración propia

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan casi el 70% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño.

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. Según Jiménez Montoya no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores

arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los hormigones son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

En el presente trabajo se utilizara los áridos procedentes del rio Erquis.

Si los áridos rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de hormigón. De igual manera los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al hormigón, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse.

2.4.1. Propiedades de los agregados

2.4.1.1. Peso Unitario (PU)

Si el peso de una muestra de agregado, compuesto de varias partículas , se divide por el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente unitario se obtiene lo que se denomina como peso unitario del agregado o peso volumétrico.

El peso unitario es una propiedad física importante por que indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre diminuto sea, este menor será el volumen de vacíos entre partículas que hace que la mezcla sea más económica, por que habrá pequeña cantidad de huecos a ser llenados con pasta de cemento. Así mismo, mientras mayor sea el peso unitario habrá gran cantidad de granos, la cual depende de la granulometría, forma, textura y tamaño de los mismos.

Existen dos tipos de pesos unitarios que dependen del grado de compactación del agregado y se definen de la siguiente forma.

2.4.1.2. Peso Unitario suelto (PUS)

Se denomina PUS cuando para determinar se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación de nivela al ras con un enrasador.

El concepto de PUS es significativo cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto.

El procedimiento de palear el agregado para llenar el recipiente y aprovechar la compactación que alcance con la caída libre desde la pala, es aprovechado para especificar el peso unitario suelto de agregados que tengan un tamaño máximo de 100 mm (4 pulgadas) o menos. La operación consiste en llenar el recipiente hasta que rebose, manejando una pala o cucharón, descargándose el agregado desde una altura que no exceda de 50 mm (2 pulgadas) sobre el borde del recipiente. Téngase el cuidado de prevenir hasta donde sea posible la segregación de las partículas de distintos tamaños que componen la muestra.

2.4.1.3. Peso Unitario compactado (PUC)

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista del diseño de mezclas ya que con el mismo se dispone el volumen absoluto de los agregados por cuanto estas van a estar sometidas a una compactación durante el proceso de colocación del concreto.

Compactación por varillado en el llenado del recipiente. El procedimiento de varillado es aplicable a agregados que tienen un tamaño máximo de 40 mm (1½ pulgadas) o menos.

Procedimiento. Llene el recipiente hasta una tercera parte del total y nivele la superficie con los dedos. Varille la capa de agregado con 25 golpes igualmente distribuidos sobre la superficie. Siga llenando el recipiente hasta dos terceras partes del total y otra vez nivele y varille como en la capa inicial. Finalmente llene el recipiente hasta el rebosamiento y varille como en las anteriores capas. Nivele la superficie del agregado con los dedos o con un enrasador, procurando compensar las pequeñas salientes de las piezas de agregado con las depresiones debajo de la línea de enrase.

En el varillado de la primera capa, no permita que la barra golpee fuertemente el fondo del recipiente. En el varillado de la segunda y tercera capas use solamente la fuerza suficiente para que la varilla llegue hasta la capa anterior.

2.5. Granulometría de los agregados

2.5.1. Agregado grueso

El término "agregado grueso" se usa para designar agregados que quedan retenidos en el tamiz No. 4 (4,75 mm). No incluye las piedras de tamaño mayor que 150 mm que entran en la composición del hormigón ciclópeo.

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón.



Figura 2.5. Agregado grueso (grava)

Fuente: Elaboración propia

El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como ser el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (El uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país).

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	máx. 40

Tabla 2.4. Requisitos de la norma ASTM para el agregado grueso

Fuente: Norma ASTM

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso y deben estar separados en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)		Porcentaje en peso que pasa por los tamices individuales	
-	-	19 mm	38 mm	51 mm
2"	50	-	100	100
1½"	38	-	95-100	95-100
1"	25	100	-	35-70
¾"	19	90-100	35-70	-
½"	13	-	-	10-30
3/8"	10	20-55	10-30	-
N° 4	4.8	0-10	0-5	0-5
N° 8	2.4	0-5	-	-

Tabla 2.5. Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado grueso

Módulo de finura

El módulo de finura del agregado grueso, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 11/2", 3/4", 3/8", N°4 + 500 y dividiendo el total entre 100. Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

El rango del módulo de finura del agregado grueso es de 5.5 a 8.5

Tamaño máximo (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

- ✓ El TMN no debe ser superior que 1/5 de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.
- ✓ El TMN no debe ser superior que 1/3 del espesor de una losa.
- ✓ El TMN no debe ser superior que 3/4 del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

2.5.2. Agregado fino

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.



Figura 2.6. Agregado fino (arena)

Fuente: Elaboración propia

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables. En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos instaurados en la norma ASTM C-33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz n° 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	10%

Tabla 2.6. Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino

Fuente: Norma ASTM

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar tener la granulometría siguiente:

Tamiz U.S.Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N° 3/8"	9,52	100
N° 4	4,75	95 - 100
N° 8	2,36	80 - 100
N° 16	1,18	50 - 85
N° 30	0,60	25 - 60
N° 50	0,30	10 - 30
N° 100	0,15	2 - 10

Tabla 2.7. Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado fino

Fuente: Norma ASTM

Varias granulometrías podrán resultar de los ensayos para adaptarse a la naturaleza del trabajo a ejecutar, al equipo utilizado y a toda otra condición encontrada durante la ejecución de la Obra. La cantidad de sustancias deletéreas en los agregados finos no deberá exceder de los límites que se indican a continuación:

Material (Tipo)	Porcentaje en peso (%)
Terrones o pelotones de arcilla	1 %
Material que atraviesa el tamiz No. 200	3 %
Material de peso liviano	2 %
Total de otras sustancias deletéreas	2 %

Tabla 2.8. Porcentaje de sustancias permisibles contaminantes para agregado grueso

Fuente: Norma ACI 221 R-61 "Selección y uso para agregados de hormigón".

La suma de los porcentajes de todas las sustancias deletéreas no deberá nunca exceder del 5 % (cinco por ciento) en peso.

Módulo de Finura

El módulo de finura del agregado fino, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Número 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre 100.

Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto superior sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El rango del módulo de finura de la arena es de 2.3 a 3.1

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; y si el módulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Y si el módulo es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa.

2.5.6. Peso específico

Se define en la dosificación de hormigón, como la relación del peso de la muestra de un material en el aire, al peso del agua desplazado por el mismo incluyendo sus poros permeables. Según sea que el peso en el aire se considera seco (en horno a peso constante) o en condición de saturado y superficie seca, el peso específico se refiere a una de esas condiciones.

El peso específico de los agregados, que expresa también como densidad al sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es aconsejable practicar pruebas adicionales.

2.5.7. Porcentaje de absorción

Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a de saturado superficialmente, se expresa generalmente en porcentaje:

$$\%Absorción = \frac{Peso_{SSS} - Peso_{seca}}{Peso_{seca}} * 100$$

La absorción de los agregados se obtiene esencialmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra adquirir el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación. Por ejemplo, cuando el agregado puede influir en el comportamiento del concreto para soportar heladas, se especifica un agregado con baja absorción (no mayor al 5 %), por el peligro de deterioro en el material debido al congelamiento del agua absorbida en el agregado. La fórmula de cálculo para la absorción de gravas es igualmente aplicable para las arenas.

2.5.8. Humedad superficial

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia esta en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura y se las puede definir como:

$$\%humedad = \frac{Peso_{humedo} - Peso_{seco}}{Peso_{seco}} * 100$$

1. Secado al horno – Totalmente absorbente
2. Secado al aire – La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – No absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

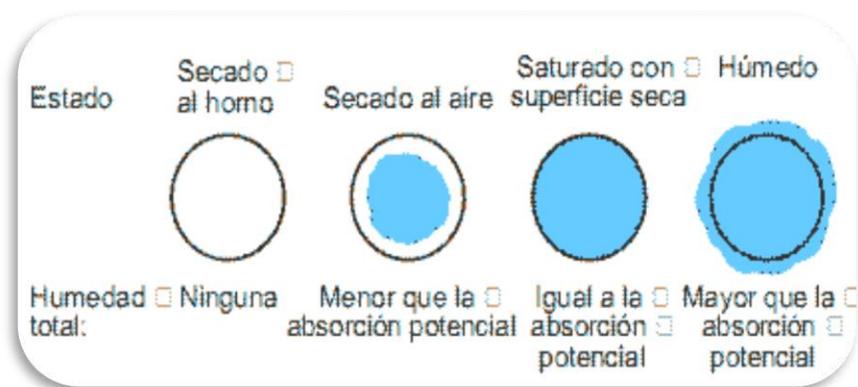


Figura 2.7. Condiciones de humedad de los agregados.

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la Trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre principalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un encerrado máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

Cabe mencionar que los áridos que se utilizarán para en presente trabajo de investigación serán extraídos del río Erquis

2.5.9. Agua

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de

amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una pasta seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.



Figura 2.8. Agua de amasado

Fuente: Elaboración propia

Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento.

Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. El agua de curado es muy importante que sea apta pues puede afectar más negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el hormigón. Normalmente el agua apta suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono.

Las características se muestran el siguiente cuadro.

Análisis físico químico del agua		Valores según Norma Boliviana
Aspecto	Limpia	-
Olor	Sin olor	-
Color	5u.c.	-
PH	7,3	≥ 5
Conductividad	290Mmhos/cm (T=18°C)	-

Dureza total	110,98mgr CaCo3/L	-
Calcio	42mgr CaCo3/L	-
Magnesio	68,98mgr CaCo3/L	-
Cloruros	7,62mgr/L	≤6gr/L
Sulfatos	70mgr/L	≤1gr/L
Bicarbonatos	106,13mgr/L	-
Alcalinidad	112mgr CaCo3/L	-
Turbiedad	Mayor 5 Unt	-
Solidos totales	218mgr/L	-
Solidos solubles	129mgr/L	-
Índice de Langelier	-0,6	-

Tabla 2.8. Análisis Físico – Químico del Agua

Fuente: Noma Boliviana

2.6. Dosificación ACI-211.1

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuáles se especifican las condiciones de partida y la dosificación.

Determinación de la razón Agua/Cemento

La tabla 2.9. Define la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas.

Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm2	Sin/ incorporado	Con/ incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4

30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71
14	140	0,82	0,74

Tabla 2.9. Determinación de la razón agua/cemento

Fuente: Norma ACI

Determinación de la fluidez

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la tabla 2.10. Este cuadro define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1)	
Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (cm)
Fundaciones armadas y bases	2 – 8
Fundaciones y muros de sub-estructura simple	2 – 8
Vigas y muros armados	2 – 10
Columnas de edificios	2 – 10
Pavimentos y losas	2 – 8
Hormigón masivo	2 – 8

Tabla 2.10. Asentamientos de cono para diferentes tipos de construcción

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de agua

Se emplea la tabla 2.11. que establece la cantidad de agua expresada en l/m³ de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal especificado anteriormente.

Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m³) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1)								
Trabajabilidad (cm)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Tabla 2.11. Determinación de la dosis de agua

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se determina en base al coeficiente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C \left[\text{Kg}/\text{m}^3 \right] = \frac{(W + a)}{W/C}$$

Determinación de la dosis de grava

Se especifica a partir de la tabla 2.12. en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Volumen aparente de árido grueso seco por metro cubico de hormigón (ACI 211,1)				
Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla 2.12. Determinación de la dosis de grava

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de arena

Método Volumétrico:

Se dispone partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, A_f , está dada por:

$$A_f \left[\frac{Kg}{m^3} \right] = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_G} + 10a \right) \right]$$

γ_f = densidad real o peso específico del árido fino (gr/cm^3).

γ_g = densidad real o peso específico del árido grueso (gr/cm^3).

γ = peso específico del cemento (gr/cm^3).

A_g = dosis de árido grueso o grava (kg/m^3).

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m^3)

W = dosis de agua (kg/m^3)

En el presente trabajo se eligió el método de la dosificación ACI 211.1 por que este método American Concrete Institute es más aplicado en el diseño de mezclas para edificaciones debido a que toma más en cuenta las propiedades de los agregados, con referencia al método de dosificación AASHO que es mas utilizado en el diseño de mezclas para la construcción de carreteras.

En el presente trabajo de investigación con el propósito de obtener una información confiable sobre la variable investigada es que se eligió realizar 23 probetas para el hormigón patrón y 23 probetas para cada porcentaje de reemplazo de grava por perlas de polietileno pre-expandido (20%, 30% y 40%), además como establece la norma ASTM en prueba de materiales de hormigón, la ejecución mínima de un patrón de 9 cilindros, sin embargo también establece que debe en la investigación un mínimo de 30 datos de comparación, en este sentido se determinó un patrón (23 probetas) sin

reemplazo de grava y similar cantidad con reemplazo de grava (para distintos porcentajes) haciendo un total de 92 probetas.

2.7. Perlas de polietileno pre-expandido

El proceso de fabricación del Polietileno Expandido o EPS consta de las siguientes fases:

- PRE-EXPANSIÓN

La materia prima es introducida en unas máquinas denominadas pre-expandidores. El proceso consiste en la expansión de la perla de polietileno expandido mediante la aportación de vapor de agua. De esta forma, el agente expansivo que lleva la materia prima permite que ésta se expanda bajando por tanto su densidad aparente. El control de la densidad se realiza mediante el control de distintos parámetros.

En función de diversos parámetros como la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m³.

En el proceso de pre-expansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

- REPOSO INTERMEDIO Y ESTABILIZACIÓN

Cuando las partículas recién expandidas se enfrían se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. Para ello, el material se deja reposar en silos ventilados durante un mínimo de 12 horas.

De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Dependiendo de la densidad aparente del polietileno expandido a transformar, puede someterse la materia prima pre-expandida a una segunda pre-

expansión, o bien, directamente pasar al proceso de transformación propiamente dicho.

- PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

Bloque

La perla pre-expandida entra en un bloque en el que se ve sometida a un proceso de soldadura, que se consigue mediante su sometimiento a una aportación de vapor de agua durante un período que varía según el tipo de densidad aparente de la pieza a obtener, proceso realizado en una autoclave, después de un proceso de estabilización sale de la máquina un bloque

Moldeado

El moldeado es un proceso similar al del bloque, solo que éste se realiza en una máquina en la cual hay un molde con la forma concreta de la pieza que se va a fabricar. En este proceso el material se introduce en el molde y es soldado mediante aporte de calor.

- CORTE / MECANIZADO

Corte en recto

Los bloques de polietileno expandido obtenidos pueden ser cortados en planchas como último paso del proceso de fabricación para dejar el material preparado para servir al consumidor. Dicho proceso se lleva a cabo mediante la utilización de una mesa de corte en tres dimensiones en la que hay dispuesto un sistema de hilos calientes que nos permiten hacer del bloque tantas planchas como sea posible de las medidas requeridas. El tamaño final de cada plancha puede ser ajustado para satisfacer las necesidades de los clientes.

Propiedades del polietileno pre-expandido

- Densidad: Los productos y artículos acabados en polietileno expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10kg/m³ hasta los 50kg/m³.
- Aislamiento térmico: Los productos y materiales de polietileno expandido (EPS) presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío.

Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el polietileno.

Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (polietileno). De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico

- Comportamiento frente al agua: El polietileno expandido no es higroscópico. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de

28 días). Nuevos desarrollos en las materias primas resultan en productos con niveles de absorción de agua aún más bajos.

- Estabilidad frente a la temperatura: El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

- Comportamiento frente a factores atmosféricos: La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Debido a que estos efectos sólo se muestran tras la exposición prolongada a la radiación UV, en el caso de las aplicaciones de envase y embalaje no es objeto de consideración.

- Comportamiento frente al fuego: Las materias primas del polietileno expandido son polímeros o copolímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos ellos son materiales combustibles. Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100°C, los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continua expuesto al calor durante un cierto tiempo el material fundido emite

productos de descomposición gaseosos inflamables. En ausencia de fuego los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de los 400 - 500 °C.

2.8. Proceso de elaboración del hormigón aligerado con perlas de polietileno pre-expandido

Se realizará la dosificación del hormigón patrón, adquiriendo los volúmenes de cemento, grava, arena, agua y aire, que conformaran el hormigón patrón, a partir de estos volúmenes se reemplazará la grava con perlas de polietileno pre-expandido, en proporciones de volumen de grava de 20% ,30% y 40% .

Una vez desarrollado el cálculo de la dosificación se procederá a practicar el mezclado de los componentes del hormigón patrón en una máquina mezcladora, para lograr una mezcla homogénea, cuando ya se obtiene la pasta se procederá a verificar el asentamiento en el cono de Abrams, luego la misma pasta se colocará en moldes cilíndricos de diámetro 15cm y una altura de 30cm que son los moldes estandarizados para realizar la resistencia a la compresión del hormigón.

Después de 24hr del colocado de la pasta de hormigón en los moldes se procederá al desmolde de los mismos para luego practicar el proceso de curado del hormigón que consiste en el sumergido de las probetas en agua durante unos 3 días para generar en el hormigón nuevos procesos de hidratación del cemento, una vez pasado los 3 días se sacaran las probetas del agua para dejarlas a humedad y temperatura ambiente.

A los 7, 14 y 28 días se desarrollara la rotura en la prensa con la que cuenta el laboratorio donde se está realizando la práctica.

Para conseguir la absorción del hormigón, se formará a partir que una vez el hormigón alcanza los 28 días de edad, se efectúa el pesaje de las probetas antes de sumergir en agua, luego se debe dejar durante 24 hr como mínimo saturando las probetas, y se procede al secado superficial de las probetas sumergidas por lo consiguiente se pesan las probetas, y la diferencia entre de las probetas saturadas y antes de saturarlas nos dará la absorción del hormigón.

Para el mezclado de los componentes del hormigón aligerado a base de perlas de polietileno pre-expandido se debe de seguir el mismo procedimiento descrito anteriormente para el hormigón patrón.

3. MARCO PRÁCTICO

3.1. Propiedades de los agregados

- Descripción de los equipos empleados

Para la realización de este proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

Para la granulometría:

- Tamices de los siguientes números para la granulometría de la grava y arena. Tamices de la serie Estándar Americana 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100. ASTM E-112004. Distribuida por la Empresa PINZUAR LTDA.

Para el pesaje de la muestra:

- Balanza Digital marca OHAUS, cuya capacidad máxima es de 20Kg, capacidad mínima de 0,02Kg, con un error máximo permisible es de 0,01Kg.

Para la prueba de compresión de probetas:

- Máquina de ensayo universal, con un alcance máximo de 1000KN, marca PINZUAR LTDA. CLASE I, con un error relativo máximo hallado en exactitud de -0,51%.

3.1.1. Granulometría de la grava

La granulometría de la grava se lo realizó aplicando los tamices precisados por la norma ASTM.



Figura 3.1 Juego de tamices

Fuente: Elaboración propia

Tamices	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
		(gr)	(%)	
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	74,60	74,60	3,73	96,27
N°8	135,10	209,70	10,49	89,52
N°16	404,10	613,80	30,69	69,31
N°30	291,70	905,50	45,28	54,73
N°50	758,10	1663,60	83,18	16,82
N°100	312,20	1975,80	98,79	1,21

Tabla 3.1. Granulometría de la grava

Fuente: Elaboración propia

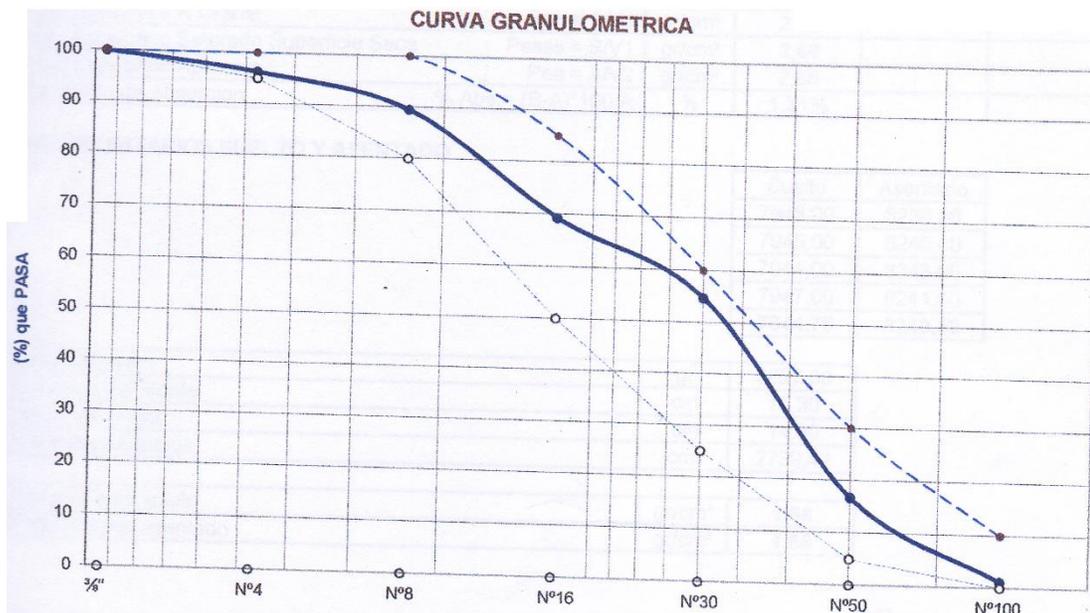


Figura 3.2. Curva granulométrica de la grava

Fuente: Elaboración propia

La granulometría de la grava cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33.

3.1.1.1. Tamaño máximo de la grava

$$TM (plg) = 1 \frac{1}{2}$$

3.1.1.2. Tamaño máximo nominal de la grava

$$TMN (plg) = 1$$

3.1.2. Peso unitario de la grava

3.1.2.1. Método compactado

Se realizó en un molde 14 lt de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como determinan las normas ASTM.



Figura 3.3. Molde cilíndrico de 14 lt

Fuente: Elaboración propia

$$P.U.C. = 1.68 \text{ gr/cm}^3$$

3.1.2.2. Método suelto

Se realizó dejando caer la grava desde una altura de 5cm por encima del molde.

$$P.U.S. = 1.58 \text{ gr/cm}^3$$

3.1.3. Módulo de finura de la grava

El módulo de finura se encuentra dentro del rango precisado por la norma ASTM. (5.5 – 8.5)

$$MF = \frac{(\%)Ret. Acum(1\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + N^{\circ}4 + 500)}{100}$$

$$MF = 7.20$$

3.1.4. Peso específico y absorción de la grava

Se lo desarrollo como se explica en la normas ASTM.



Figura 3.4. Equipo para realizar peso específico aparente de la grava

Fuente: Elaboración propia

El peso específico aparente está dentro del rango precisado por la norma ASTM. (2.1- 2.9gr/cm³)

$$P.E.A. = 2.65 \text{ gr/cm}^3$$

La absorción de la grava está dentro del rango establecido por la norma ASTM. (0.2 - 4 %)

$$\% \text{Absorción} = 1.21$$

3.1.5. Granulometría de la arena

Tamices	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
		(gr)	(%)	
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	74,60	74,60	3,73	96,27
N°8	135,10	209,70	10,49	89,52
N°16	404,10	613,80	30,69	69,31
N°30	291,70	905,50	45,28	54,73
N°50	758,10	1663,60	83,18	16,82
N°100	312,20	1975,80	98,79	1,21

Tabla 3.2. Granulometría de la arena

Fuente: Elaboración propia

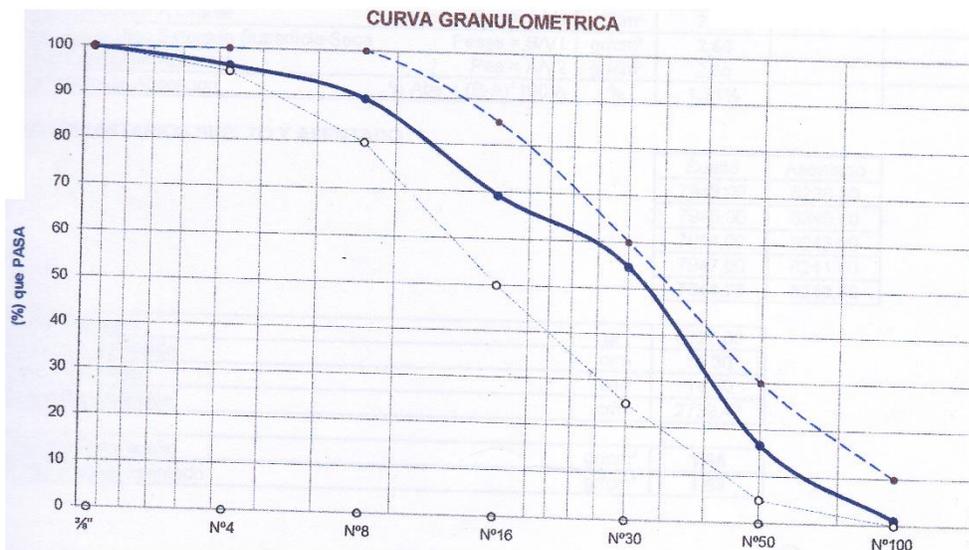


Figura 3.5. Curva granulométrica de la arena

Fuente: Elaboración propia

La granulometría de la arena cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33.

3.1.6. Peso unitario de la arena

3.1.6.1. Método compactado

Se realizó en un molde 3 lt de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM.



Figura 3.6 Molde cilíndrico de 3 lt

Fuente: Elaboración propia

$$P.U.C. = 1.77 \text{ gr/cm}^3$$

3.1.6.2. Método suelto

Se realizó dejando caer la arena desde una altura de 5cm por encima del molde.

$$P.U.S. = 1.62 \text{ gr/cm}^3$$

3.1.7. Módulo de finura de la arena

Según la norma ASTM se trata de una arena gruesa.

$$MF = \frac{(\%Ret. Acum(\frac{3}{8} + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100))}{100}$$

$$MF = 2.72$$

3.1.8. Peso específico y absorción de la arena

Se efectuó siguiendo el procedimiento especificados por las normas ASTM.



Figura 3.7. Matraz graduado para peso específico aparente de la arena

Fuente: Elaboración propia

El peso específico aparente está dentro del rango precisado por la norma ASTM. (2.2-2.7gr/cm³)

$$P.E.A. = 2.69 \text{ gr/cm}^3$$

La absorción de la arena está dentro del rango especificado por la norma ASTM. (0.2 - 2 %)

$$\%Absorción = 1.27$$

3.1.9. Peso específico del cemento

Se lo realizó usando métodos estandarizados en laboratorio de suelos y hormigones de la carrera de ingeniería civil.



Figura 3.8. Cemento FANCESA IP-30

Fuente: Elaboración propia

El peso específico del cemento está dentro del rango precisado por la norma ASTM. (2.9-3.15 gr/cm³)

$$P. E. = 2.94 \text{ gr/cm}^3$$

3.1.10. Peso específico de las perlas de polietileno pre-expandido (EPS)

Ver Anexo 6.

$$P. E. EPS = 14.95 \text{ Kg/m}^3$$

3.2. Dosificación ACI-211.1

Ver Anexo 6.

Dosificación: 1: 1,77: 3,03

Se realizó el mezclado de la grava, arena, cemento y agua mediante una máquina mezcladora para lograr la distribución homogénea de los agregados.



Figura 3.9. Máquina mezcladora

Fuente: Elaboración propia

Una vez desarrollada la pasta de hormigón se procedió a practicar el ensayo de cono de Abrams para verificar el asentamiento que sufre la pasta, se obtuvo un asentamiento de 7,4 cm, el mismo que es menor al que se eligió al efectuar el cálculo de la dosificación.



Figura 3.10. Ensayo de cono de Abrams del hormigón patrón

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el cono de Abrams se comenzó a colocar la pasta en 3 capas, cada capa con 25 golpes con una varilla metálica en los moldes cilíndricos de diámetro 15 cm y de altura 30 cm tal como se especifica en la norma para ensayos de rotura a compresión.



Figura 3.9. Pasta de hormigón colocada en moldes cilíndricos

Fuente: Elaboración propia

Pasada las 24 horas se procedió a quitar los moldes cilíndricos y hacer el curado de las probetas en agua como se prueba en la figura.



Figura 3.10. Curado de probetas en agua

Fuente: Elaboración propia

Las probetas permanecieron en el agua hasta los 3 días, luego sacarlas y dejarlas a humedad y temperatura ambiente para luego practicar el ensayo de rotura a compresión del hormigón.

La rotura de probetas se la realizó a los 7 días, 14 días y 28 días de edad del hormigón mediante el equipo que se muestra en la figura.



Figura 3.11. Equipo de rotura de probetas

Fuente: Elaboración propia

La pasta con reemplazo de grava por EPS se sigue el mismo procedimiento que para el mezclado de los componentes del hormigón patrón.

Volúmenes de la Dosificación Patrón

Volumen de materiales (m³)	
Material	Volumen
Agua (m³) =	0,1902
Cemento (m³) =	0,1303
Grava (m³) =	0,4321

Arena (m³) =	0,2358
Aire (%) =	1,5

Dosificación en peso de los materiales.

Diseño en estado húmedo	
Material	Peso
Agua (kg/m³) =	190,16
Cemento (kg/m³) =	383,09
Grava (kg/m³) =	1145,18
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Volúmenes de la Dosificación con reemplazo de grava por EPS al 20%.

Volumen de materiales (m³)	
Material	Volumen
Agua (m³) =	0,1902
Cemento (m³) =	0,1303
Grava (m³) =	0,4179
EPS (m³) =	0,1045
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Dosificación en peso de los materiales.

Diseño en estado húmedo	
Material	Peso
Agua (kg/m³) =	190,16
Cemento (kg/m³) =	383,09
Grava (kg/m³) =	1107,50

EPS (kg/m³) =	1,562
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Se obtuvo una pasta homogénea de hormigón aligerado a base de perlas de polietileno pre-expandido.



Figura 3.12. Pasta de hormigón aligerado a base de EPS

Fuente: Elaboración propia

El asentamiento de esta pasta fue de 7.5 cm. (el asentamiento está dentro de lo previsto en la dosificación) lo calculado al momento de realizar la dosificación de esta manera se evita que las perlas de polietileno tiendan a subir a la superficie haciendo que la probeta tenga una mezcla no homogénea.



Figura 3.13. Ensayo de cono de Abrams para el 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

Volúmenes de la Dosificación con reemplazo de grava por EPS al 30%.

Volumen de materiales (m³)	
Material	Volumen
Agua (m³) =	0,1902
Cemento (m³) =	0,1303
Grava (m³) =	0,3656
EPS (m³) =	0,1567
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Dosificación en peso de los materiales.

Diseño en estado húmedo	
Material	Peso
Agua (kg/m³) =	190,16
Cemento (kg/m³) =	383,09
Grava (kg/m³) =	969,09
EPS (kg/m³) =	2,343
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Se obtuvo una pasta homogénea de hormigón aligerado a base de perlas de polietileno pre-expandido.



Figura 3.14. Pasta de hormigón aligerado a base de EPS

Fuente: Elaboración propia

El asentamiento de esta pasta fue de 6.4 cm. (el asentamiento está dentro de lo previsto en la dosificación) lo calculado al momento de realizar la dosificación de esta manera se evita que las perlas de polietileno tiendan a subir a la superficie haciendo que la probeta tenga una mezcla no homogénea.



Figura 3.15. Ensayo de cono de Abrams para el 30% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

Volúmenes de la Dosificación con reemplazo de grava por EPS al 40%.

Volumen de materiales (m ³)	
Material	Volumen
Agua (m ³) =	0,1902
Cemento (m ³) =	0,1303
Grava (m ³) =	0,3134

EPS (m³) =	0,2089
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Dosificación en peso de los materiales.

Diseño en estado húmedo	
Material	Peso
Agua (kg/m³) =	190,16
Cemento (kg/m³) =	383,09
Grava (kg/m³) =	830,60
EPS (kg/m³) =	3,123
Arena (kg/m³) =	634,26
Aire (%) =	1,5

Se obtuvo una pasta homogénea de hormigón aligerado a base de perlas de polietileno pre-expandido.



Figura 3.16. Pasta de hormigón aligerado a base de EPS

Fuente: Elaboración propia

El asentamiento de esta pasta fue de 7,0 cm. (el asentamiento está dentro de lo previsto en la dosificación) lo calculado al momento de realizar la dosificación de esta manera se evita que las perlas de polietileno tiendan a subir a la superficie haciendo que la probeta tenga una mezcla no homogénea.



Figura 3.17. Ensayo de cono de Abrams para el 40% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

Conjeturas sobre la resistencia al fuego y las propiedades térmica y acústica

La resistencia al fuego del hormigón aligerado se la realizó sometiendo al contacto a una llama de fuego como se puede observar en la figura, no se siguió un método estándar para el ensayo de la resistencia al fuego, de esta manera se sometieron a fuego las probetas con distintos porcentajes de reemplazo de grava por perlas de polietileno pre-expandido, se observó el comportamiento que tiene este hormigón aligerado durante 30 minutos, y se logró constatar que a medida que se hace el reemplazo de grava por EPS, el hormigón aligerado se hace menos resistente ante el contacto con el fuego (existe gran fisuración debido a que el EPS se va quemando), esto se debe a que hay importante contacto entre el EPS y la superficie de hormigón que está en contacto con el fuego. Las perlas de polietileno van quemándose hasta perderse, es entonces cuando esta área se hace porosa debido al fuego.



Figura 3.18. Probetas en contacto con fuego

Fuente: Elaboración propia

En el reemplazo de 20% de grava por EPS se observa que hay poca fisuración, pero se observa que el EPS que se encuentra en el interior muy cerca a la superficie en contacto con el fuego se queman en gran parte, esto va aumentando a medida que se va reemplazando la grava por el EPS.



Figura 3.19. Probetas al 20% de reemplazo de grava, después de 30 minutos de estar en contacto con el fuego

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.20. Probetas al 30% de reemplazo de grava, después de 30 minutos de estar en contacto con el fuego

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.21. Probetas al 40% de reemplazo de grava, después de 30 minutos de estar en contacto con el fuego

Fuente: Elaboración propia

La propiedad térmica se la practicó sin seguir el procedimiento de una normativa estándar, lo que se realizó es medir la temperatura con un termómetro de contacto de las probetas a un lado de la misma mientras el lado opuesto está sometido a una llama de fuego, esto con la finalidad de constatar que la transferencia de calor es menor a medida que se reemplaza EPS por grava.

Como resultado se pudo constatar que a mayor reemplazo de grava por EPS la transferencia de calor es menor, debido a que el EPS tiene bajo grado de transferencia de calor con respecto a la grava.

Por otro lado el hecho de que el EPS es un material plástico las perlas de polietileno van desapareciendo haciendo de este hormigón un hormigón poroso.



Figura 3.24. Termómetro de contacto
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.25. Transferencia de calor del hormigón
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.26. Medición de la temperatura
Fuente: Elaboración propia

La propiedad acústica se la realizó con un procedimiento que no corresponde a normativa estándar, que consiste en golpear las probetas (para diferentes reemplazos de grava por EPS) con una barra de acero y a partir de ahí escuchar el sonido que se ejerce al momento del golpeado.



Figura 3.27. Expansión de sonido del hormigón

Fuente: Elaboración propia

Se pudo evidenciar que a medida que se reemplaza la grava por EPS la expansión de sonido del hormigón se, esto se debe a la propiedad que tiene el EPS como aislante acústico.

4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ALIGERADO A BASE DE PERLAS DE POLIETILENO PRE-EXPANDIDO (EPS).

4.1. Determinación del peso específico del hormigón.

4.1.1. Peso específico del hormigón patrón.

N° de Probeta	N° de Días	Peso de Probeta	Sección	Altura	Volumen	Peso Especifico
		[Kg]	[cm ²]	[cm]	[cm ³]	[Kg/m ³]
1	7	12,58	176,63	30	5298,75	2373,5849
2	7	12,96	176,63	30	5298,75	2445,2830
3	7	12,01	176,63	30	5298,75	2266,0377
4	7	12,84	176,63	30	5298,75	2422,6415
5	7	12,57	176,63	30	5298,75	2371,6981
6	14	12,32	176,63	30	5298,75	2324,5283
7	14	12,27	176,63	30	5298,75	2315,0943
8	14	12,22	176,63	30	5298,75	2305,6604
9	14	12,15	176,63	30	5298,75	2292,4528
10	14	12,65	176,63	30	5298,75	2386,7925
11	28	12,37	176,63	30	5298,75	2333,9623
12	28	12,57	176,63	30	5298,75	2371,6981
13	28	12,41	176,63	30	5298,75	2341,5094
14	28	12,24	176,63	30	5298,75	2309,4340
15	28	12,17	176,63	30	5298,75	2296,2264

Tabla 4.1. Peso Específico del hormigón patrón

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Peso específico del hormigón aligerado a base de EPS al 20% de reemplazo de grava.

N° de Probeta	N° de Días	Peso de Probeta	Sección	Altura	Volumen	Peso Especifico
		[Kg]	[cm ²]	[cm]	[cm ³]	[Kg/m ³]
1	7	11,15	176,63	30	5298,75	2103,7736
2	7	11,65	176,63	30	5298,75	2198,1132
3	7	11,71	176,63	30	5298,75	2209,4340
4	7	11,38	176,63	30	5298,75	2147,1698
5	7	11,54	176,63	30	5298,75	2177,3585
6	14	11,17	176,63	30	5298,75	2107,5472
7	14	11,54	176,63	30	5298,75	2177,3585
8	14	11,39	176,63	30	5298,75	2149,0566
9	14	11,15	176,63	30	5298,75	2103,7736
10	14	11,52	176,63	30	5298,75	2173,5849
11	28	11,44	176,63	30	5298,75	2158,4906
12	28	11,76	176,63	30	5298,75	2218,8679
13	28	11,64	176,63	30	5298,75	2196,2264
14	28	11,27	176,63	30	5298,75	2126,4151
15	28	11,12	176,63	30	5298,75	2098,1132

Tabla 4.2. Peso Específico del hormigón aligerado con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Peso específico del hormigón aligerado a base de EPS al 30% de reemplazo de grava.

N° de Probeta	N° de Días	Peso de Probeta	Sección	Altura	Volumen	Peso Especifico
		[Kg]	[cm ²]	[cm]	[cm ³]	[Kg/m ³]
1	7	10,24	176,63	30	5298,75	1932,0755
2	7	10,57	176,63	30	5298,75	1994,3396
3	7	10,35	176,63	30	5298,75	1952,8302
4	7	10,87	176,63	30	5298,75	2050,9434
5	7	10,41	176,63	30	5298,75	1964,1509
6	14	10,90	176,63	30	5298,75	2056,6038
7	14	10,16	176,63	30	5298,75	1916,9811
8	14	10,27	176,63	30	5298,75	1937,7358
9	14	10,00	176,63	30	5298,75	1886,7925
10	14	10,65	176,63	30	5298,75	2009,4340
11	28	10,44	176,63	30	5298,75	1969,8113
12	28	10,49	176,63	30	5298,75	1979,2453
13	28	10,13	176,63	30	5298,75	1911,3208
14	28	10,72	176,63	30	5298,75	2022,6415
15	28	10,86	176,63	30	5298,75	2049,0566

Tabla 4.3. Peso Especifico del hormigón aligerado con 30% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Peso específico del hormigón aligerado a base de EPS al 40% de reemplazo de grava.

N° de Probeta	N° de Días	Peso de Probeta	Sección	Altura	Volumen	Peso Especifico
		[Kg]	[cm ²]	[cm]	[cm ³]	[Kg/m ³]
1	7	9,32	176,63	30	5298,75	1758,4906
2	7	9,79	176,63	30	5298,75	1847,1698
3	7	9,45	176,63	30	5298,75	1843,3962
4	7	9,57	176,63	30	5298,75	1805,6604
5	7	9,86	176,63	30	5298,75	1822,6415
6	14	9,43	176,63	30	5298,75	1779,2453
7	14	9,18	176,63	30	5298,75	1732,0755
8	14	9,39	176,63	30	5298,75	1771,6981
9	14	9,66	176,63	30	5298,75	1822,6415
10	14	9,73	176,63	30	5298,75	1835,8491
11	28	9,81	176,63	30	5298,75	1850,9434
12	28	9,59	176,63	30	5298,75	1809,4340
13	28	9,77	176,63	30	5298,75	1843,3962
14	28	9,12	176,63	30	5298,75	1720,7547
15	28	9,55	176,63	30	5298,75	1801,8868

Tabla 4.4. Peso Específico del hormigón aligerado con 40% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Resumen del peso específico de hormigón aligerado.

4.1.5.1.A 7 días de rotura del hormigón

7 Días de rotura				
Descripción	% Reemplazo de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Peso específico (kg/m ³)	2375,85	2167,17	1978,87	1815,47
Reducción parcial (%)	0,00	8,78	16,71	23,59

Tabla 4.5. Resumen de peso específico para 7 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

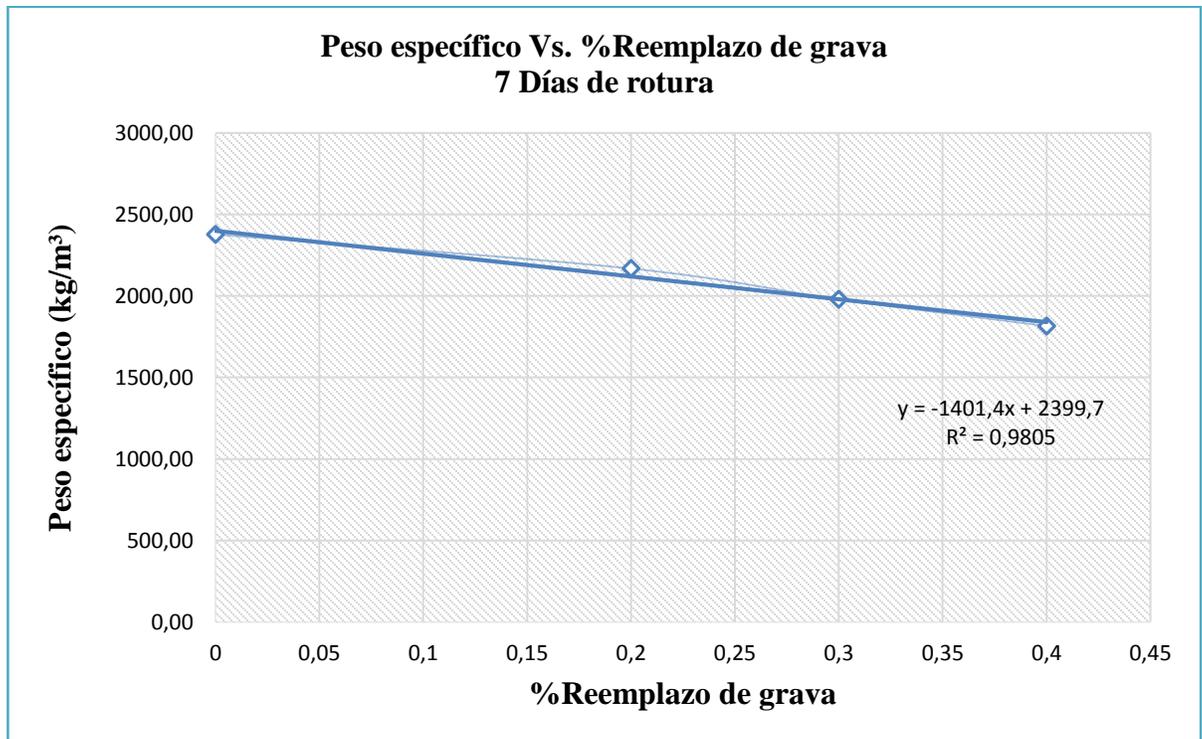


Figura 4.1. Peso específico Vs. % reemplazo de grava para 7 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2.A 14 días de rotura del hormigón

14 Días de rotura				
Descripción	% Reemplazo de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Peso específico (kg/m ³)	2324,91	2142,26	1961,51	1788,30
Reducción parcial (%)	0,00	7,86	15,63	23,08

Tabla 4.6. Resumen de peso específico para 14 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

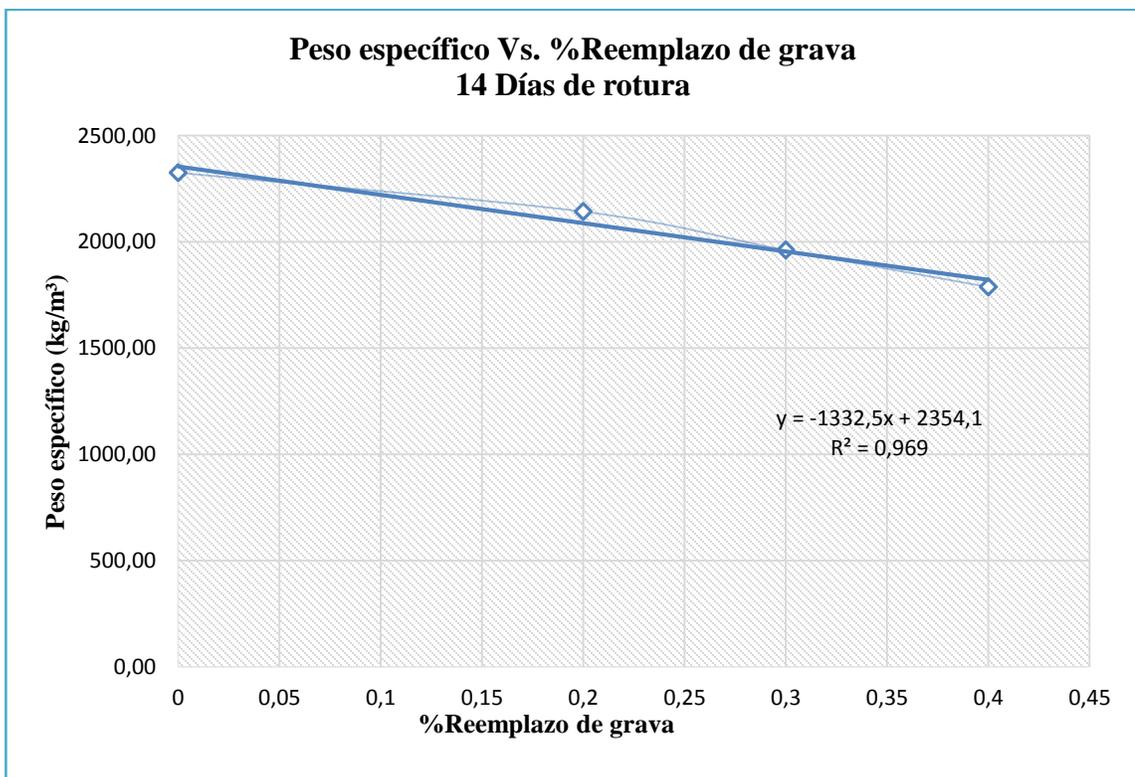


Figura 4.2. Peso específico Vs. % reemplazo de grava para 14 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.3.A 28 días de rotura del hormigón

28 días de rotura				
Descripción	% Reemplazado de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Peso específico (kg/m³)	2330,57	2159,62	1986,42	1805,28
Reducción parcial (%)	0,00	7,11	14,56	22,35

Tabla 4.7. Resumen de peso específico para 28 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

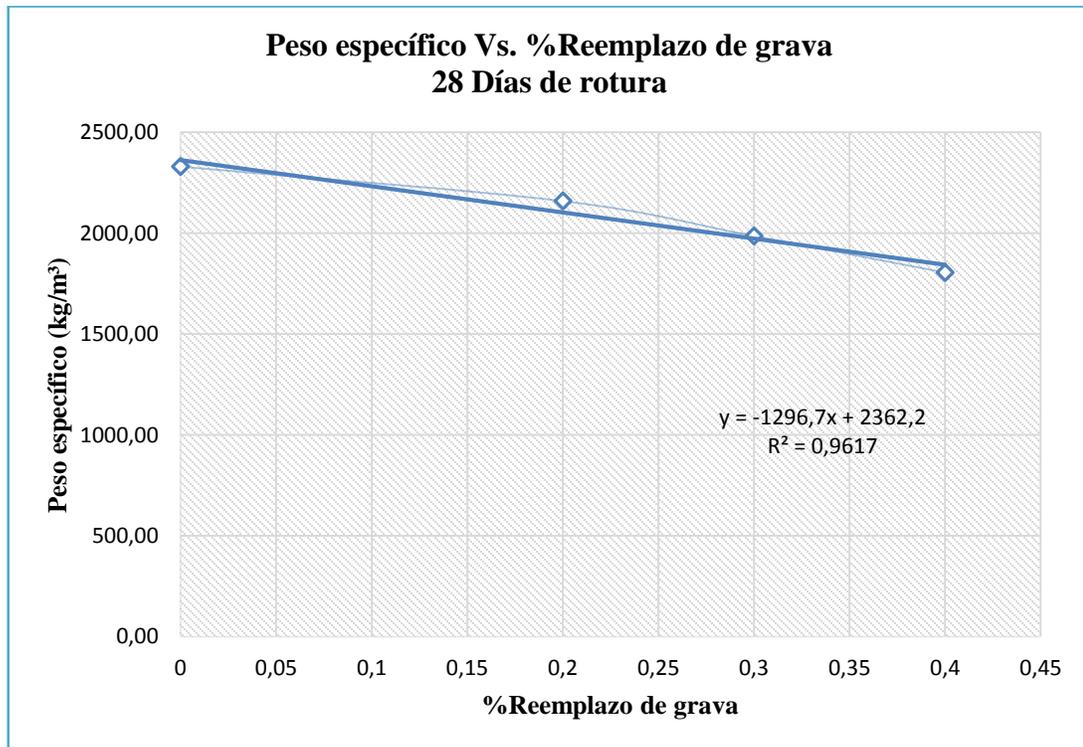


Figura 4.3. Peso específico Vs. % reemplazo de grava para 28 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resumen de la resistencia a compresión Vs (%) Reemplazo de grava

4.2.1. A 7 días de rotura

7 días de rotura				
Descripción	% Reemplazo de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Resistencia a compresión (kg/cm ³)	184,75	151,33	125,16	83,08
Reducción parcial (%)	0,00	18,09	32,26	55,03

Tabla 4.7. Resumen de resistencia a compresión Vs. % Reemplazo de grava 7 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

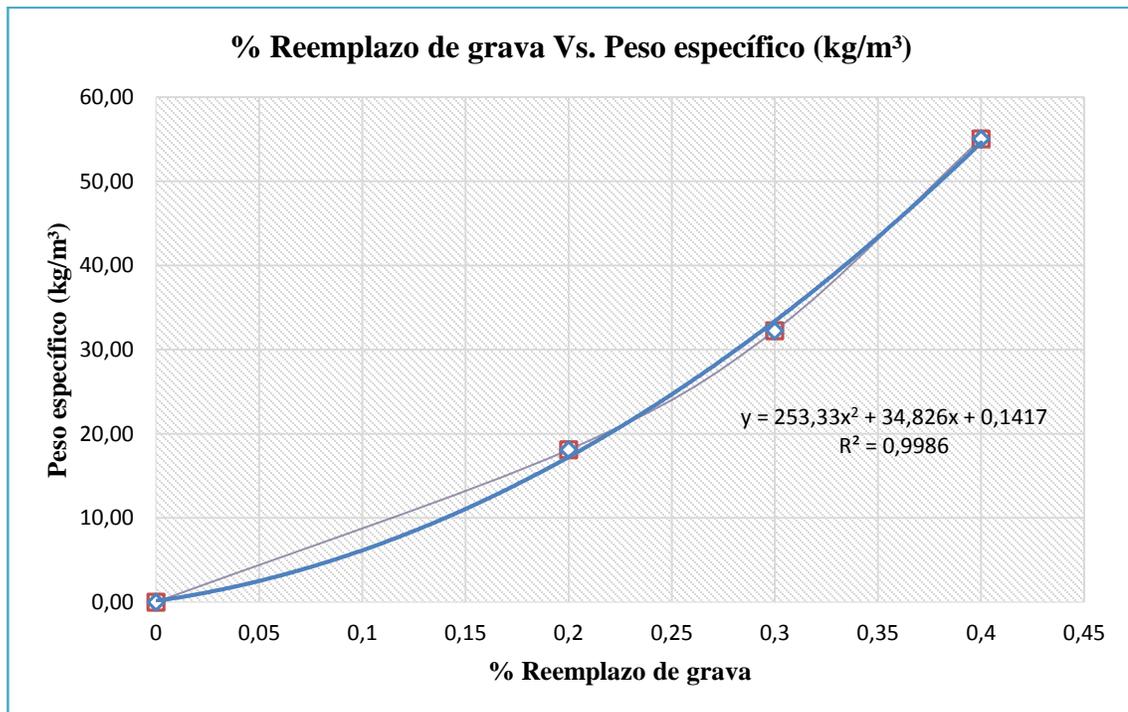


Figura 4.4. Resumen de resistencia a compresión Vs. % Reemplazo de grava 7 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. A 14 días de rotura

14 días de rotura				
Descripción	% Reemplazo de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Resistencia a compresión (kg/cm³)	221,98	202,41	159,56	104,48
Reducción parcial (%)	0,00	8,81	28,12	52,93

Tabla 4.8. Resumen de resistencia a compresión Vs. %Reemplazo de grava 14 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

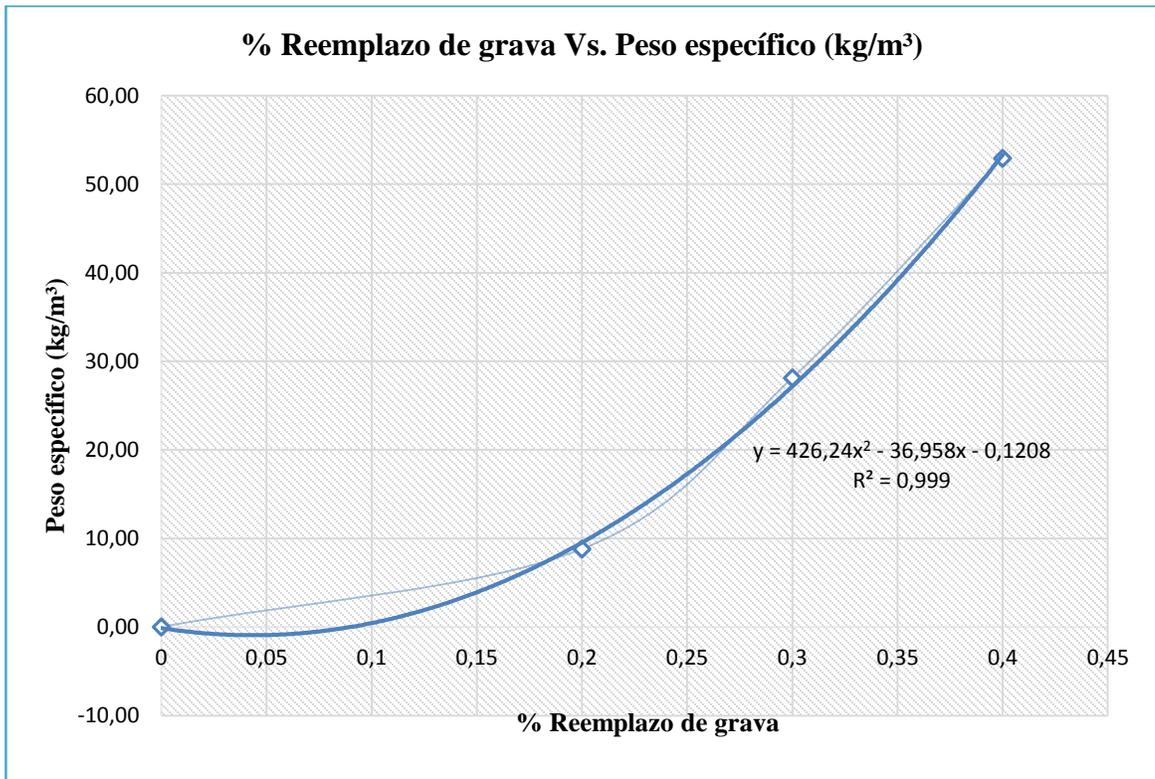


Figura 4.5. Resumen de resistencia a compresión Vs. %Reemplazo de grava 14 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. A 28 días de rotura

28 días de rotura				
Descripción	% Reemplazo de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Resistencia a compresión (kg/cm ³)	280,75	235,21	188,95	125,80
Reducción parcial (%)	0,00	16,22	32,70	55,19

Tabla 4.9. Resumen de resistencia a compresión Vs. %Reemplazo de grava 28 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

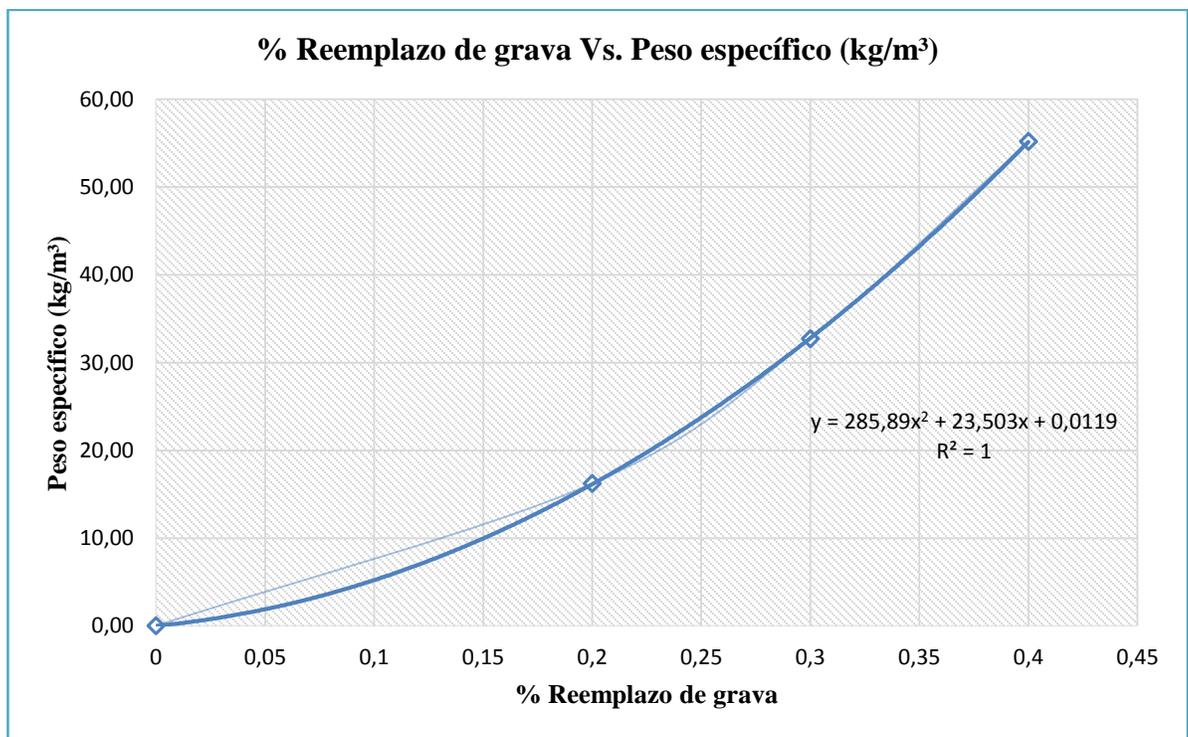


Figura 4.6. Resumen de resistencia a compresión Vs. %Reemplazo de grava 28 días de rotura

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resumen resistencia a compresión Vs. Tiempo en días

4.3.1. Probeta patrón

Probeta patrón			
Días	7	14	28
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	184,75	221,98	280,75

Tabla 4.10. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días probeta patrón

Fuente: Elaboración propia

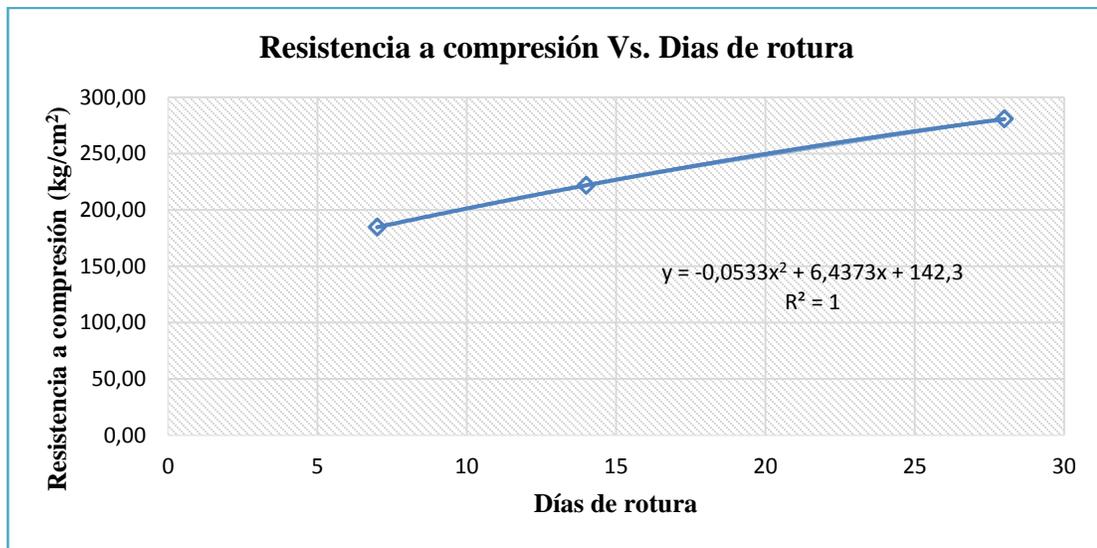


Figura 4.7. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días probeta patrón

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Probeta con reemplazo de 20% de grava

Probeta patrón			
Días	7	14	28
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	151,33	202,41	235,21

Tabla 4.11. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

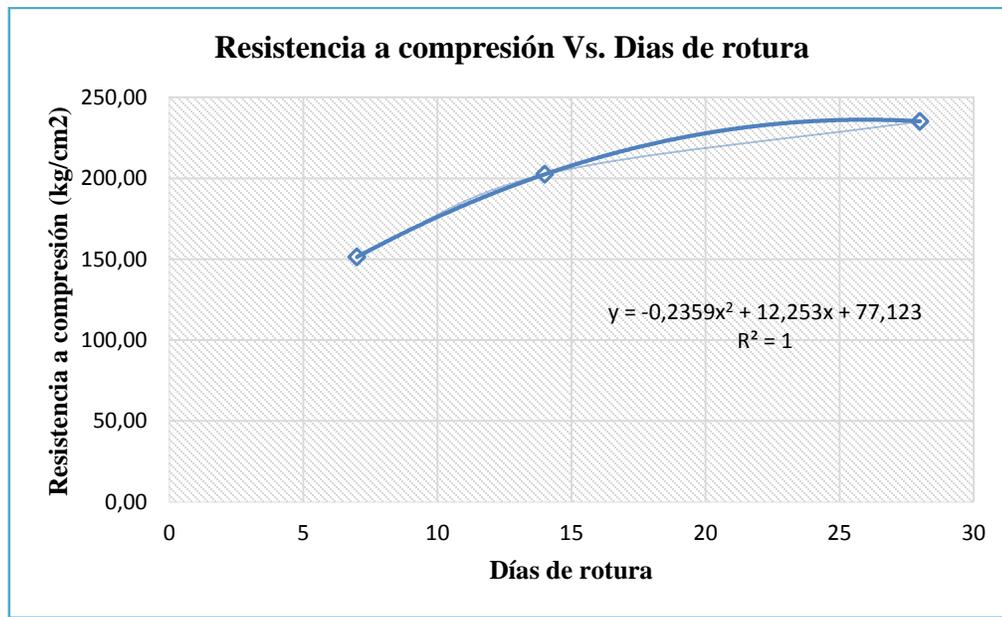


Figura 4.7. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Probeta con reemplazo de 30% de grava

Probeta patrón			
Días	7	14	28
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	125,16	159,56	188,95

Tabla 4.12. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 30% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

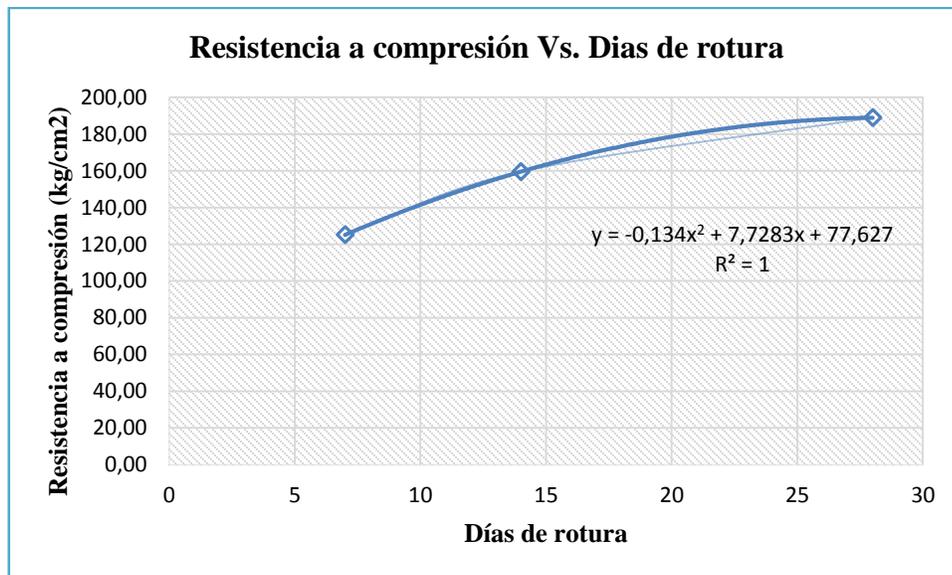


Figura 4.8. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 30% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Probeta con reemplazo de 40% de grava

Probeta patrón			
Días	7	14	28
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	83,08	104,48	125,80

Tabla 4.13. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 40% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

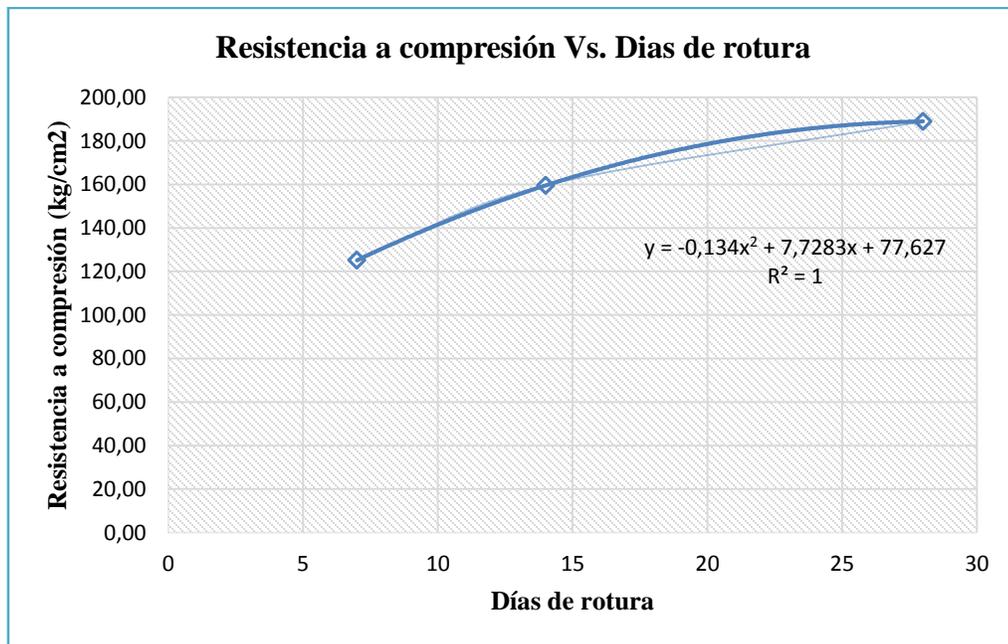


Figura 4.9. Resumen de resistencia a compresión Vs. Tiempo en días con 40% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.4. Determinación de la absorción del hormigón.

4.4.1. Absorción del agua del hormigón patrón.

Probetas testigo				
N° de Probeta	Peso antes de sumergir al agua	Peso después de sumergir 24 horas al agua	Cantidad de agua absorbida	Porcentaje [%] de Absorción
1	12,43	12,94	0,51	4,10
2	12,53	13,04	0,51	4,07
3	12,49	13,01	0,52	4,16
4	12,45	12,95	0,50	4,02
5	12,47	12,99	0,52	4,17
6	12,4	12,85	0,45	3,63
Promedio				4,03

Tabla 4.14. Absorción de agua del hormigón patrón

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Absorción del agua del hormigón Aligerado a base de EPS al 20% de reemplazo de grava.

Probetas 20% de reemplazo de grava				
N° de Probeta	Peso antes de sumergir al agua	Peso después de sumergir 24 horas al agua	Cantidad de agua absorbida	Porcentaje [%] de Absorción
1	11,23	11,75	0,52	4,63
2	11,35	11,82	0,47	4,14
3	11,18	11,68	0,50	4,47
4	11,25	11,7	0,45	4,00

5	11,27	11,8	0,53	4,70
6	11,32	11,81	0,49	4,33
Promedio				4,38

Tabla 4.15. Absorción de agua del hormigón con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Absorción del agua del hormigón Aligerado a base de EPS al 30% de reemplazo de grava.

Probetas 30% de reemplazo de grava				
N° de Probeta	Peso antes de sumergir al agua	Peso después de sumergir 24 horas al agua	Cantidad de agua absorbida	Porcentaje [%] de Absorción
1	10,52	11,01	0,49	4,66
2	10,5	11	0,50	4,76
3	10,43	10,88	0,45	4,31
4	10,47	10,95	0,48	4,58
5	10,48	11	0,52	4,96
6	10,51	11,02	0,51	4,85
Promedio				4,69

Tabla 4.16. Absorción de agua del hormigón con 30% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Absorción del agua del hormigón Aligerado a base de EPS al 40% de reemplazo de grava.

Probetas 40% de reemplazo de grava				
N° de Probeta	Peso antes de sumergir al agua	Peso después de sumergir 24 horas al agua	Cantidad de agua absorbida	Porcentaje [%] de Absorción
1	9,23	9,66	0,43	4,66
2	9,7	10,14	0,44	4,54
3	9,78	10,25	0,47	4,81
4	9,4	9,9	0,50	5,32
5	9,55	10,05	0,50	5,24
6	9,63	10,1	0,47	4,88
Promedio				4,91

Tabla 4.16. Absorción de agua del hormigón con 40% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

Resumen de la variación del porcentaje de absorción para diferentes porcentajes de reemplazo de grava por EPS.

Absorción para diferentes porcentajes de reemplazo de grava por EPS	
Descripción	Absorción
hormigón patrón	4,03
hormigón al 20%	4,38
hormigón al 30%	4,69
hormigón al 40%	4,91

Tabla 4.16. Variación de la absorción del hormigón aligerado

Fuente: Elaboración propia

Gráfica calibrada de la relación de % de Absorción Vs % Reemplazo de grava.

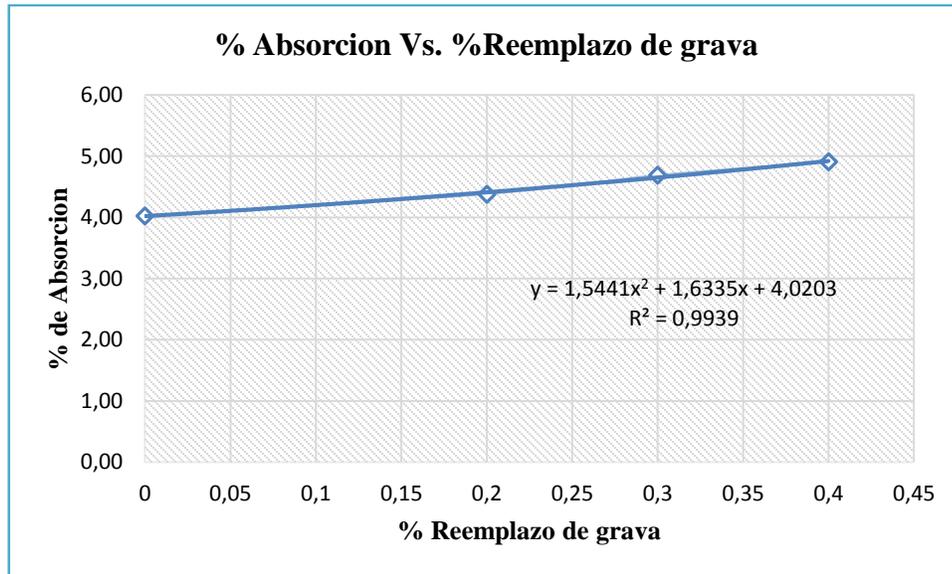


Figura 4.10. Variación de la absorción en función del reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.5. Conjeturas de la resistencia al fuego y las propiedades térmica y acústica

- ✓ La resistencia al fuego del hormigón aligerado a base de EPS disminuye a medida que se realiza el reemplazo de grava por EPS, esto se constató al someter al fuego al hormigón aligerado con distintos porcentajes de reemplazo de grava y al hormigón patrón, se observó que el hormigón aligerado presenta gran fisuración superficial según la cantidad de grava que se reemplazó, esto se debe a que el EPS que está más cercano con la superficie en contacto con el fuego se quema y ejerce presión lo cual ocasiona fisuración superficial al hormigón aligerado mientras que el hormigón patrón no presenta fisuración durante los 30 minutos que duró la prueba.
- ✓ La propiedad térmica del hormigón aligerado mejora con respecto al hormigón patrón, esto se debe a que el EPS tiene bajo grado de transferencia de calor con relación a la grava.

Propiedad térmica del hormigón aligerado para un espesor de 15cm				
Descripción	% Reemplazado de grava en volumen			
	0	20%	30%	40%
Temperatura [°C]	52	47	44,5	43,1
Reducción parcial (%)	0,00	9,62	14,42	17,12

Tabla 4.17. Propiedad térmica del hormigón aligerado para 15cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

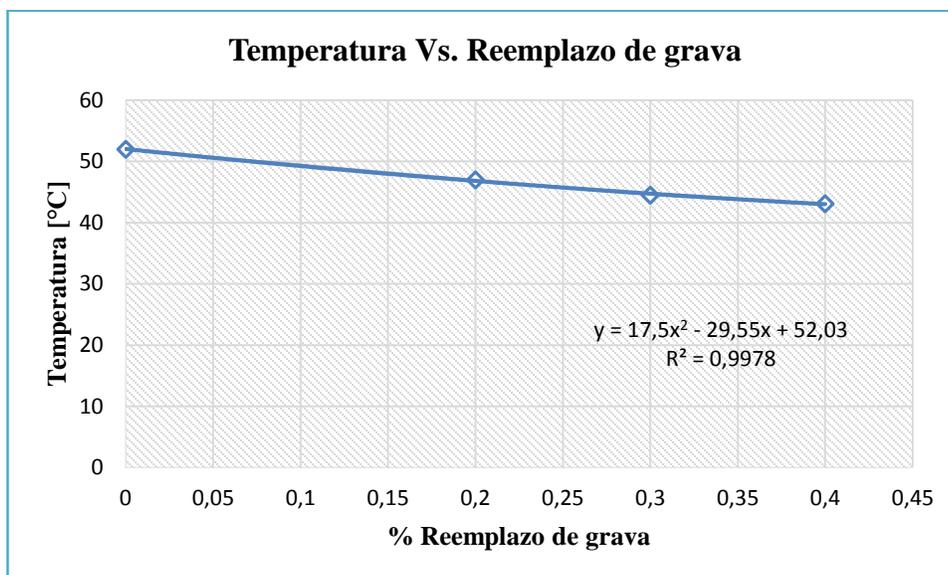


Figura 4.11. Variación de la propiedad térmica en función del reemplazo de grava para 15cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

- ✓ La propiedad acústica del hormigón aligerado aumenta a medida que se reemplaza la grava por EPS, esto se puede constatar golpeando las probetas patrón y las aligeradas y como resultado dio que el hormigón aligerado expande menos el sonido que el hormigón patrón.

4.6. Comparación de costos por m³

4.6.1. Probeta patrón

Valor total para m ³			
Material	[Kg/m ³]	Precio unitario [Bs.]	Monto Total [Bs.]
Cemento	383,09	1,16	444,38
Grava	1145,18	0,11	125,97
Arena	634,26	0,24	152,22
EPS	-	-	-
Total [Bs.]			722,58

Tabla 4.18. Monto de hormigón simple

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. 20% de Reemplazo de polietileno

Valor total para m ³			
Material	Cantidad	[Bs.]	Monto total
Cemento	383,09	1,16	444,38
Grava	1107,50	0,11	120,89
Arena	634,26	0,24	150,00
EPS	1,56	35,00	54,60
Total [Bs.]			769,87

Tabla 4.19. Comparación de montos de hormigón con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. 30% de Reemplazo de polietileno

Valor total para m³			
Material	Cantidad	[Bs.]	Monto total
Cemento	383,09	1,16	444,38
Grava	969,09	0,11	105,78
Arena	634,26	0,24	150,00
EPS	2,43	35,00	81,90
Total [Bs.]			782,06

Tabla 4.19. Comparación de montos de hormigón con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

4.6.4. 40% de Reemplazo de polietileno

Valor total para m³			
Material	Cantidad	[Bs.]	Monto total
Cemento	383,09	1,16	444,38
Grava	824,18	0,11	90,66
Arena	634,26	0,24	150,00
EPS	3,12	35,00	109,20
Total [Bs.]			794,25

Tabla 4.20. Comparación de montos de hormigón con 20% de reemplazo de grava

Fuente: Elaboración propia

5. CAMPO DE APLICACIÓN DE HORMIGÓN ALIGERADO

Este hormigón aligerado tiene utilización en la parte ornamental a continuación se mencionarán algunas de las utilidades más frecuentes:

Contrapisos en las edificaciones

Los contrapisos son una capa de relleno homogénea que transmite las cargas del piso al terreno para evitar fisuras o hundimientos en estos revestimientos. También es aprovechado sobre entresijos para nivelar, o sobre cubiertas para generar pendientes que permitan que el agua se escurra. A su vez se aprovechan para alojar distintas cañerías de importancia del edificio y que deben quedar ocultas y/o protegidas.

Es utilizado en contrapisos sobre losas y azoteas.



Figura 5.1. Construcción de una obra civil

Fuente: Elaboración propia

La colocación de contrapisos de hormigón alivianado es una decisión que la Dirección de Obra debe considerar en situaciones en que se requiere no sobrecargar una estructura, o bien cuando se necesita aumentar la aislación térmica o acústica entre ambientes.

Se trata de contrapisos que se emplean tanto sobre losas y azoteas. Se aliviana reemplazando el agregado grueso por EPS o granulado, en las proporciones que se vean convenientes aligerar el hormigón, para reducir el peso del mismo sobre losas y azoteas.

El espesor total de la mezcla de contrapiso es de 6 cm, el cual será realizado de una sola vez o en dos etapas dependiendo de la elección del tipo de piso que se va a colocar.

5.1.1. Contrapiso sobre losas

El contrapiso de hormigón aligerado se lo coloca en baños ubicados sobre losa para cubrir las instalaciones sanitarias que se realizan, y para dar pendientes en los ambientes que se requieran.



Figura 5.2. Rellenado de hormigón aligerado, sobre losa para dar pendiente

Fuente: Elaboración propia

Para pisos fijados con mortero

Se vaciarán dos capas de contrapiso:

La primera capa de contrapiso será vaciada con mezcla de hormigón aligerado a base de EPS en la proporción que se desee, con un espesor de por lo menos 4 cm.

La segunda capa será vaciada al momento de colocar el piso con una mezcla de mortero y tendrá un espesor de 2 cm.



Figura 5.3. Mosaicos fijados con mortero

Fuente: Elaboración propia

Para pisos fijados con pegamento

Se vaciará una sola capa de contrapiso:

La capa de contrapiso será vaciada con mezcla de hormigón aligerado a base de EPS en la proporción de EPS que se desee, con un espesor de 5 cm.



Figura 5.4. Piso cerámico fijado con pegamento especial

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Contrapiso en azoteas

En caso de contrapisos con pendiente en azoteas, se deberá tomar como espesor mínimo 5 cm (mínimo constructivo) en la boca de desagüe, y trabajar con pendientes mínimas de 1cm por metro, así eludir el desprendimiento entre el hormigón que corresponde a la parte estructural (capa de compresión de la losa), y el contrapiso de hormigón aligerado que no es estructural, sólo forma parte del sistema de capas que se coloca en la azotea para impermeabilizar y darle un aislamiento térmico al último piso de una edificación.



Figura 5.5. Fajas que dan la pendiente a la azotea

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.6. Azotea rellena con hormigón aligerado

Fuente: Elaboración propia

5.2. Muros de hormigón aligerado

El muro de hormigón aligerado con EPS se lo utiliza como separador de ambientes, estos muros tienen distintas dimensiones que van de acuerdo a la necesidad del usuario, estos muros son muy similares a los hormigones celulares si se aligera con granulado de EPS, estos muros no trabajan de forma estructural sino que están dedicados a la parte ornamental. Por este motivo los muros tendrán espesores 7-10cm, las piezas de hormigón que conforman el muro deberán tener una altura mayor de 28cm



Figura 5.7. Muro de hormigón aligerado como separador de ambientes

Fuente: Elaboración propia

5.3. Botaguas de hormigón aligerado

Primero se debe colocar una parrilla de acero de $\varnothing 6$ c/25 cm, para luego vaciar el hormigón de resistencia elegida. Con la ayuda de un frotacho se deberá dar la pendiente necesaria al botaguas.

Al momento de vaciar el hormigón aligerado se debe prever la ubicación un corta-aguas a 10 cm del muro, colocando una tubería de $\frac{1}{2}$ " apoyada al encofrado, para que una vez que sea desencofrado sirva de barrera a las aguas de lluvia y evite que éstas ensucien las paredes.

Una vez construido el botaguas, se procederá al revocado del mismo. La parte interior del bota aguas debe ser revocada con yeso y la parte exterior será revocada con cemento.

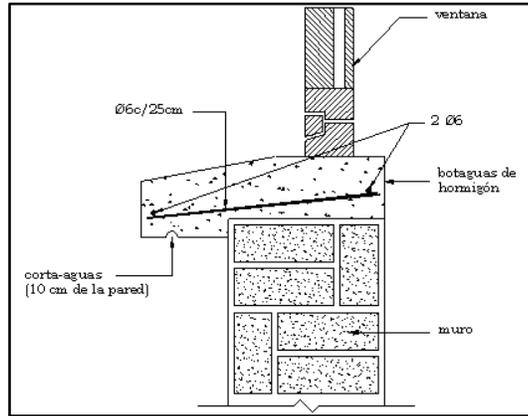


Figura 5.8. Botaguas de hormigón aligerado

Fuente: Elaboración propia

5.4. Mesones de cocina

Los mesones hechos de hormigón aligerado a base de EPS se pueden realizar en obra o pueden ser prefabricados y revestidos con la textura que se desee.



Figura 5.9. Mesón de cocina prefabricado

Fuente: Elaboración propia

Los mesones tienen que ir de apoyo a los lados de cada uno de los artefactos, especialmente a ambos lados de la cocina y el lavaplatos, siendo necesario también a un solo lado de la heladera. Asimismo nos pueden servir de desayunadores y divisiones

entre áreas. La altura ideal de los mesones es de 90 centímetros, aunque antiguamente eran de 85. Pero en los últimos años las personas tienden a ser más altas.

Además estos mesones tendrán como armadura mínima longitudinal de $\emptyset 10$ c/15 cm y armadura mínima transversal $\emptyset 6$ c/25cm en el caso que el mesón tenga dos apoyos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las siguientes conclusiones del presente estudio.

- ✓ Se obtuvo el peso específico del hormigón aligerado a base de EPS para distintos porcentajes de reemplazo, el cual disminuye a medida que se aumenta el polietileno en los porcentajes de 20%, 30% y 40%, los valores promedios de discusión del peso específico son de 2156Kg/m³, 1975 Kg/m³ y 1803 Kg/m³ respectivamente.
- ✓ Se obtuvo la resistencia característica a compresión a los 28 días de fraguado se obtuvo para 20% de reemplazo de grava 235,21 Kg/cm², para 30% de reemplazo de grava 188,95 Kg/cm², y para 40% de reemplazo de grava 125,80 Kg/cm². La resistencia obtenida es menor a la resistencia deseada. Estos datos se obtuvo con los valores promedios obtenidos.
- ✓ Se determinó el porcentaje de agua que puede absorber el hormigón aligerado a base de EPS, esta propiedad es importante para saber en cuanto aumenta el peso de este hormigón aligerado en contacto con el agua porque si este porcentaje de absorción es muy grande esto ocasionará sobre cargas en las edificaciones. La absorción obtenida para 20% de reemplazo de grava es 4,38%, para 30% de reemplazo la absorción obtenida es de 4,69% y para 40% de reemplazo de grava es 4,91%
- ✓ Se estableció que a mayor reemplazo de grava por EPS la propiedad térmica del hormigón aligerado aumenta con relación al hormigón patrón para 20% de reemplazo de grava es 47°C, para 30% de reemplazo la temperatura obtenida es de 44,5°C y para 40% de reemplazo de grava es 43,1°C.
- ✓ El monto del hormigón patrón es de 722,58Bs, el monto con 20% de reemplazo de grava por EPS es de 769,87Bs, el monto con 30% de reemplazo de grava por EPS es de 782,06Bs, el monto con 40% de reemplazo de grava por EPS es de 794,25Bs. El monto aumenta a medida que se va aumentando el EPS por grava.
- ✓ Aislamientos térmicos y acústicos, como cubiertas con o sin pendiente.

- ✓ Rehabilitación de edificios antiguos. Recrecidos de forjados, incorporando poco peso a la estructura.
- ✓ Con referencia a la hipótesis el hormigón con EPS reduce la densidad en comparación con el hormigón convencional, pero alterando la resistencia mecánica a compresión, la resistencia al fuego, aumenta la absorción de humedad, así mismo el hormigón con perlas de polietileno es buen aislante acústico y térmico.
- ✓ Las ventajas del hormigón con perlas de polietileno pre-expandido son las siguientes:
 - Reduce el peso del hormigón en masa.
 - El hormigón con EPS es buen aislante térmico.
 - El hormigón con EPS es buen aislante acústico.
- ✓ Las desventajas del hormigón con perlas de polietileno pre-expandido son las siguientes:
 - Reduce la resistencia a compresión.
 - Es mayor el costo en comparación con el hormigón convencional.
 - No es resistente al fuego.
- ✓ En el campo de aplicación el hormigón con EPS se puede utilizar en estructuras ornamentales, pero no se puede utilizar este hormigón como hormigón estructural.

A continuación se presentan las siguientes recomendaciones del presente estudio.

- ✓ Al momento de realizar el preparado de la pasta de hormigón con reemplazo de grava por EPS se debe utilizar una máquina mezcladora para que la pasta sea homogénea, porque si no se efectúa con una máquina mezcladora se obtendrá una pasta no homogénea lo cual originara que el hormigón tenga partes menos resistentes que otras.
- ✓ Cuando se efectuó la pasta de hormigón aligerado a base de EPS se debe de realizar el ensayo de cono de Abrams, para verificar que la pasta tenga un asentamiento menor 8 cm, porque a medida que la pasta es más fluida, el EPS

al ser un material liviano tiende a flotar y esto ocasionará que todo el EPS que se encuentre en la pasta tienda a subir hacia la superficie y esto no permitirá lograr una textura adecuada y no se consigan los mejores resultados.

- ✓ El hormigón aligerado con EPS no es recomendable para diseños estructurales ya que este hormigón tiene baja resistencia a compresión, y es un hormigón con mayor costo que el hormigón convencional.
- ✓ Se recomienda utilizar EPS reciclado de esta manera es que el hormigón reduce el monto como se aprecia en el capítulo IV.