

CAPÍTULO I GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

La arcilla expandida (Arlita - Leca) es un agregado liviano artificial de origen cerámico con una estructura altamente porosa consecuencia de la expansión por altas temperaturas. Su excelente compromiso entre ligereza y resistencia la hace ideal para su utilización como remplazo de los agregados pétreos para la elaboración de concretos livianos, elementos prefabricados de concreto, mezclas asfálticas y en aplicaciones geotécnicas como rellenos de suelos, etc.

La evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón adicionando árido de arcilla expandida se realiza por la necesidad que se tiene de buscar otras alternativas a los agregados pétreos convencionales utilizadas en las obras viales.

Mediante este estudio se pretende determinar si el empleo de este material artificial puede ser una alternativa técnica en la elaboración de mezclas de hormigón para pavimentos rígidos.

Como se ha mencionado la arcilla expandida es un material que existe hace mucho tiempo; por lo que, a nivel internacional existe bastante documentación relacionado al presente objeto de estudio. A nivel Bolivia, al existir un déficit investigativo en este campo, no se conoce trabajos nacionales vinculados con el objeto de la presente investigación.

Lo que el autor propone en esta investigación es evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas del hormigón adicionando la arcilla expandida (Arlita - Leca) como agregado, a través de ensayos de laboratorio estandarizados como ser la resistencia a la flexión y compresión. El fin es determinar la incidencia de este material, detectar posibles ventajas y desventajas en dichas propiedades con respecto a hormigones con agregados convencionales y establecer si la utilización de la arcilla expandida puede ser una alternativa a los agregados pétreos en la elaboración de mezclas de hormigón para pavimentos rígidos.

Los porcentajes de arcilla expandida a remplazar serán un: 5%, 10%, 20%, 40% y 100%; se tomarán estos porcentajes de remplazo por que ya existe una investigación realizada en el Ecuador en la Universidad Técnica De Ambato. En dicho estudio, solo se remplazó

el agregado grueso con arcilla expandida en donde se pudo observar una mayor variación de la resistencia, es por eso que se tomarán estos porcentajes como referencia.

El aporte teórico de esta investigación es su fundamento en la teoría científica descrita más adelante; la implementación de este material alternativo hará posible la realización de obras que en algunos casos no serían viables, y el consecuente acceso al mejoramiento de la calidad de vida de una amplia región del país donde no se cuenta con agregados pétreos.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Entre los diversos problemas asociados al crecimiento de la población y a la generación del bienestar está la falta de materiales pétreos para la construcción en distintos lugares del país. A nivel departamental el sector de Yacuiba y otros sectores aledaños están afectados por este problema.

El presente proyecto de investigación surge por la necesidad de buscar otras alternativas a los agregados pétreos convencionales que se utilizan en las obras viales. Una alternativa es el empleo de agregados artificiales como ser el agregado de arcilla expandida.

La implementación de este material alternativo hará posible la realización de obras que en otro caso no serían viables, y el consecuente acceso al mejoramiento de la calidad de vida de una amplia región del país donde no se cuenta con agregados pétreos.

La producción industrializada de este agregado para su utilización en obras viales es factible, debido a que se necesita un proceso parecido al que se desarrolla en las plantas cementeras que operan actualmente en el país y se fabrica a base de arcilla; material abundante en el país. Por lo que, representa una alternativa de desarrollo de agregados diferente a la convencional.

Mediante este estudio se pretende determinar si este agregado artificial puede ser considerado como alternativa técnica para la elaboración de hormigón para pavimentos rígidos, buscando establecer parámetros técnicos que permitan su adecuada dosificación.

Si la variación presentada demuestra una optimización en las propiedades mecánicas del hormigón, esto dará lugar a otras investigaciones más a detalle para demostrar si es viable la utilización de este agregado artificial en proyectos viales.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

En un hormigón común, los agregados ocupan normalmente entre un 60% y un 75% del volumen total y constituyen una parte fundamental de la resistencia mecánica y de la densidad final de la mezcla. Por lo que, es muy importante conocer las propiedades mecánicas de los materiales, los mismos que nos permiten diferenciar un material del otro, ya sea por su composición, estructura o comportamiento ante algún efecto físico o químico.

La falta de materiales pétreos para la construcción civil es un problema debido a las características geográficas de ciertas zonas en nuestro país. Por tanto, la búsqueda de otras alternativas como ser los agregados artificiales es una tarea importante para el desarrollo de la región que previo proceso de fabricación con el empleo de tecnologías ya conocidas, permitan ser utilizados como agregados en las obras civiles.

Es necesario realizar una evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón utilizando arcilla expandida (Arlita - Leca) en sustitución parcial y total del agregado convencional, para poder saber la influencia de este agregado artificial como también si el mismo puede ser una alternativa a los agregados convencionales en el diseño de pavimentos rígidos.

1.3 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la adición de arcilla expandida (Arlita – Leca), en sustitución parcial y total del agregado convencional, puede determinar si este agregado artificial podría ser una alternativa técnica a los agregados convencionales en la elaboración de mezclas de hormigón para pavimentos rígidos de tráfico pesado?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas del hormigón para pavimentos rígidos adicionando árido de arcilla expandida (Arlita - Leca) en sustitución parcial y total del agregado convencional, las propiedades a evaluar serán la resistencia a flexión y compresión

1.4.2 Objetivos específicos

-) Recopilar información teórica de arcilla expandida (Arlita - Leca) y su aplicación como agregado en la elaboración de mezclas de concreto.

- J Realizar la caracterización de los materiales, agregado artificial, agregados pétreos.
- J Elaborar la dosificación de una mezcla de hormigón para una consistencia plástica con un asentamiento de diseño de 3 cm.
- J Diseñar y elaborar probetas rectangulares y cilíndricas.
- J Determinar los valores de las propiedades mecánicas del hormigón, resistencia a la flexión y compresión a los 28 días de edad con diferentes porcentajes de arcilla expandida 5%, 10%, 20%,40% y 100%.
- J Valorar las propiedades mecánicas del hormigón con la inclusión de los diferentes porcentajes de arcilla expandida.
- J Comparar los resultados obtenidos de la adición de arcilla expandida con los de agregados convencionales.
- J Realizar un análisis de la incidencia de la arcilla expandida en la resistencia del hormigón con los resultados obtenidos.

1.5 HIPÓTESIS

La inclusión en diferentes porcentajes del árido de arcilla expandida (Arlita - Leca), en sustitución parcial y total del agregado convencional, permitirá obtener una mezcla de hormigón para la aplicación en pavimentos rígidos, y determinar que este agregado artificial puede ser una alternativa a los agregados convencionales.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1 Variables dependientes

Propiedades mecánicas del hormigón

1.6.2 Variables independientes

Arcilla expandida (Arlita -Leca)

1.6.3 Conceptualización de variables

1.6.3.1 Propiedades mecánicas del hormigón

Resistencia a la flexión . Son las propiedades de resistencia ante las fallas estructurales de las mezclas de hormigón para pavimentos rígidos.

Resistencia a la compresión simple. Es la propiedad mecánica del hormigón de resistencia ante las fallas estructurales en pavimentos rígidos.

1.6.3.2 Arcilla expandida (Arlita – Leca)

La arcilla expandida (Arlita - Leca) es un agregado liviano artificial de origen cerámico con una estructura altamente porosa consecuencia de la expansión por altas temperaturas. Sus características de ligereza y resistencia, la hacen ideal para su utilización como remplazo de los agregados pétreos en la elaboración de concretos livianos, elementos prefabricados de concreto, mezclas asfálticas y en aplicaciones geotécnicas como rellenos de suelos, etc.

Debido a que no la dañan parásitos como hongos, terminas, etc., es imputrescible; además de que no se degrada con el paso del tiempo. Asimismo es indeformable y tiene una buena resistencia a los ácidos, bases y disolventes, conservando su carácter hasta en ambientes agresivos. Finalmente no se transgrede en exposición al hielo, y mantiene sus propiedades aislantes durante todo el tiempo.

1.6.4 Operacionalización de variables

1.6.4.1 Variables dependientes

Tabla 1.1 Variables dependientes

Variable dependiente	Dimensiones	Indicador	Valor/acción
	Ensayo de laboratorio en probetas cilíndricas para determinar la Resistencia a la compresión simple	Resistencia a la compresión simple	(kg/cn ²)
	Ensayo de laboratorio en vigas prismáticas para determinar la Resistencia a la flexión	Resistencia a la flexión	(MPa)

Fuente: Elaboración propia

1.6.4.2 Variables independientes

Tabla 1.2 Variables independientes

Variable independiente	Dimensiones	Indicador	Valor/accion
Arcilla expandida (Arlita – Leca)	Caracterización de la arcilla expandida	Granulometría	Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T27)
		Peso específico y absorción del agregado grueso	Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)
		Peso específico y absorción de agregado fino	Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)
		Módulo de finura del agregado fino	Determinación del módulo de finura para las diferentes muestras ASTM C-125
		Determinación del tipo de agregado	Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358)
		Desgaste de los Ángeles	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles AASHTO T96

Fuente: Elaboración propia

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 Componentes

1.7.1.1 Identificación del tipo de diseño de investigación

El presente trabajo es una investigación del tipo experimental; en este sentido se pretende establecer las causas de eventos, sucesos o fenómenos que se estudian. Como su nombre

lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. De este modo el trabajo se enfocará en como afectara la inclusión de arcilla expandida en las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico para pavimento rígidos.

1.7.1.2 Unidad de estudio

La unidad de estudio incluye: La resistencia a la compresión simple y resistencia a la flexión del hormigón de pavimentos rígidos.

Aunque el agregado se considera relleno inerte, es un componente necesario que define las propiedades resistentes, flexionantes, elásticas del hormigón y la estabilidad dimensional.

La resistencia del agregado a la compresión es un factor importante en la selección del agregado. Al determinar la resistencia del concreto normal, la mayoría de los agregados de concreto son más fuertes que los otros componentes del concreto y, por lo tanto no son un factor en la resistencia del concreto de resistencia normal.

Los elementos a ser medidos son los siguientes:

Módulo de rotura a flexión (Kg/cm^2)

Módulo de rotura a compresión simple. (Kg/cm^2)

1.7.1.3 Población

En el presente trabajo de investigación se identifica como la población a todos los hormigones con la adición de arcilla expandida (Arlita – Leca).

1.7.1.4 Muestra

La muestra de este trabajo de investigación se basa en los diferentes porcentajes de adición de arcilla expandida a una mezcla de concreto hidráulico para pavimentos rígidos, los diferentes porcentajes de arcilla expandida que se adicionarán son de un 5%, 10%, 20%, 40% y 100%.

1.7.1.5 Muestreo

Para el presente trabajo se tomará como mínimo 3 muestras de resistencia, siendo una muestra de resistencia el promedio de las resistencias de tres ensayos hechos de la misma

muestra de concreto; cada una estimada con diferentes porcentajes de arcilla expandida. Además, se realizarán 3 muestras de resistencias para un hormigón con agregados convencionales, obteniendo un total de 108 ensayos de laboratorio entre cilindros y prismas; mismas que serán ensayadas a las edades de 28 días, lo que permitirá determinar la influencia que tendrán en la resistencia a compresión simple y a la flexión de las muestras.

1.7.2 Métodos y técnicas empleadas

Los métodos, técnicas y medios que se usarán para la realización del presente trabajo son los siguientes:

Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358)

Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T27)

Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)

Determinación del módulo de finura de los agregados (ASTM C-125)

Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (AASHTO T96)

Ensayo de la consistencia por el método del cono de Abrams.

Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

Ensayo de resistencia a la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)

1.7.2.1 Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos. La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre 37,5 y 9,5 mm (1 1/2" y 3/8"). Se descarta el resto y el peso de la muestra dependerá del tamaño del árido.

Tabla 1.3 Peso según el tamaño de la muestra para encontrar el % de caras fracturadas

Tamaño del árido en pulg.	Peso en gr.
1 ½" a 1"	2000
1" a ¾"	1500
¾" a ½"	1200
½" a 3/8"	300

Fuente: *Manual de carreteras de la ABC para hormigón*

Se esparce la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario se debe lavar el árido sucio ya que eso facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de árido es redondeada y presenta una fractura muy pequeña, no se clasificara como partícula fracturada.

Una partícula se considerara como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada.

Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquéllas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

Finalmente, se pesa las partículas fracturadas.

$$\% \text{ de fracturas} = \frac{\text{peso de las partículas fracturadas}}{\text{peso de la muestra original}} \times 100$$

1.7.2.2 Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T22)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Grava y arena. Deben cumplir con las características de la tabla mostrada.

Tabla 1.4 Faja granulométrica ASTM.

Tamiz N°	% que pasa	Tamiz N°	% que pasa
1"	100	N° 8	80 – 100
3/4"	90 – 100	N° 16	50 – 85
1/2"	–	N° 30	25 – 60
3/8"	25 – 55	N° 50	10 – 30
N° 4	95 - 100	N° 100	2 – 10

Fuente: Manual de carreteras de la ABC.

1.7.2.3 Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)

Peso específico del agregado grueso

Este método establece el procedimiento para determinar el peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un período de 24 horas determinando y registrando el porcentaje en masa seca por volumen de agregado.

Peso específico del agregado fino

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y el peso específico a granel, además de la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 23 horas, expresado en un porcentaje en peso.

1.7.2.4 Determinación del módulo de finura de la arena (ASTM C-125)

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumple con la norma ASTM C-125

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado (hasta el tamiz \# 100)}}{100}$$

El porcentaje retenido en cualquier tamiz no debe sobrepasar de 45%

La serie de tamices con tapa y bandeja para agregado fino son N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

1.7.2.5 Método del desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASSHTO T96)

El método utiliza la Máquina de los Ángeles, y consiste en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que junto con cargas abrasivas (esferas) de una masa determinada. Luego, se aplica un número determinado de revoluciones por minuto. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión (desgaste del material), y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra (seca) y la masa del material desgastado (seca), expresándolo como porcentaje inicial.

Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior.

Debe rotar a una velocidad entre 30 y 33 revoluciones por minuto. Debe tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática

Esferas (carga abrasiva). Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes distribuidas en un rango de 390 a 445 g

Balanza. Con una capacidad superior a 10 Kg y una resolución de 1 g.

Tamices. Cumplirán lo especificado con la norma ASTM

Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo El tamaño original de la muestra (en Kg) debe ser igual o mayor que 2 veces el tamaño máximo nominal en mm y no menor que 50 Kg para los grados 1 al 5 y 25 Kg para los grados 6 y 7. Lavar la muestra y secarla hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Tabla 1.5 Rango para la relación de desgaste

Desgaste generado	Muy malo	60%
	Malo	50%
	Regular	40%
	Bueno	30%
	Muy bueno	20%

Fuente: Elaboración propia

1.7.2.6 Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

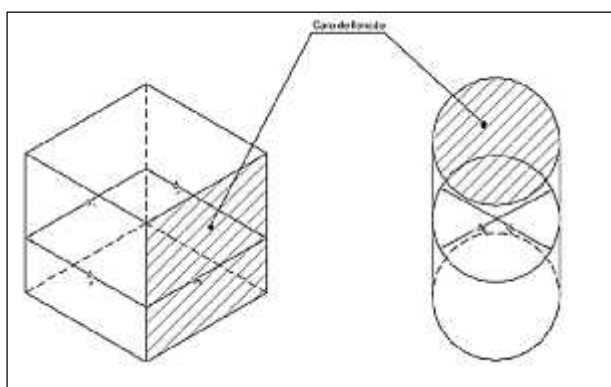
Este método establece el procedimiento para efectuar el ensaye a la rotura por compresión de probetas cubicas y cilíndricas de hormigón.

La prensa deberá cumplir con los siguientes requisitos.

Acondicione las probetas para el ensaye según el método para romper las probetas si corresponde. Se mide los dos diámetros perpendiculares entre si aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta también se mide la altura de la probeta en dos posiciones distintas.

Se expresa estas medidas en milímetros con aproximación a 1 mm. Se determina la masa de la probeta. Se coloca la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de la placa. Se introducen los datos a la memoria de la prensa y se activa esta, para luego ver la lectura de las resistencias a compresión que se obtienen.

Figura 1.1 Esquema del ensayo de compresión



Fuente: Elaboración propia

1.7.2.7 Ensayo de la resistencia a la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)

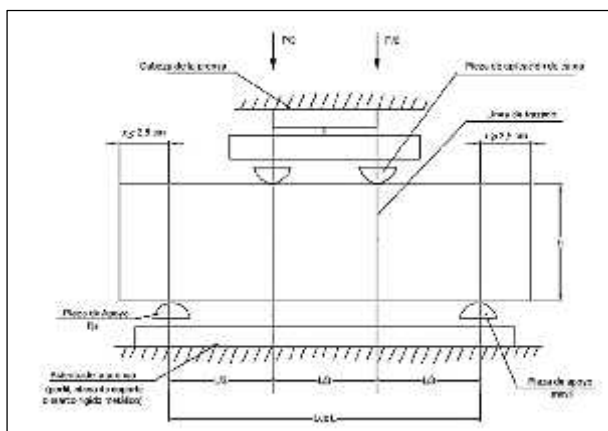
Este método establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.

Este método se empleará para probetas de dimensión básica de 150 mm donde se aplicara la cargas $P/2$ en los límites del tercio central de la luz de la viga.

Las probetas prismáticas que estaban sumergidas en agua por 28 días para su curado final, retírelas de esta inmediatamente antes de ensayar, protéjala con toallas húmedas hasta el

momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

Figura 1.2 Esquema del ensayo de flexión de vigas.



Fuente: Elaboración propia

1.7.2.8 Materiales y equipos a utilizar.

Tabla 1.6 Materiales y equipo a utilizarse

Nº	Actividad	Insumos y procedencia
1	Adquisición y selección de agregados	<ul style="list-style-type: none">) Arcilla expandida (Arlita -Leca) fabricado en Argentina. adquirido de comercializadoras ubicadas en Buenos Aires Argentina.) Arena de canteras del lugar (Charaja).) Grava de canteras del lugar (Chancadora de Charaja)
2	Adquisición del cemento portland	<ul style="list-style-type: none">) Cemento portland (Epecial IP 30) “El Puente” adquirido de distribuidoras del departamento de Tarija
3	Granulometría del agregado	<ul style="list-style-type: none">) Agregados (arcilla expandida y agregados gruesos, finos convencionales).) Equipos de laboratorio (lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho).

4	Porcentaje de caras fracturadas	<ul style="list-style-type: none">) Agregados (arcilla expandida y agregados pétreos)) Equipos de laboratorio (lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
5	Peso específico de los agregados	<ul style="list-style-type: none">) Agregados (arcilla expandida y agregados pétreos)) Equipos de laboratorio (lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
6	Desgaste de los ángeles	<ul style="list-style-type: none">) Agregado (arcilla expandida y agregado grueso convencional)) Equipos de laboratorio (Lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
7	Módulo de finura de los agregados	<ul style="list-style-type: none">) Agregados (arcilla expandida y agregados pétreos)) Equipos de laboratorio (Lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
8	Ensayo de la consistencia	<ul style="list-style-type: none">) Asentamiento del hormigón fresco) Equipos de laboratorio (Lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
9	Ensayo de la compresión simple del hormigón	<ul style="list-style-type: none">) Resistencia del hormigón endurecido a los 28 días de edad mediante probetas cilíndricas) Equipos de laboratorio (Lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
10	Ensayo a la flexión del hormigón	<ul style="list-style-type: none">) Resistencia del hormigón endurecido a los 28 días de edad mediante vigas) Equipos de laboratorio ((Lab. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho)
11	Análisis de resultados y preparación de documento final	<ul style="list-style-type: none">) Material de escritorio

Fuente: Elaboración propia

1.7.3 Resistencias de diseño para la investigación

1.7.3.1 Tipos de resistencias del hormigón

Las mezclas de hormigón serán dosificadas con el fin de obtener las siguientes resistencias características de compresión a los 28 días, basado en la Norma Bolivia y en la Administradora Boliviana de Carreteras y en función de la buena práctica de la ingeniería.

Tabla 1.7 Clasificación de resistencias para hormigones

Clases de hormigón simple según Administradora Boliviana de Carreteras	Clases de hormigón simple según norma boliviana CBH 87	Resistencia característica cilíndrica de compresión a los 28 días
P1 mayor o igual	H40	40 Mpa (400 kg/cm ²)
P mayor o igual	H35	35 Mpa (350 kg/cm ²)
A1 mayor o igual	H25	26 Mpa (260 kg/cm ²)
A mayor o igual	H20	21 Mpa (210 kg/cm ²)
B mayor o igual	H17.5	18 Mpa (180 kg/cm ²)
C mayor o igual	H15	16 Mpa (160 kg/cm ²)
D mayor o igual	H12.5	13 Mpa (130 kg/cm ²)
E mayor o igual		11 Mpa (110 kg/cm ²)

Fuente: Norma de la ABC

En casos especiales para estructuras de hormigón armado, se especificarán resistencias características cilíndricas mayores a 210 kg/cm², pero en ningún caso superiores a 300 kg/cm², excepto en hormigón pos tensado. Dichas resistencias deben estar controladas por ensayos tanto previos como durante la ejecución de la obra. Los hormigones P y P1 se utilizarán en estructuras de hormigón pos tensado pudiendo especificarse, para cada caso particular, las resistencias requeridas en los planos o en las Especificaciones Especiales.

Los hormigones tipo A1, A y B se usarán en las superestructuras de puentes y en infraestructuras de hormigón armado, excepto donde las secciones son macizas y están ligeramente armadas. Los hormigones depositados en agua serán también del tipo A y B, con 10 % más del cemento normalmente utilizado. Los hormigones tipo C y D se emplean en infraestructuras con ninguna o poca armadura o para la elaboración de hormigón

ciclópeo. El tipo E se usará en secciones macizas no armadas o en la elaboración de hormigón de nivelación (hormigón pobre).

1.7.3.2 Rangos de resistencias para compresión y flexión

Para obtener el rango de resistencia a la compresión y a la flexión con el que se trabajara, se utilizará las especificaciones técnicas de algunas obras de pavimentación rígida que se están desarrollando en Bolivia. Estas obras son realizadas por la Administradora Boliviana de Carreteras por lo que cumplen con la exigencia de ser aptas para la construcción de pavimentos rígidos con esas resistencias de diseño.

Tabla 1.8 Resistencia de diseño de obras de pavimento rígido

Proyecto	Resistencia a compresión kg/cm ² a los 28 días	Resistencia a flexión kg/cm ² a los 28 días
Construcción de pavimento rígido calle final José Antonio Tonelli. Gobierno Autónomo Municipal de Chuquisaca	210 Tipo A	37 a mayor
Contrato de rehabilitación y cumplimiento de estándares de la ruta 09 Santa Cruz – Trinidad – San Javier ABC	210 – 300 Tipo A – A1	37 a mayor
Conservación vial Camargo – El Puente – San Lorenzo – Tarija (Item: reemplazo de lozas) Administradora Boliviana de Carreteras	180 o mayor tipo B a mayor	30 a mayor
Conservación vial tramo Lp10: Viacha – Charaña Administradora Boliviana de Carreteras	180 a 300 tipo A – A1	37 a mayor
Conservación tramo Pt07 Kuchu Ingenio – Cotagaita Administradora Boliviana de Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor
Conservación tramo Pt11 Villazon Cañas – Limite departamental Potosí – Tarija Administradora Boliviana de Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor
Conservación tramo Pt08 Hornillos Tupiza Villazon / Hornillos Cotagaita Administradora Boliviana de Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor

Conservación tramo Potosí Uyuni Administradora Boliviana de Carreteras	210 tipo A a Mayor	37 a mayor
Mejoramiento vial de sectores puntuales el tramo Unduavi –Chulumani Administradora Boliviana de Carreteras	180 tipo B a mayor	30 a mayor
Tramo:1 Acceso nueva terminal de Tarija	366 Kg / cm ²	45 Kg / cm ²

Fuente: Sistema de contrataciones estatales

Entonces como se mencionaba anteriormente con referencia a algunos proyectos de pavimentos rígidos ya realizados en el país, los cuales se muestran en la **tabla: 1.8**, se diseñará una mezcla de hormigón tipo P que alcance una resistencia a compresión =350 kg/cm² y una resistencia a flexión = 45 kg/cm².

1.7.4 Consistencia para el diseño del hormigón

La consistencia que se utilizara en el diseño de la mezcla del hormigón estará basada en la siguiente tabla:

Tabla 1.9 Rangos de consistencia

Consistencia	Asentamiento (cm)	Tolerancia (cm)
Seca	0 a 2	0
Plastica	3 a 5	± 1
Blanda	6 a 9	± 1
Fluida	10 a 15	± 2

Fuente: CBH - 87 NB/UNE 7103

La dosificación del hormigón para este trabajo de investigación deberá cumplir una consistencia plástica, el asentamiento estará limitado como mínimo 2 cm y en ningún caso será mayor a 5 cm.

1.7.5 Error a adoptar en la investigación

Para realizar el cálculo del error que se tomará en cuenta en el presente trabajo de investigación, se utilizará la estadística mediante la desviación estándar de los resultados de los ensayos realizados.

1.7.5.1 Estadística descriptiva

Variables dependientes:

Y1 = Resistencia a la compresión

Y2 = Resistencia a la flexión

Analizar los datos por variable

Tabulación de datos

Medidas de tendencia

Media. Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable.

Es la suma de los valores divididos por el tamaño de la muestra, es muy sensible a los valores extremos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Mediana. Es un conjunto de datos ordenados de mayor a menor, la mediana corresponde al dato central, aquel que deja un 50% de la información abajo y el otro 50% es mayor. Es un valor que divide las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

$$Me = \frac{X_{\frac{n+1}{2}}}{2} \quad \text{si } n \text{ es impar}$$

$$Me = \left(\frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2} \right) * \frac{1}{2} \quad \text{si } n \text{ es par}$$

Moda.- Es el valor o los valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Medidas de dispersión

Desviación estándar. Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para muestras}$$

\bar{X} = Se trata de la media seleccionada, se debe elegir la que tenga menor dispersión.

En este trabajo de investigación se trabajará con la media para todos los casos y con un nivel de significancia o riesgo de $\alpha = 5\%$ y una confiabilidad del 95%.

El error se determinará de la siguiente manera:

$$\bar{X} - \underbrace{Z_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}}}_{\text{Error}}$$

$$\bar{X} + \underbrace{Z_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}}}_{\text{Error}}$$

\bar{X} = Media

$Z_{\alpha/2}$ = Se lo obtiene por tablas

S = Desviación estándar

n = Número de ensayos

1.7.6 Norma

En el presente trabajo todos los ensayos y resultados obtenidos en laboratorio estarán sujetos y regidos a la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) misma que está basada en las normas AASHTO, ASTM, Y ACI

1.7.7 Validación

La validación para esta investigación se realizará por comparación con los resultados de un hormigón elaborado con agregados convencionales con las mismas condiciones con las que se elaborara con la adición de arcilla expandida.

1.7.8 Alcance de la investigación

El tema en estudio, “evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón para pavimentos rígidos adicionando árido de arcilla expandida (Arlita – Leca) en sustitución parcial y total del agregado”, se limita a evaluar a las propiedades mecánicas del hormigón y conocer cuánto incide la adición de arcilla expandida utilizando diferentes porcentajes de dicho material (5%, 10%, 20%,40% y 100%), además, determinar si este material se puede considerar como agregado en la elaboración de hormigones para pavimentos rígidos.

Las propiedades mecánicas del hormigón a evaluar en el presente trabajo son: La resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión simple mediante ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para desarrollar este tema se requiere conceptos acerca del hormigón, componentes, propiedades, conceptos sobre arcilla expandida con sus respectivas características y pavimentos rígidos.

2.1 HORMIGÓN

El hormigón o concreto es el material que resulta de la mezcla de cemento u otro conglomerante con áridos ya sean grava, gravilla y arena además de agua.

El hormigón y sus propiedades dependen en general de la calidad y de las proporciones de los componentes que van en la mezcla, como también de las condiciones de humedad y temperatura durante el proceso de fabricación y fraguado.

Para conseguir propiedades especiales del hormigón como mejor trabajabilidad, mayor resistencia, baja densidad etc. se pueden añadir otros componentes como aditivos químicos, micro sílice, limallas de hierro, etc., o se pueden reemplazar sus componentes básicos por componentes con características especiales como agregados livianos, agregados pesados, cementos de fraguado lento, etc.

El hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción.

Para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado.

2.1.1 Propiedades del hormigón fresco

Se denomina hormigón fresco al que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse.

El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en que abandona la amasadora u hormigonera y aquél en que se inicia el fraguado del cemento. Esta vida es variable en función del tipo de cemento que se va a emplear, la dosificación del agua, temperatura, empleo de aditivos, etc.

Sus principales propiedades son:

2.1.1.1 Consistencia

La consistencia del hormigón es la oposición que presenta la masa en estado fresco a experimentar deformaciones.

La consistencia, que es un indicador de la docilidad, es muy sensible a las variaciones de agua en la masa pudiendo considerarse que, para una composición dada, la consistencia de un hormigón está en función de la cantidad de agua de amasado.

En su puesta en obra, el hormigón además de tener la consistencia adecuada, debe rellenar perfectamente todos los huecos de un molde y adaptarse a las armaduras envolviéndolos para tener una buena adherencia, eliminando los huecos de la masa, salvo los poros que queden por la pérdida del agua en exceso sobre la necesaria para la hidratación del cemento.

Todo esto debe conseguirse con el mínimo posible de energía, es decir, empleando hormigones dóciles o trabajables.

La consistencia depende fundamentalmente de:

Agua de amasado.

Tamaño máximo del árido.

Granulometría.

Forma de los áridos

La medida de la consistencia de un hormigón fresco puede realizarse por diversos métodos, siendo el más universal el empleo del cono de Abrams. Es un molde troncocónico metálico de 30 cm de altura y de 10 y 20 cm de diámetro inferior y superior respectivamente.

Se llena de hormigón, se compacta con una barra de acero de 16, se enraza superiormente y se retira el molde, midiendo el descenso de la superficie superior del hormigón.

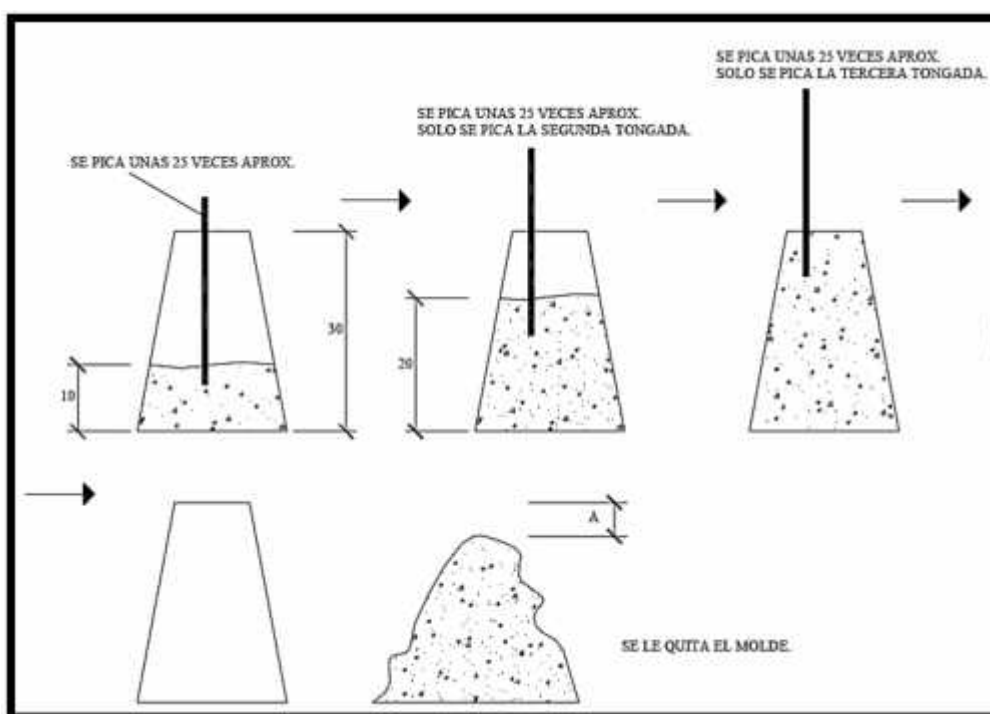
Según el descenso o asiento se obtiene las siguientes consistencias:

Tabla 2.1 Rango de consistencias

Consistencia	Asentamiento (cm)	Tolerancia (cm)
Seca	0 a 2	0
Plástica	3 a 5	± 1
Blanda	6 a 9	± 1
Fluida	10 a 15	± 2

Fuente: Manual de carreteras de la ABC

Figura 2.1 Método del cono de Abrams



Fuente: www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

2.1.1.2 Densidad

La densidad es un factor muy importante que se debe tener en cuenta para la uniformidad del hormigón, debido a que el peso varía según la granulometría, la humedad, el agua de amasado y modificaciones del asentamiento.

2.1.1.3 Homogeneidad

Es la capacidad que tienen los componentes del hormigón para ser distribuidos regularmente en la masa, es decir tendrá una homogeneidad buena cuando los componentes se encuentren perfectamente distribuidos y en proporciones iguales a lo largo de la masa; se lo puede determinar de una manera visual.

2.1.1.4 Trabajabilidad

Es la facilidad que tiene la mezcla para poder mezclarse, manejarse, transportarse y compactarse con la mínima pérdida de homogeneidad, a mayor facilidad mejor será la trabajabilidad, se puede determinar mediante el proceso de elaboración de la mezcla de hormigón.

2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de las características y proporciones de los materiales que lo componen y de las condiciones ambientales a las que se encuentre expuesto.

Entre estas propiedades tenemos:

2.1.2.1 Densidad

Es la cantidad de peso por la unidad de volumen:

$$\text{Densidad} = \text{Peso} / \text{Volumen}$$

Tabla 2.2 Densidades del hormigón.

Tipos de hormigón		Densidades
Hormigones ligeros		De 200 a 1500 Kg/m ³
Hormigón ordinario :	Apisonados	De 2000 a 2200 Kg/m ³
	Vibrados	De 2300 a 2400 Kg/m ³
	Centrifugados	De 2400 a 2500 Kg/m ³
	Proyectados	De 2500 a 2600 Kg/m ³
Hormigones pesados		Hasta 4000 Kg/m ³

Fuente : www.construmatica.com

2.1.2.2 Resistencia mecánica

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas solicitadas sin romperse o agrietarse. Varían según el tipo de esfuerzos a los que esté sometido, la resistencia a la compresión habitualmente es diez veces mayor que su resistencia a la tracción. Debido a su baja resistencia a la tracción, se incorporan barras de hierro o acero al hormigón para conformar el hormigón armado.

Para la resistencia a la compresión en el presente estudio se tomará como patrón la resistencia a la edad de 28 días.

2.1.2.3 Porosidad

La porosidad es considerada de acuerdo a la proporción de huecos respecto a la masa total, esto influye en la resistencia, densidad y permeabilidad del hormigón.

2.1.3 Materiales cementantes

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas.

También como materiales cementantes se encuentran los empleados con menos frecuencia como son la cal, los asfaltos y los alquitranes.

Para fabricar hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Entre los diferentes cementos hidráulicos destaca, por su uso extendido, el cemento portland, existiendo además los cementos naturales y los cementos con altos contenidos de alúmina.

El cemento Portland es un polvo muy fino, de color grisáceo, que se compone principalmente de silicatos de calcio y de aluminio, que provienen de la combinación de calizas, arcillas o pizarras, y yeso, mediante procesos especiales. El color parecido a las piedras de la región de Portland, en Inglaterra, dio origen a su nombre.

El proceso de manufactura del cemento consiste, esencialmente, en la trituración de los materiales crudos (calizas y arcillas); su mezcla en proporciones apropiadas; y su calcinación a una temperatura aproximada de 1400°C, dentro de un cilindro rotativo, lo

que provoca una fusión parcial del material, conformándose bolas del producto llamadas clinker. El clinker es enfriado y luego es molido junto con el yeso hasta convertirlo en un polvo fino llamado cemento Portland.

Los tipos de cemento Portland son:

Tipo I: Se lo conoce como cemento Portland ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Se lo utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, y si en el suelo o en el agua del subsuelo. Dentro de este tipo se tiene al cemento Tipo IA con aditivo incorporador de aire, Tipo IE que contiene alrededor del 20% de puzolana, y el Tipo IP con un 40% de puzolana.

Tipo II: Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales para evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.

Tipo III: Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción.

Tipo IV: Son los cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado.

Tipo V: Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto.

En el presente trabajo se empleará un cemento del Tipo I debido a que es el cemento Portland ordinario de uso general, el cual se lo utiliza en la elaboración de hormigones que estarán expuestos al suelo o al aguaje.

2.1.4 Áridos (Agregados)

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, usados en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento rígido. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla de concreto.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 60 y 75% en volumen en la mayoría de los hormigones. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

Los áridos se dividen en finos y gruesos:

2.1.4.1 Árido fino

Los áridos finos, denominados como arenas, son aquéllos que pasan por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ m (No. 200).

2.1.4.2 Árido grueso

Los áridos gruesos conocidos como grava son aquéllos en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o también definido como las partículas mayores de 4.75mm.

Los áridos gruesos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los áridos con superficie redondeada tienen menor adherencia).

2.1.4.3 Clasificación de los agregados

En general los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de:

Procedencia.

Densidad.

Tamaño.

Forma.

Textura.

2.1.4.4 Clasificación por su procedencia

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Agregados naturales.

Agregados artificiales.

2.1.4.5 Agregados naturales

Son aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Pueden usarse tal como se hallen o variando la distribución de tamaños de sus partículas, si ello se requiere. Todas las partículas que provienen de los agregados tienen su origen en una masa mayor la que se ha fragmentado por procesos naturales como intemperismo y abrasión, o mediante trituración mecánica realizada por el hombre, por lo que gran parte de sus características vienen dadas por la roca madre que le dio su origen.

2.1.4.6 Agregados artificiales

Por lo general, los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes

2.1.4.7 Agregados livianos artificiales

Los áridos livianos artificiales se obtienen a través de un tratamiento térmico a elevadas temperaturas a determinados productos que poseen la propiedad de desprender gas al tiempo que se reblandecen, con lo cual se expanden. Por efecto de la temperatura la capa superficial se vitrifica y el gas queda encerrado en el interior. Una vez enfriado se obtiene un material liviano y duro de superficie lisa y forma más o menos regular. Los más corrientes son las arcillas expandidas, las pizarras o esquistos expandidos y las cenizas volantes calcinadas.

La densidad aparente de estos áridos oscila entre los 300 y 1000 kg/m³. La absorción de agua de estos agregados, varían según la materia prima, el proceso de fabricación y el

tamaño del grano; el intervalo de variación oscila entre un 8 y 25 por ciento sobre el peso deseado de los áridos mayores. A continuación se nombra estos tipos de áridos:

Piedra Pómez.
Escorias de Lava porosa.
Escorias de caldera.
Escorias de alto horno.
Pómez siderúrgica.
Arcilla, esquisto y pizarras expandidas.
Vermiculita o mica esponjada.
Perlita expandida.
Clinker.
Ladrillos triturados.

2.2 ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA – LECA)

Corresponden a una clase especial de arcilla en estado natural, ya que todas las arcillas comunes no se expanden, extraída de canteras a cielo abierto que presentan una aptitud a la expansión de forma natural cuando se lleva el material granulado a elevadas temperaturas (entre 1100°C y 1300°C), caracterizándose porque se expande, debido a los gases de combustión internos, entre un 20% y un 400% veces su tamaño inicial, dependiendo si el material fue mezclado con o sin adiciones. Las Arcillas Expandidas Térmicamente, AE, se caracterizan por ser esferas o partículas irregulares con un recubrimiento exterior sinterizado, brillante en ocasiones, con una superficie externa cerrada, poco porosa y de preferencia vitrificada. En contraste, el interior del árido presenta un color negro calcinado y una gran porosidad, que es la responsable del carácter liviano del agregado.

La arcilla expandida, es un material de origen cerámico con una estructura altamente porosa, obtenida a través de su expansión a altas temperaturas de arcillas naturales especiales, con una granulometría que oscila entre los 0mm y 20mm.

Figura 2.2 Arcilla expandida (Arlita – Leca)



Fuente: Elaboracion propia

Generalmente un producto expandido sea de arcilla, limo, arcilla esquistosa o esquisto arcilloso tiene dos denominaciones de acuerdo a la forma. La primera corresponde a granulado de arcilla expandida, que son los granos aproximadamente esféricos de forma redondeada o con aristas suaves; mientras que los irregulares con ángulos y aristas agudos corresponden a los denominados ripios de arcilla expandida.

2.2.1 Características de la arcilla expandida

Resistencia Mecánica Adecuada.

La densidad varía entre 300 y 1120 kg/m³.

Porosidad Alta.

Color marrón claro.

Forma redondeada.

Superficie rugosa.

Material aislante continuo, sin puentes térmicos.

Resistente al fuego.

No es corrosivo ni se pudre.

No produce gases.

2.2.2 Condiciones de fabricación

La expansión de los granos se debe a un desprendimiento gaseoso producido en la misma materia arcillosa. Como consecuencia del aumento de la temperatura, dicha materia se

vuelve viscosa y se producen en ella reacciones químicas que provocan desprendimientos de gases (gas carbónico, óxido de carbono, anhídridos sulfurosos y sulfúricos). La formación de pequeñas cavidades en la arcilla genera como resultado una estructura celular en la materia.

Las condiciones requeridas para la expansión son por lo tanto:

La presencia en cantidades suficientes dentro la arcilla, de productos minerales u orgánicos, susceptibles de provocar desprendimientos gaseosos a la temperatura de fusión.

La aparición a una temperatura determinada, de una fase de fusión cuya viscosidad sea suficientemente alta para poder retener los gases que se escapan.

La vitrificación de la superficie exterior del grano debe ser suficiente para que dicho cascarón esté totalmente cerrado y sin poros.

Con el fin de evitar los estallidos, es preferible introducir exclusivamente productos secos en los hornos.

Los desprendimientos gaseosos empiezan alrededor de 600°C, pero la fase viscosa se produce únicamente entre los 1100 y 1300°C.

Para evitar que los desprendimientos gaseosos escapen, la película vitrificada tiene que estar ya constituida. Esta condición, elimina cualquier proceso de calentamiento lento.

Se debe tener cuidado, que los granos una vez vitrificados no permanezcan mucho tiempo en este estado, puesto que se pueden aglutinar los unos con los otros.

De acuerdo con Owens (1993) los gases se pueden producir por:

Volatilización de los sulfatos desde una temperatura de 400°C.

Descomposición del agua de cristalización de los minerales de la arcilla aproximadamente a 600 ° C.

Combustión de los componentes a base de carbono a aproximadamente 700°C.

Descarbonatización de los carbonatos a aproximadamente 850°C.

Reacción del Fe_2O_3 , causando la liberación de oxígeno desde 1100°C.

2.2.3 Propiedades de la arcilla expandida

Las Arcillas Expandidas, se diferencian de los agregados de peso normal, por numerosas propiedades que garantizan un menor peso unitario en comparación con estos. Entre éstas, las características más importantes corresponden a las que se mencionan a continuación:

2.2.3.1 Densidad o peso unitario

Es la propiedad fundamental de los áridos livianos. La expansión, en su grado máximo, alcanza 5 veces el volumen inicial lo que representa una densidad 5 veces inferior a los agregados naturales, aproximadamente 300 kg/m^3 en la arcilla expandida más ligera y 1120 kg/m^3 en la arcilla con un grado muy incipiente de expansión. En cambio, el peso unitario de los agregados naturales oscila entre 1440 y 1760 kg/m^3 , por lo que la diferencia entre pesos unitarios de las A.E. y de los agregados de peso normal, repercutirá directamente en la densidad final del concreto liviano.

La flexibilidad de la fabricación permite realizar áridos livianos de distintas densidades dependiendo del tipo de concreto que se requiera. Las arcillas expandidas de densidades más bajas se utilizan con fines aislantes, mientras que las de densidades superiores ($500 - 700 \text{ kg/m}^3$) se aplican a la fabricación de concretos livianos estructurales.

2.2.3.2 Resistencia a la compresión

La resistencia propia del agregado se puede determinar por varias formas, entre ellos:

Por rotura individual de varios granos.

Por compresión lenta y a una carga determinada, de una cantidad de árido introducida en un mortero cilíndrico, de acero, con un émbolo que ajusta suavemente y cuya parte superior está dispuesta para recibir el esfuerzo de compresión de una prensa de las corrientemente empleadas para el ensayo de cementos.

Por un ensayo comparativo de dos hormigones: uno preparado con agregados tradicionales y otro con el árido liviano que se quiere ensayar.

Es importante aclarar que para un mismo tipo de agregado liviano, su resistencia está ligada directamente a su densidad. Esto significa que para alcanzar una cierta resistencia del hormigón es preciso utilizar áridos con una densidad mínima, por debajo de la cual no resulta económico, ni en ocasiones físicamente posible, conseguir dicha resistencia. Por

lo general, la forma del grano influye grandemente en la resistencia propia del agregado, por lo que debe ser lo más esférica posible. Weigler y Karl dan los siguientes valores de resistencia a la compresión, para gránulos de Arcillas expandidas Térmicamente comerciales:

Árido "Leca Giesche": 6.5 MPa

Pizarra Expandida "Berwilit": 14.5 MPa

Arcillas expandidas "Detoon" y "Liapor 8": 27.2 MPa

2.2.3.3 Absorción

Los agregados de peso normal comúnmente presentan absorciones de un 1% a 2% de agua por peso del agregado seco, por lo que la cantidad de agua absorbida, para realizar una mezcla con concreto de peso normal, se puede ajustar fácilmente.

En comparación, la alta absorción de agua es una característica intrínseca de los agregados livianos. La mayoría de los agregados livianos puede absorber de un 5% a 15% de agua por peso de material seco, valor que aumenta a un 20% para áridos con densidades por debajo de 600 kg/m^3 , valor de absorción en el que hay concordancia, que se debe limitar como máximo del árido liviano.

En general, la alta absorción de los agregados livianos indica que éstos toman una parte importante del agua de mezcla; por lo, que la literatura recomienda que los agregados deben utilizarse pre humedecidos pero no saturados, ya que la uniformidad del concreto depende de una parte importante de la uniformidad del contenido de humedad de los agregados.

Así mismo, se recomienda que el humedecimiento previo debe realizarse varias horas antes del mezclado, para dar tiempo a que la absorción tenga lugar; por lo general se recomiendan 24 horas antes.

2.2.3.4 Forma y tamaño de la partícula

La forma, textura superficial y el tamaño de los agregados livianos puede influir en el costo, la trabajabilidad, el acabado, y la densidad del concreto. Muchos agregados livianos

expandidos son angulares y tienen superficies irregulares. El tamaño máximo del agregado grueso raramente excede los 2 cm.

Los agregados con estas características requieren un porcentaje mayor de finos para proveer el mortero adicional para una trabajabilidad adecuada. Este aumento de finos puede ser menor cuando se usan agregados “preformados”.

2.2.3.5 Aislamiento térmico y acústico

El aire en reposo es el mejor aislante que se conoce. La fina estructura reticular de la arcilla expandida conforma multitud de cámaras microscópicas de aire que confieren a la arcilla su capacidad aislante, con conductividades térmicas de hasta 0.073 Kcal/h.m.°C.

La arcilla expandida es un magnífico aislante acústico, sobre todo ante ruidos de impacto que se propagan por vibraciones de baja frecuencia.

La estructura porosa del material amortigua las vibraciones, disipando la energía acústica.

2.2.3.6 Resistencia al fuego

La arcilla expandida es un material cerámico y refractario. Tiene un punto de fusión superior a los 1200°C y, además, la ausencia de materia orgánica en su composición (ya que está se volatiliza durante el proceso de fabricación) anula la emisión de gases tóxicos a altas temperaturas. La arcilla expandida es un material completamente inerte, completamente estable a los ataques químicos, y resistente a las heladas.

2.2.3.7 Factor de gravedad específica

La gravedad específica bruta para los agregados livianos es generalmente entre 1.0 y 2.4. La gravedad específica bruta para cualquier agregado aumentará usualmente si el tamaño máximo de las partículas disminuye.

2.2.3.8 Reacción Álcali-Agregado

Esta es una reacción que se produce entre los álcalis presentes en la fase intersticial del concreto (procedentes no sólo del cemento, sino del agua o de los áridos también) y determinadas variedades de áridos que contengan sílice amorfa como pueden ser los minerales opalinos, ciertas rocas volcánicas con un alto contenido de sílice (andesitas o riolitas), algunas pizarras y filitas con elevado contenido en hidrómicas y zeolitas del tipo heulandita.

El producto de estas reacciones es un gel que absorbe agua, alcanzando un volumen muy superior al de sus materias primas.

Esta expansión produce tensiones internas en el hormigón que pueden llegar a disgregarlo. Para que se produzca la reacción deben presentarse las siguientes condiciones:

Exceso de humedad.

Alto contenido alcalino del cemento.

Un contenido crítico de silicatos en el agregado.

La mejor impermeabilidad de los concretos livianos reduce el riesgo de humedad.

Por otra parte, la arcilla expandida es un árido completamente inerte y carece de silicatos en su composición.

El concreto de peso normal se hace usando agregados de piedra naturales, los cuales pueden ser sensitivos al álcali, ocasionando que el concreto se pueda deteriorar debido a la reacción álcali-agregado.

En el caso de los concretos con agregados livianos, los cuales se hacen con áridos de distinta clase, se ha encontrado que agregados artificiales como las arcillas térmicamente expandidas, no son sensitivas al álcali del cemento.

2.2.4 Proceso de fabricación de la arcilla expandida (Arlita – Leca)

Los agregados livianos a base de arcilla, se pueden explotar en canteras de arcillas por medio de equipos mecánicos tales como excavadoras, retroexcavadoras, o en caso de ser necesario, el arranque se realiza con explosivos.

Con respecto a las arcillas expandidas térmicamente (AET), las actividades de calcinación y expansión de este material, son mayoritariamente realizadas en hornos rotatorios a temperaturas de 1100 a 1300°C.

Estos hornos son bien conocidos en la industria cementera y son los equipos más adecuados para este procedimiento por calor.

La expansión depende del proceso de quema, de tal manera que las densidades de las AET variaran produciendo unas arcillas expandidas más ligeras unas que otras.

Figura 2.3 Proceso de fabricación de la arcilla expandida

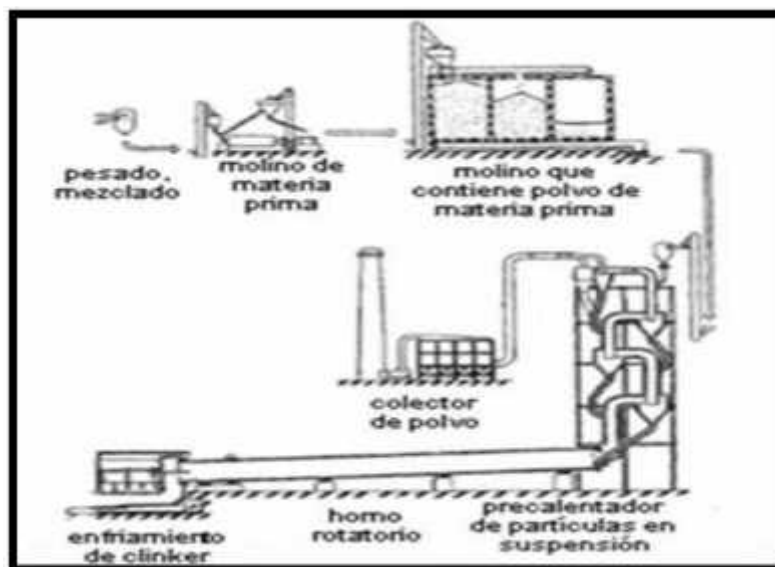


Fuente: Elaboración propia

2.2.4.1 Horno rotatorio

El tipo de horno utilizado para fabricar las AET es similar al empleado en la industria cementera. Este consiste de un cilindro largo alineado con ladrillos refractarios y con capacidad de rotar alrededor de su eje longitudinal, el cual está inclinado a un ángulo de 5° con respecto a la horizontal. La longitud del horno depende de la composición del material grueso a ser procesado y es usualmente entre 30 y 60 metros.

Figura 2.4 Horno rotatorio para producir arcilla expandida



Fuente: Elaboración propia

El material preparado es depositado dentro del horno, mientras el quemado toma lugar en la parte más baja final. Como el material se mueve a la zona de calor, la temperatura de las partículas gradualmente se incrementa y la expansión toma lugar. El material es luego descargado en un enfriador rotatorio, donde el agregado es enfriado por la entrada de aire frío.

De acuerdo al tipo de horno rotatorio utilizado, se pueden identificar los siguientes procedimientos:

2.2.4.2 Proceso seco

Este proceso es muy conocido por las fábricas de cemento. La arcilla inicialmente tiene un 20 % de humedad y posteriormente se seca hasta alcanzar un nivel entre un 7 y 10 %; posteriormente se realiza una pulverización del material, se precalienta, se granula por tamizado y se envía a un horno rotatorio donde el choque térmico provoca la expansión y la vitrificación de la superficie de las esferas; al final el material pasa por un tambor de enfriamiento. El material esféricamente formado se denomina “pellet”, cuyos tamaños dependen de que tan finamente se haya molido la arcilla, es decir del tamaño de los gránulos, y del grado de homogenización del producto.

2.2.4.3 Proceso semi-húmedo

Este procedimiento consiste en que la materia prima, a la cual se le adicionan agentes que favorecen la expansión o agentes reguladores para obtener homogenización de tal manera que ésta pasa inicialmente por una “criba” con perforaciones circulares, que resultan en cilindros que son cortados automáticamente en forma de “pequeños corchos” por la rotación de hilos de acero a alta velocidad.

Estos trozos de arcilla son cortados con una longitud de 10 a 12 mm de largo. El material moldeado se lleva previamente a un canal de secado o a un tambor secador.

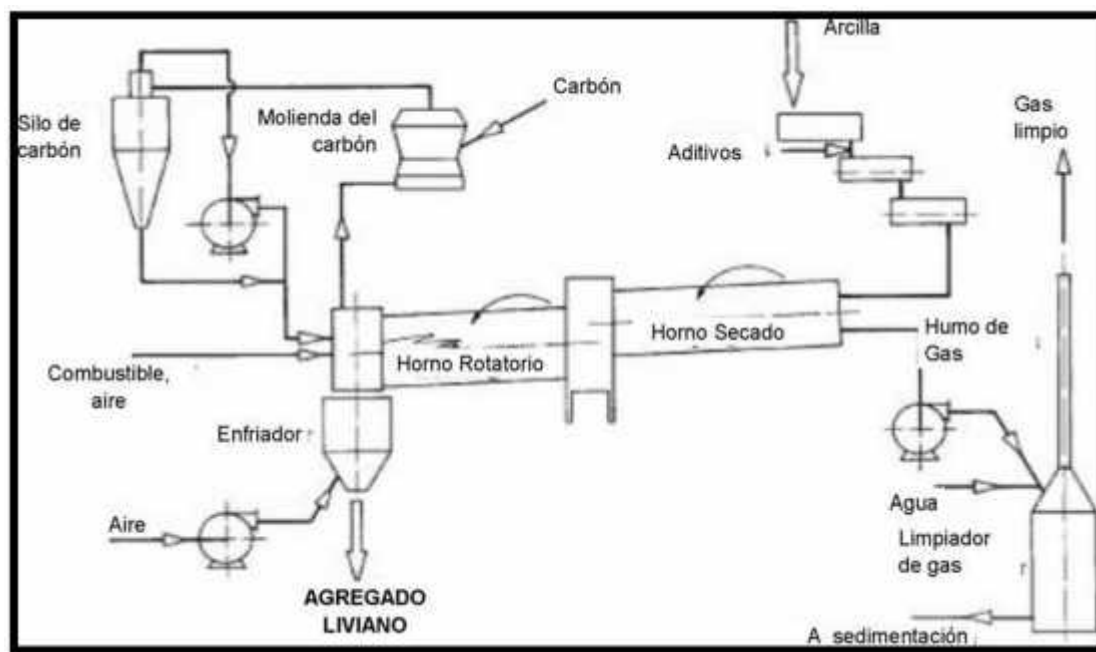
El hecho de que se pueda controlar el tamaño de los agregados de arcilla por medio del corte de las tiras, ha ocasionado que este método sea cada día más utilizado.

2.2.4.4 Proceso húmedo

Este proceso es el más usado en el mundo para la fabricación de Arcillas Expandidas térmicamente (AET). Los agregados livianos de arcilla expandida se producen en un

horno rotatorio de quema, donde previamente se introduce la arcilla con una humedad aproximada de un 25 % en forma de finas láminas en un horno de secado, con el fin de formar los gránulos de arcilla, evaporar el contenido de agua y precalentar el material antes de pasar al horno de quema.

Figura 2.5 Proceso húmedo para producir arcilla expandida



Fuente: Elaboración propia

Las AET son hechas de una mezcla de arcilla y agua que conforma una pasta, la cual es depositada en el horno rotatorio, donde se convierte en “pellets” de varios tamaños y formas, donde son sinterizados a un material vitrificado.

En Suecia, las AET se fabrican bajo el nombre de Leca, donde las arcillas son hechas de partículas finas pobres en limos, y se produce en todo el país por la compañía AB Svensk Leca TM. Las arcillas secan y expanden en hornos rotatorios a altas temperaturas, comprendidas entre 1100-1200°C, cuando pasan a través de la zona de quemado.

El producto final es una arcilla expandida sellada exteriormente y en su parte interior presenta hoyos de diferentes tamaños donde en la mayoría de los casos se encuentran interconectado.

2.2.5 Adherencia entre pasta y agregado

La adherencia entre la pasta de cemento y los agregados tiene un importante rol en el comportamiento mecánico y la durabilidad del concreto.

La arcilla expandida (Arlita – Leca) es un material inerte e incombustible. El aislamiento térmico y acústico de este material, que a la vez permite el paso del vapor de agua, se consigue al someter arcillas seleccionadas a un proceso de cocción a 1.200 °C en grandes hornos rotatorios. Mediante este tratamiento, la arcilla se transforma en gránulos esféricos porosos y ligeros, con una superficie exterior muy resistente y un interior formado por innumerables burbujas que contienen aire estancado. Por tanto, el hormigón ligero se basa en la sustitución de áridos pesados por arcilla expandida para conseguir una menor densidad a igualdad de resistencia. Se consigue, de este modo, una reducción de hasta un 40% en peso y una excelente resistencia a compresión. Su ligereza, su uniformidad y su poder aislante, hacen posible su utilización tanto en estructuras in situ como prefabricadas, permitiendo resolver problemas de grandes luces, transporte, elevación y otros, a la vez que aporta un considerable ahorro de armaduras. Debido a la superficie rugosa y en parte porosa de la arcilla expandida la adherencia del cemento a los granos del árido es mayor en el hormigón ligero, aumentando así la resistencia a tracción, a igualdad de resistencia a compresión. En cuanto a la puesta en obra, se pueden emplear todos los medios utilizados para el hormigón tradicional, teniendo en cuenta pequeños detalles, como la altura de caída y el vibrado.

2.3 ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

2.3.1 Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Tabla 2.3 Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
75	(3")
63	(2 1/2")
50	(2")
37.5	(1 1/2")
25	(1")
19	(3/4")
12.5	(1/2")
9.5	(3/8")
6.3	(1/4")
4.75	(N° 4)
2.5	(N° 8)
2	(N° 10)
1.18	(N° 16)
0.6	(N° 30)
0.3	(N° 50)
0.15	(N° 100)
0.075	(N° 200)

Fuente: Manual de carreteras ABC

2.3.2 Peso específico y absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85, AASHTO T84)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos.

Es aplicable a los áridos gruesos y finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, se emplean en la elaboración de hormigones y mezclas asfálticas.

2.3.3 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de los Ángeles.

2.3.4 Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 AASHTO T104-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y, mezclas asfálticas.

2.3.5 Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso de material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

2.3.6 Especificaciones que deben cumplir los agregados

2.3.6.1 Agregado grueso

Este material debe consistir en grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.4 Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Granulometría	ASTM C 33	--
2	Abrasión de los Ángeles	AASHTO T 96	40 % máx.
3	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12 % máx.
4	Caras fracturadas	ASTM D 5821	75 % min.

Fuente: Manual de carreteras ABC

La graduación del agregado grueso será conforme a la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Graduación del agregado grueso de acuerdo a (ASTM C 33) Porcentajes que pasan por tamices que tienen aberturas cuadradas

Tamaño nominal	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4" 100 mm	3½" 90 mm	3" 75 mm	2½" 63 mm	2" 50 mm	1½" 37.5 mm	1" 25.0 mm	¾" 19.0 mm	½" 12.5 mm	¾" 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
5/8" a 1½"	100	90-100	-	25-80	-	0-15	-	3-5	-	-	-	-	-
2½" a 1½"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	3-5	-	-	-	-	-
2" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
1½" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
1" a ¾"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-65	10-40	0-15	0-5	-	-
1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-50	-	0-10	0-5	-
¾" a No. 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
1½" a ¾"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
1" a ¾"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
¾" a ¾"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
1½" a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
¾" a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	95-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: Guía de laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S

2.3.6.2 Agregado fino

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra chancada tamizada, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante debe satisfacer la granulometría requerida según ASTM C 33 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.6 Especificaciones que debe cumplir el agregado fino.

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Granulometría	ASTM C 33	-
2	Índice de durabilidad (fino)	AASHTO T 210	35 % min
3	Equivalente de arena	AASHTO T 176	45 % min
4	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	15 % máx.

Fuente: Manual de carreteras ABC

La graduación del agregado fino será conforme a la siguiente graduación.

Tabla 2.7 Graduación del agregado fino de acuerdo a ASTM C33.

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
0.60 mm (N° 30)	25 a 60
0.30 mm (N° 50)	10 a 30
0.15 mm (N° 100)	2 a 10

Fuente: Guía de laboratorio de tecnología del hormigones U. A. J. M. S.

2.4 ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO PORTLAND

2.4.1 Finura del cemento método por tamizado

El objetivo de este método es la determinación de la finura del cemento por medio del tamiz de malla N°40 y N°200.

La finura del cemento por este método se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$F = (Pr / 50) * 100$$

2.4.2 Peso específico del cemento hidráulico (ASTM C188 – AASHTO T133)

Este método tiene por objetivo establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

2.5 PAVIMENTOS RÍGIDOS

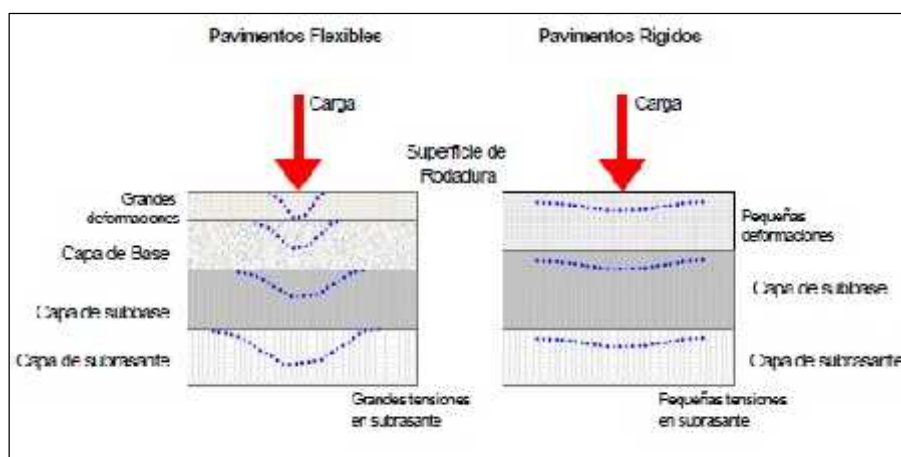
Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno de la explanada.

A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo, es transmitido hacia las capas inferiores.

Se compone de losas de concreto que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años, el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas.

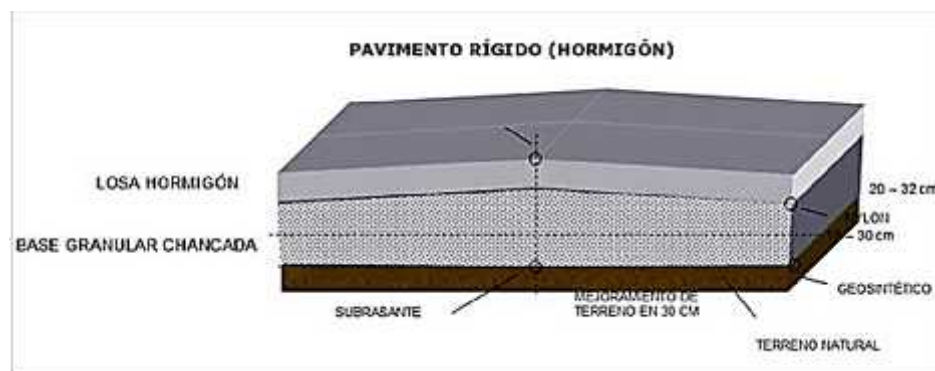
Figura 2.6 Diagrama de esfuerzos



Fuente: Reglamento interno de carreteras de Buenos Aires

Los pavimentos rígidos tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaran sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto.

Figura 2.7 Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido.



Fuente: Artículo "Un grandioso paradigma carretero" de Ing. Juan Fernando González universidad Católica de Chile.

Por lo general, el pavimento consta de dos capas que son la capa base que muchas veces puede ser también la capa sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto.

Como se ve en la figura 2.7 el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las caras sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa.

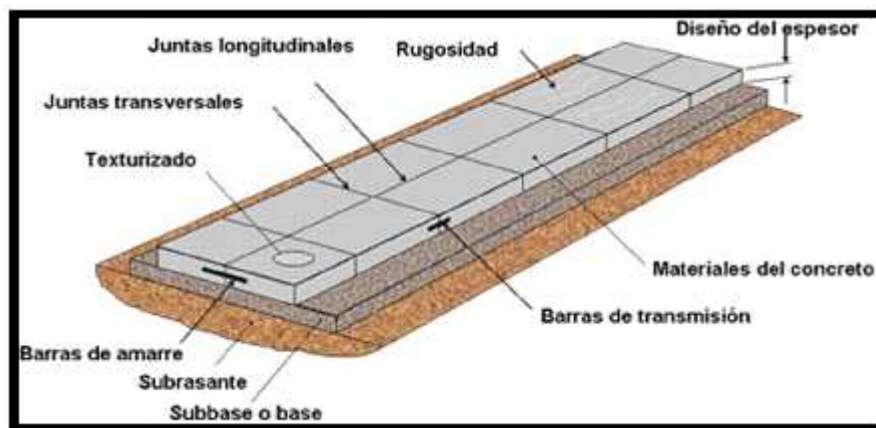
Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- Velocidad en su construcción.
- Mayor vida útil con alto índice de servicio
- Mantenimiento mínimo.
- No se deforma ni deteriora con el tiempo
- Requiere menor estructura de soporte

Para la elaboración de un pavimento de concreto es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento.

2.5.1 Estructura del pavimento rígido

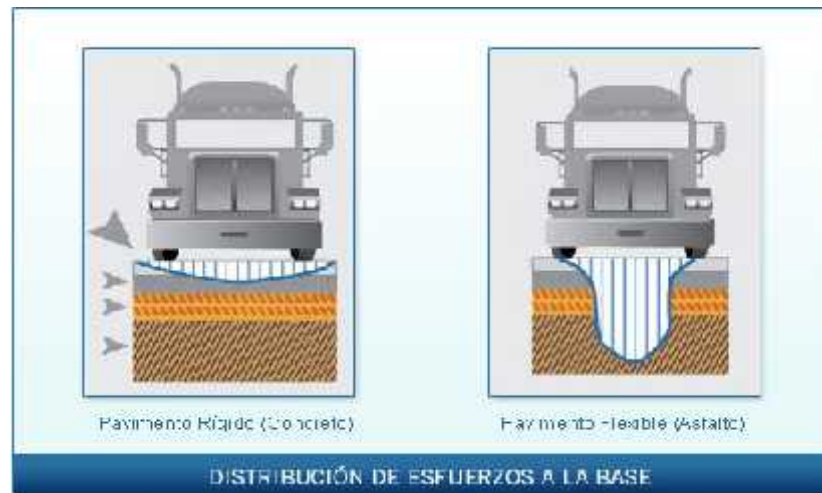
Figura 2.8 Estructura del pavimento rígido



Fuente: pavimentosurbanos.icpa.org.ar.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce, una buena distribución de cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Figura 2.9 Pavimento rígido sometido a carga



Fuente: Esfuerzos y deformaciones en pavimentos por: Ing. Augusto García

2.5.2 Elementos que integran un pavimento rígido

2.5.2.1 Sub – rasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante.

2.5.2.2 Sub – base

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de la sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base.

La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar del agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

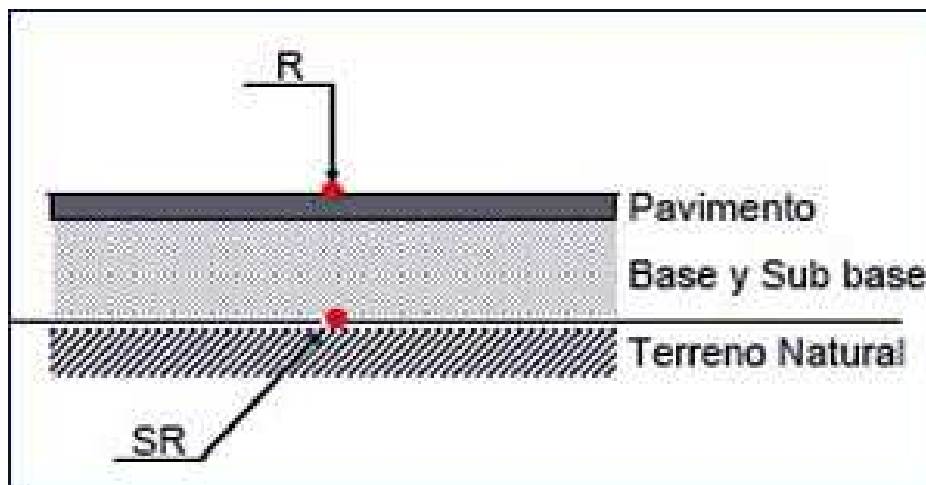
Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si este no dispone de una sub-rasante o sub-base adecuada.

2.5.2.3 Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la sub-rasante, dado que no usan capa base.

En general, se puede indicar que el concreto distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Figura 2.10 Esquema de un pavimento de concreto hidráulico



Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html

2.5.3 Tipos de pavimento rígido

Esta clasificación está hecha en base a las características que presenta la losa de concreto.

Pavimentos de concreto simple

Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas

Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

Pavimentos de concreto pre-esforzado.

A continuación se presentan las características de cada pavimento.

2.5.3.1 Pavimento de concreto simple

La característica de este tipo de pavimento es que su resistencia depende en forma exclusiva de la resistencia del concreto simple.

Figura 2.11 Pavimento rígido simple



Fuente: http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Urbanizacion_interior_de_la_parcela/Pavimentos_exteriores/Continuos_de_concreto/UXC010_Pavimento_continuo_de_concreto_impr.html

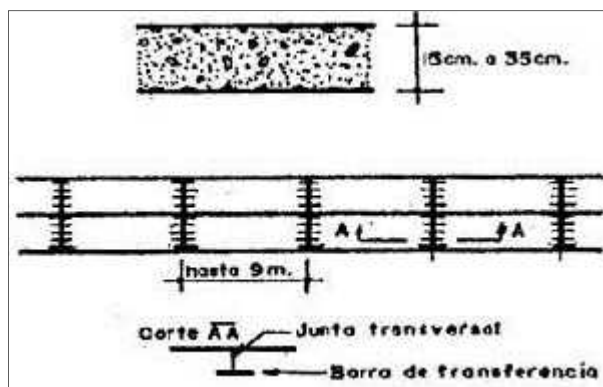
2.5.3.2 Pavimento de concreto simple con refuerzo en las juntas

En los pavimentos de concreto las juntas son consideradas las zonas críticas, por lo cual dichas entrelazan entre sí por medio de un refuerzo.

Cuando la losa está sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas.

La ventaja que ofrece el esfuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada.

Figura 2.12 Pavimento rígido con refuerzo en las juntas



Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

2.5.3.3 Pavimento de concreto con refuerzo continuo

En este tipo de pavimento el refuerzo asume todas las deformaciones y específicamente las de temperatura, por lo cual se eliminan las juntas de contracción, quedando únicamente las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

La figuración es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento del pavimento.

Esta técnica se ha extendido con éxito desde 1960 en los Estados Unidos y si bien exige una apropiada tecnología constructiva, no requiere de mayor conservación, manifestando poca sensibilidad a las fallas de la base.

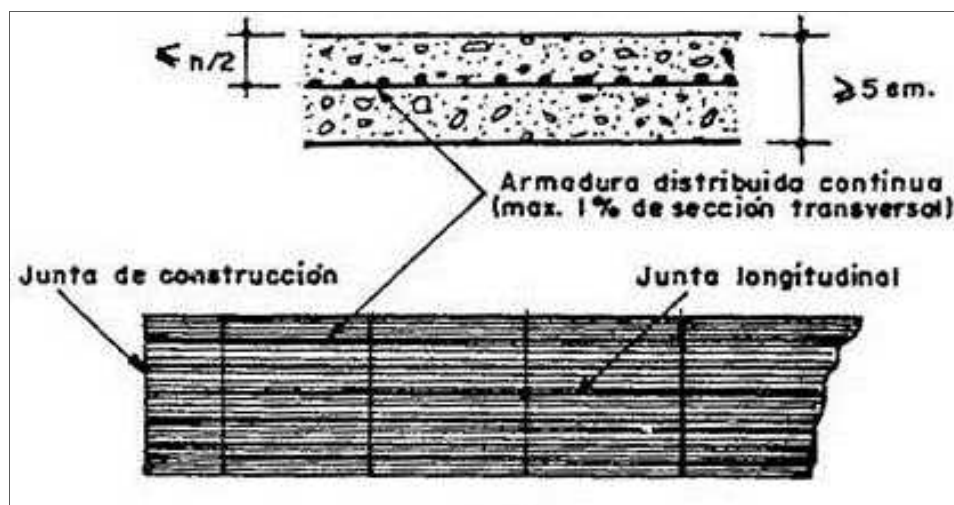
La cantidad máxima de acero es 1.5% de la sección transversal.

Se utiliza generalmente en zonas de clima frío.

También en los recubrimientos sobre pavimentos deteriorados de concreto y asfalto.

El espesor de este tipo de pavimento tiene un cálculo especial, que se especifica en las normas AASHTO y PCA.

Figura 2.13 Pavimento rígido con esfuerzo continuo



Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

2.5.3.4 Pavimento de concreto pre – esforzado

La particularidad de este pavimento, está en que a la losa de concreto se le puede aumentar su capacidad estructural, mediante la aplicación de pre-esfuerzo.

Con esto se logra una reducción del espesor de la losa en forma notable y además las juntas van un poco más alejadas.

Figura 2.14 Pavimento rígido pre-esforzado



Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

2.5.4 Propiedades y características del pavimento rígido

2.5.4.1 Propiedades del pavimento rígido

El concreto que se empleará en este tipo de pavimentos deberá ser durable y resistente y perdurable a las cargas y al desgaste.

Es necesario tomar en cuenta cada una de estas propiedades cuando se haga el diseño de la mezcla. Por fortuna estas propiedades están ligadas directamente entre sí, es decir, si un concreto es fuerte es lógico suponer que sea durable y resistente al desgaste.

Son tres las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

- Resistencia a la tensión por flexión o módulo de rotura (MR)

- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

- Durabilidad.

2.5.4.1.1 Resistencia a la tensión por flexión o módulo de rotura (MR)

Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a flexión por tensión ($S'c$) normalmente especificada a los 28 días.

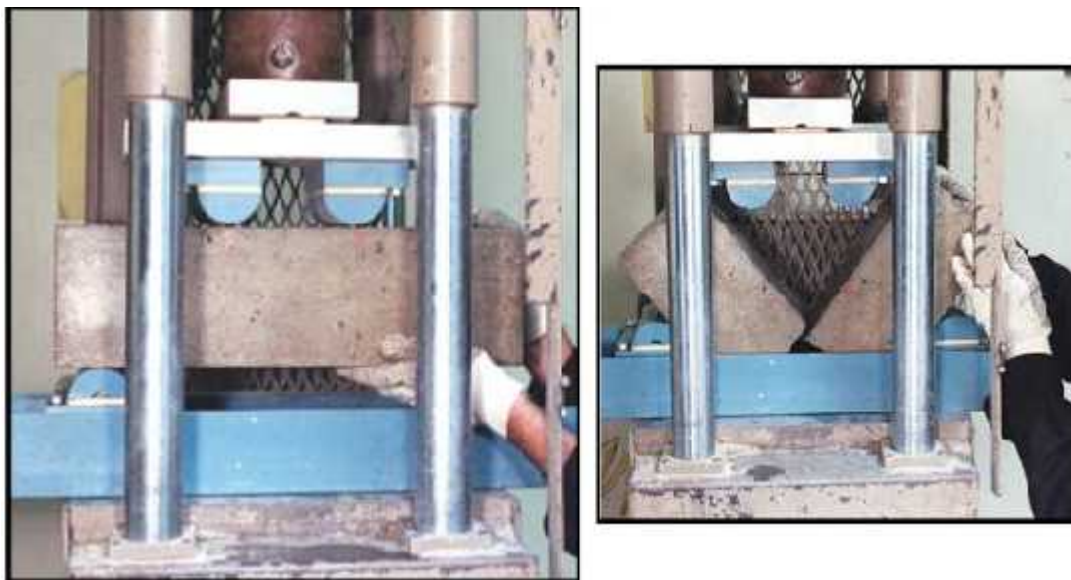
El módulo de rotura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo.

Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aproximadamente 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASTHO para el diseño.

Los valores recomendados para el módulo de rotura varían desde los 37 kg/cm^2 hasta los 48 kg/cm^2 a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener.

En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo con algún criterio.

Figura 2.15 Medida del módulo de rotura ASTM C78



Fuente: <https://civilgeeks.com>

De la resistencia promedio a la flexión del concreto (módulo de rotura), la ACI especifica que este no debe ser menor de 45 kg/cm^2 a los 28 días de edad.

Tabla 2.8 Recomendaciones para módulos de rotura

Tipo de pavimento	Flexión recomendada	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48	682.7
Carreteras	48	682.7
Zonas industriales	45	640.1
Urbanas principales	45	640.1
Urbanas secundarias	42	597.4

Fuente: Manual de construcción Cemex

Pero si las características previamente conocidas de los cementos y agregados disponibles, indican que es difícil obtener esta resistencia económicamente, puede especificarse una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm² siempre y cuando el peralte de la losa se diseñe de acuerdo con la resistencia.

2.5.4.1.2 Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

Está íntimamente relacionado con su módulo de rotura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el módulo de elasticidad a partir del módulo de rotura.

Los dos más utilizados son:

$$E_c = 7.75 * MR$$

$$E_c = 26.454 * MR^{0.77}$$

Estas fórmulas se aplican con unidades inglesas.

2.5.4.1.3 Durabilidad

En lugares donde el concreto esté sujeto a condiciones severas de congelamiento y deshielos, deberá usarse concreto con aire incluido, y la proporción será tal que el agua de mezclado incluyendo el agua libre en los agregados, pero sin considerar el agua absorbida por estos, no debe exceder de 0.53 lts/kg de cemento.

En ningún caso el agua de mezclado excederá de 0.58 lts/kg de cemento en una revoltura, el contenido de cemento no será menor de 280 kg/m³ de concreto.

2.5.4.2 Características del pavimento rígido

Son muchas las características del pavimento rígido, donde algunas de ellas se hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general son dos las propiedades principales de mayor envergadura.

La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, ductilidad, trabajabilidad, asentamientos, entre otros. La segunda es el grado de endurecimiento o resistencia capaz de adquirir el concreto.

2.5.4.2.1 Fluidez

La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina mediante ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre las probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el conocedor puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como la flexión, corte o tracción.

Las características que se pueden observar en un pavimento de concreto se deben principalmente a la estructura y propiedades de este material, se mencionan a continuación alguna de esas características:

2.5.4.2.2 Alta resistencia

El pavimento de concreto posee una alta resistencia a la flexión y compresión; éstas dependen principalmente del material (cemento) en combinación con los agregados pétreos que la conforman. Aquella, simplemente no puede ser alcanzada por un asfalto debido a las características de sus materiales.

2.5.4.2.3 Rigidez

La rigidez o inflexibilidad está en función a la resistencia del concreto en forma de losas y del módulo de elasticidad del concreto (E).

Esta característica de las losas, es la que da precisamente el nombre al tipo de pavimento, ya que, como se menciona más adelante, es la encargada de resistir la mayoría de los

esfuerzos y deformaciones que se producen por efecto del tránsito y transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo, es decir a la sub-base, la sub-rasante y las terracerías.

2.5.4.2.4 Estabilidad de la superficie de rodamiento

Resulta fuera de duda que la característica más importante de un pavimento rígido, desde el punto de vista del usuario, es la calidad de la superficie de rodamiento, ya que, si se siguen las técnicas de construcción adecuadas y las normas técnicas, que para el caso se sugieren, proporcionará una superficie plana, de mayor estabilidad y seguridad en el manejo. Las superficies de un pavimento de concreto son altamente estables y seguras.

2.5.4.2.5 Color

Tal vez, esta característica sea despreciada por muchos proyectistas de pavimentos a la hora de hacer una elección por uno de asfalto o de concreto, pero se ha demostrado que el color natural que da el cemento Portland al concreto, hace que éste posea una alta refractancia a la luz; tal vez en algunas horas al día puede ser un poco molesto pero en la noche hace que el pavimento de concreto sea mucho más visible que el asfáltico, y esto representa un enorme ahorro en cuanto a iluminación.

2.6 DOSIFICACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Para el diseño de las mezclas de hormigón existen varios métodos para la dosificación; para el presente trabajo de investigación se utilizará el método A.C.I.

2.6.1 Descripción del método A.C.I para el diseño de mezclas de hormigón

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra.

Para la dosificación del hormigón con este método se debe seguir los siguientes pasos:

Selección del asentamiento.

Selección del tamaño máximo del agregado.

Estimación del contenido de agua de mezclado.

Determinación de la resistencia de diseño.

Selección de la relación agua-cemento.

Cálculo del contenido de cemento.

Estimación de las proporciones de los agregados.

2.6.1.1 Elección del asentamiento

Tabla 2.9 Valores de asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción

Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación				
Consistencia	Asentamiento mm.	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Guía de laboratorio U.A.J.M.S

2.6.1.2 Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos. La tabla 2.10 muestra los valores recomendados del TMN para los diferentes tipos de construcciones.

Tabla 2.10 Valores recomendados de TMN

Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 - 29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

2.6.1.3 Estimación de la cantidad de agua de mezclado

La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación. Las tablas 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 muestran el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el TMN.

Tabla 2.11 Requerimiento aproximado de agua de mezclado

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en hormigón sin aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 3/8"	12.70 1/2"	19.00 3/4"	25.40 1"	38.10 1 1/2"	50.80 2"	64.00 2 1/2"	76.10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

Tabla 2.12 Requerimiento aproximado de agua de mezclado

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en hormigón sin aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 3/8"	12.70 1/2"	19.00 3/4"	25.40 1"	38.10 1 1/2"	50.80 2"	64.00 2 1/2"	76.10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	15	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

Tabla 2.13 Requerimiento aproximado de agua de mezclado

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en hormigón con aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 3/8"	12.70 1/2"	19.00 3/4"	25.40 1"	38.10 1 1/2"	50.80 2"	64.00 2 1/2"	76.10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m³ de hormigón							
0	0	188	161	151	134	129	121	119	113
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134
175	7	213	194	181	167	161	150	146	139
200	8	219	201	196	174	167	156	152	144

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

Tabla 2.14 Requerimiento aproximado de agua de mezclado

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en hormigón con aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 3/8"	12.70 1/2"	19.00 3/4"	25.40 1"	38.10 1 1/2"	50.80 2"	64.00 2 1/2"	76.10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m³ de hormigón							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	177	169	158

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

2.6.1.4 Determinación de la resistencia de diseño

Para determinar la resistencia de diseño de la mezcla de concreto cuando no se tiene datos para realizar la desviación estándar se utiliza las siguientes fórmulas que recomienda la norma ACI.

Tabla 2.15 Resistencia de diseño

Resistencia de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar (a)	
Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70$ kg/cm ²
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100$ kg/cm ²

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

2.6.1.5 Estimación de la relación agua cemento (A/C)

Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para determinar esta relación se utiliza la tabla 4.5.

Tabla 2.16 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación A/C

Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos, portland tipo i, en hormigones sin aire incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.7	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

Tabla 2.17 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación A/C

Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos, portland tipo i, en hormigones con aire incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.65	0.58
175	-	0.59	0.52
210	0.65	0.54	0.49
245	0.61	0.50	0.46
280	0.55	0.44	0.41
315	0.51	0.41	0.39
350	0.46	0.37	0.36

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

2.6.1.6 Cálculo del contenido de cemento

Para el cálculo de cemento se utiliza la ecuación siguiente que vincula el agua y la relación agua/cemento (a/c), cuyos valores ya se han calculado anteriormente

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

El método A.C.I. es usado cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33, y éste consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto; para esto se hace uso de la tabla 4.8. que muestra el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Después se determina el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregados grueso, y se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta (MUC) y la densidad aparente de la grava (dg):

$$b_0 = \frac{M}{d}$$

Teniendo el valor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto y el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico, se determina el volumen total de agregado grueso que posee la mezcla para un metro cúbico. Esto se hace multiplicando los valores hallados en la tabla 2.18 y de la ecuación de volumen de partículas de los agregado gruesos:

$$B = \left(\frac{b}{b_0}\right) * b_0$$

Tabla 2.18 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Guía de laboratorio de hormigones U.A.J.M.S

Ya calculado el volumen de grava, cemento, agua y aire, queda faltando el volumen del agregado fino (arena); éste se calcula restando el volumen total de los ingredientes conocidos (grava, cemento, agua y aire) por el volumen requerido de arena.

2.7 ERROR QUE SE CONSIDERARÁ EN LA INVESTIGACIÓN

Para realizar el cálculo del error que se tomará en cuenta en el presente trabajo de investigación, se utilizará la estadística mediante la desviación estándar de los resultados de los ensayos realizados.

2.7.1.1 Estadística descriptiva

VARIABLES dependientes:

Y1 = Resistencia a la compresión

Y2 = Resistencia a la flexión

Analizar los datos por variable

Tabulación de datos

Medidas de tendencia

Media. Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Es decir es la suma de los valores divididos por el tamaño de la muestra, es muy sensible a los valores extremos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Mediana. Es un conjunto de datos ordenados de mayor a menor; la mediana corresponde al dato central, aquel que deja un 50% de la información abajo y el otro 50% es mayor. Es un valor que divide las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

$$Me = X_{\frac{n+1}{2}} \quad \text{si } n \text{ es impar}$$

$$Me = \left(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1} \right) * \frac{1}{2} \quad \text{si } n \text{ es par}$$

Moda.- Es el valor o los valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Medidas de dispersión

Desviación estándar.- Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para muestras}$$

\bar{X} = Se trata de la media seleccionada, se debe seleccionar la que tenga menor dispersión.

En este trabajo de investigación se trabajará con la media para todos los casos y con un nivel de significancia o riesgo de $\alpha = 5\%$ y una confiabilidad del 95%.

El error se determinará de la siguiente manera.

$$\bar{X} - \underbrace{Z_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}}}_{\text{Error}}$$

$$\bar{X} + \underbrace{Z_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}}}_{\text{Error}}$$

\bar{X} = Media

$Z_{\alpha/2}$ = Se lo obtiene por tablas

S = Desviación estándar

n = Número de ensayos

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 CRITERIOS A UTILIZARSE

3.1.1 Criterios de selección del agregado arcilla expandida (Arlita -Leca)

La arcilla expandida es un material desconocido en nuestro medio local y no se tiene conocimiento sobre su uso en obras civiles; por lo que no se encuentra a la venta en tiendas de materiales en nuestra ciudad.

En la presente investigación se utilizó arcilla expandida (Arlita - Leca) debido a que es el material más conocido y se puede encontrar en mayor cantidad y más económico, la adquisición de este material fue del exterior Buenos Aires Argentina lugar donde está ubicada su planta de producción.

Figura 3.1 Arcilla expandida (Arlita – Leca).

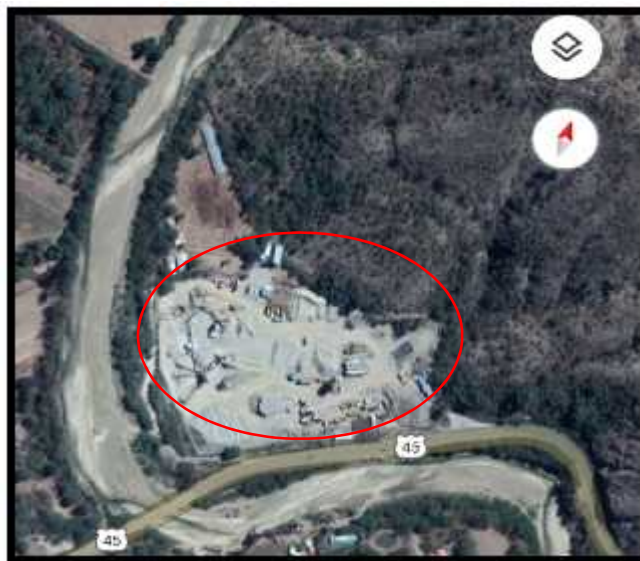


Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Criterios de selección de banco de materiales

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales ubicados en diferentes ríos de esta zona, los cuales proporcionan seguridad para el diseño que se realice. Para la presente investigación se utilizará los agregados de la chancadora de Charaja, la cual provee áridos a SEDECA la misma cuenta con una gran cantidad de áridos que cumple con las especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO.

Figura 3.2 Zona de muestreo chancadora de (Charaja).



Fuente: Elaboración propia.

La planta de acopio de agregados de la chancadora de Charaja se encuentra ubicada en el Km. 45, carretera a Uriondo - Chaguaya, en la comunidad de Charaja de la provincia Arce.

Figura 3.3 Agregado pétreo.



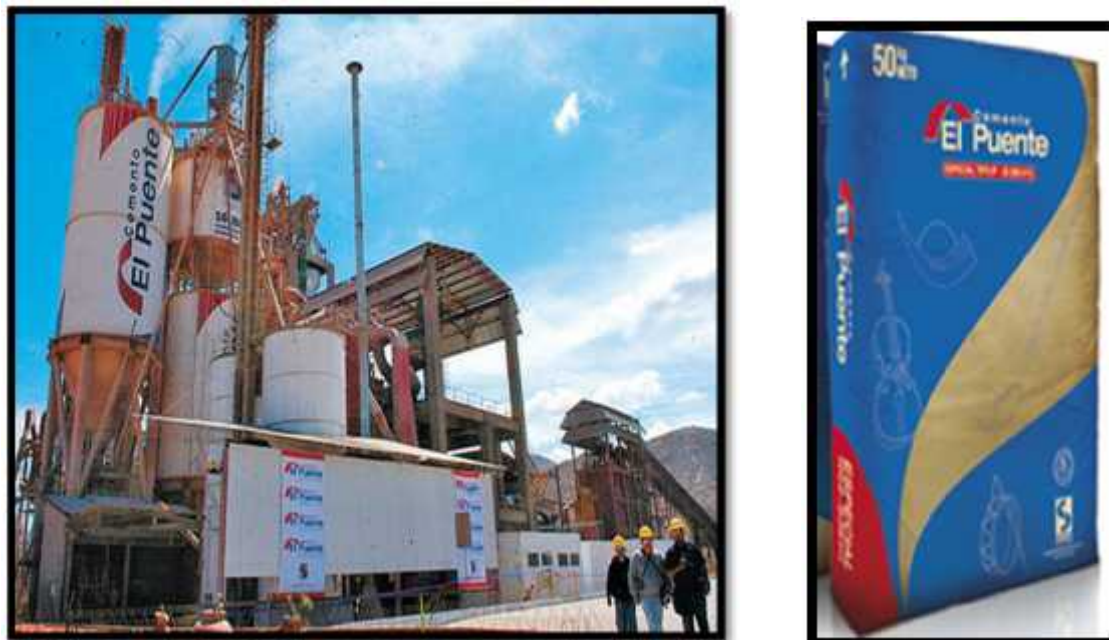
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Criterios de Selección del cemento hidráulico

El cemento hidráulico que se utilizará para realizar los ensayos será el que se usa comúnmente en nuestro medio (Cemento El Puente IP 30) el cual es un producto de

industria nacional y que cumple con las especificaciones de la NB y la ABC; la fábrica de dicho cemento se encuentra en el departamento de Tarija.

Figura 3.4 Fábrica de cemento el puente.



Fuente: Elaboración propia

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados pétreos, que se van a utilizar en la presente investigación, son provenientes de la planta chancadora de Charaja ubicada en la comunidad de Charaja y los agregados arcilla expandida (Arlita - Leca) son de Buenos Aires Argentina.

Los materiales empleados en los diseños de mezclas de concreto hidráulico deben cumplir ciertas especificaciones propuestas por las norma ABC la cual está basada en las normas ASTM y AASHTO para lo cual se realizarán los ensayos de caracterización que se detallan a continuación.

Todos los ensayos se realizarán de acuerdo al manual técnico para el diseño de carreteras propuesta por la ABC la misma que se basa en las normas ASTM y AASHTO.

3.2.1 Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136)

Figura 3.5 Agregado grueso



Fuente: *Elaboración propia*

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y fino de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente.

Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños; de tal manera que, se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregados en cada una de ellas.

En la práctica los pesos de cada tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentaje retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra.

Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de los valores de material (granulometría)

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con abertura de 2½, 2, 1½, 1, ¾, ½, 3/8 de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como N° 4, N°10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla No. 4 (esto es, con partículas mayores de 4.75 mm) se le conoce como agregado grueso.

Al material que pasa por la malla No. 4 pero queda retenido en la malla No 200 (partículas mayores que 0.075) se le conoce como agregado fino.

El material que pasa por la malla No. 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limos y arcillas.

3.2.1.1 Granulometría de agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)

A continuación, se muestran los resultados de la granulometría de los 3 ensayos realizados.

Tabla 3.1 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 1.

Peso total seco	3000,00 gr		2000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Arlita – Leca)		Gravilla (Arlita – Leca)		Arena (Arlita – Leca)	
N°	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	174,18	94,19	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	2995,80	0,14	1,60	99,92	0,00	100,00
N° 4	2995,80	0,14	1624,40	18,78	0,00	100,00
N° 8	2995,80	0,14	1997,60	0,12	142,63	71,47
N° 16	2995,80	0,14	1997,60	0,12	232,17	53,57
N° 30	2995,80	0,14	1997,60	0,12	290,13	41,97
N° 50	2995,80	0,14	1997,60	0,12	371,07	25,79
N° 100	2995,80	0,14	1997,60	0,12	411,57	17,69
N° 200	2995,80	0,14	1997,60	0,12	462,33	7,53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 2.

Peso total seco	3100,00 gr		2300,00 gr		540,00 gr	
Tamiz	Grava (Arlita – Leca)		Gravilla (Arlita – Leca)		Arena (Arlita – Leca)	
Nº	Peso Ret.	% Que pasa	peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	121,09	96,09	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	3097,21	0,09	2,99	99,87	0,00	100,00
Nº 4	3097,21	0,09	1824,36	20,68	0,00	100,00
Nº 8	3097,21	0,09	2298,39	0,07	154,31	71,42
Nº 16	3097,21	0,09	2298,39	0,07	240,48	55,47
Nº 30	3097,21	0,09	2298,39	0,07	314,42	41,77
Nº 50	3097,21	0,09	2298,39	0,07	390,49	27,69
Nº 100	3097,21	0,09	2298,39	0,07	445,57	17,49
Nº 200	3097,21	0,09	2298,39	0,07	489,06	9,43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 3.

Peso total seco	2800,00 gr		2000,00 gr		470,00 gr	
Tamiz	Grava (Arlita – Leca)		Gravilla (Arlita – Leca)		Arena (Arlita – Leca)	
Nº	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	114,97	95,89	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	2798,04	0,07	3,00	99,85	0,00	100,00
Nº 4	2798,04	0,07	1590,40	20,48	0,00	100,00
Nº 8	2798,04	0,07	1999,00	0,05	134,40	71,40
Nº 16	2798,04	0,07	1999,00	0,05	210,25	55,27
Nº 30	2798,04	0,07	1999,00	0,05	281,66	40,07
Nº 50	2798,04	0,07	1999,00	0,05	340,81	27,49
Nº 100	2798,04	0,07	1999,00	0,05	395,80	15,79
Nº 200	2798,04	0,07	1999,00	0,05	426,60	9,23

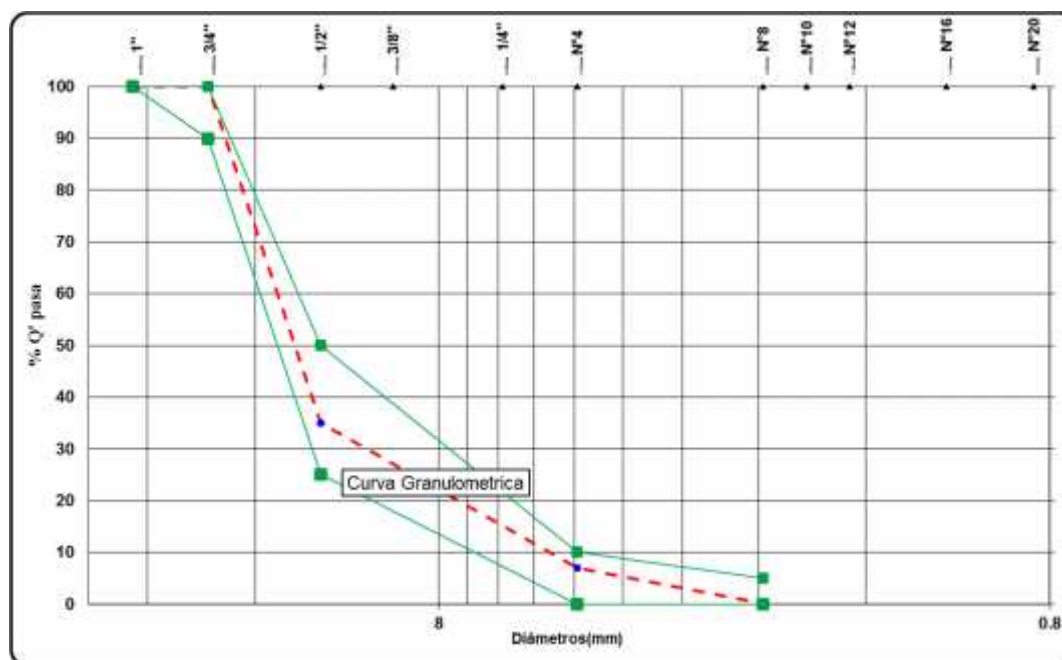
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Granulometría combinada del agregado grueso (Arlita - Leca)

Agregado		Grava 3/4" (Arlita - Leca)		Gravilla 3/8" (Arlita - Leca)		% Que pasa	Especificación ASTM	
% Usado		65%		35%			Lim. Inf.	Lim. Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.			
Pulg.	mm.							
1"	25.40	100.0	65.0	100.0	35.0	100.0	100	100
3/4"	19.10	100.0	65.0	100.0	35.0	100.0	90	100
1/2"	12.50	95.4	62.0	100.0	35.0	97.0		
3/8"	9.50	0.1	0.1	99.9	35.0	35.0	25	55
N° 4	4.75	0.1	0.1	20.0	7.0	7.1	0	10
N° 8	2.360	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0	5
N° 16	1.180	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1		
N° 30	0.600	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0	0
N° 50	0.300	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0	0
N° 100	0.150	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0	0
Base	-	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Curva granulométrica confeccionada del agregado grueso (Arlita - Leca)



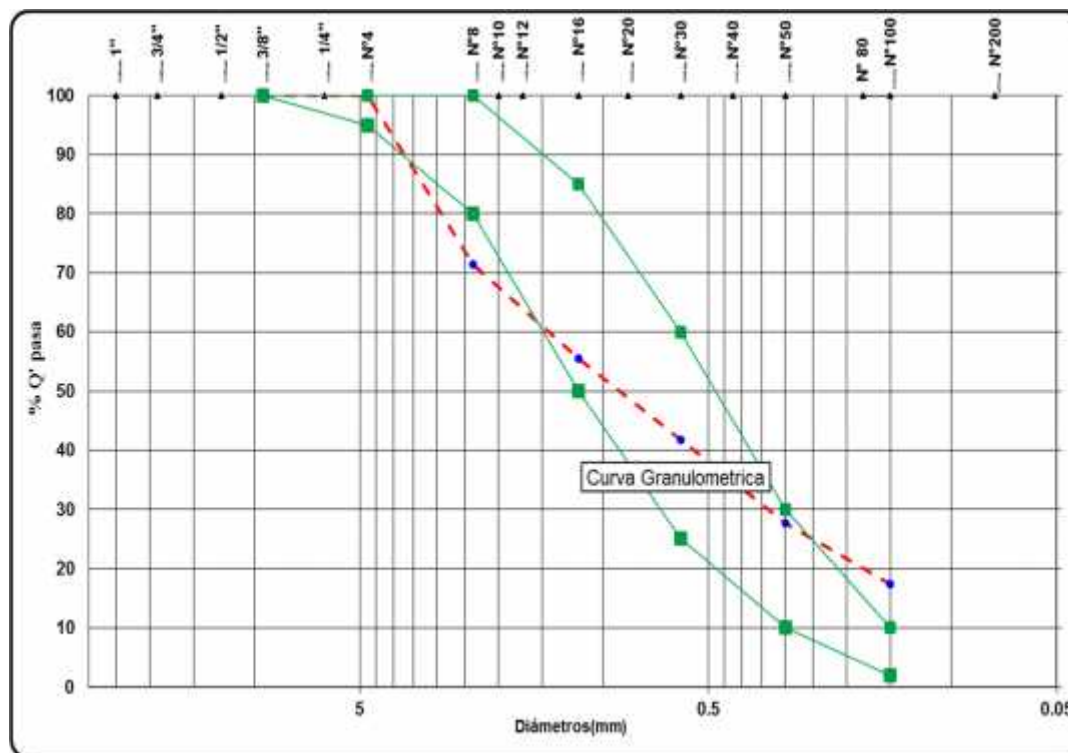
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Granulometría promedio del agregado fino (Arlita - Leca)

Peso Total (gr.) = 500						Especificación	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret	% que pasa del total	ASTM	
						Inf.	Sup.
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
N°8	2.36	154.31	154.31	28.58	71.42	80	100
N°16	1.18	86.17	240.48	44.53	55.47	50	85
N°30	0.60	73.94	314.42	58.23	41.77	25	60
N°50	0.30	80.52	390.49	72.31	27.69	10	30
N°100	0.15	70.50	445.57	82.51	17.49	2	10
Base	-	43.49	489.06	90.57	9.43	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Curva granulométrica del agregado fino (Arlita - Leca)



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Granulometría de agregados pétreos de la chancadora (Charaja)

Tabla 3.6 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 1.

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
N°	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
3/4"	355.00	92.90	0.00	100.00	0.00	100.00
1/2"	4055.00	11.80	0.00	100.00	0.00	100.00
3/8"	515.00	1.50	24.20	97.58	0.00	100.00
N° 4	60.00	0.30	204.90	77.09	1.90	99.62
N° 8	0.00	0.30	759.20	1.17	90.80	81.46
N° 16	0.00	0.30	0.00	1.17	117.30	58.00
N° 30	0.00	0.30	0.00	1.17	100.70	37.86
N° 50	0.00	0.30	0.00	1.17	90.60	19.74
N° 100	0.00	0.30	0.00	1.17	58.20	8.10
Base	15.00	0.00	11.70	0.00	40.30	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 2.

Peso Total Seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
N°	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
3/4"	300.00	94.00	0.00	100.00	0.00	100.00
1/2"	4065.00	12.70	0.00	100.00	0.00	100.00
3/8"	535.00	2.00	20.00	98.00	0.00	100.00
N° 4	85.00	0.30	790.00	19.00	1.60	99.68
N° 8	0.00	0.30	185.00	0.50	89.50	81.78
N° 16	0.00	0.30	0.00	0.50	115.20	58.74
N° 30	0.00	0.30	0.00	0.50	96.20	39.50
N° 50	0.00	0.30	0.00	0.50	89.80	21.54
N° 100	0.00	0.30	0.00	0.50	60.80	9.38
Base	15.00	0.00	5.00	0.00	46.90	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 3.

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
Tamiz	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
N°						
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
3/4"	323.00	93.54	0.00	100.00	0.00	100.00
1/2"	4063.00	12.28	0.00	100.00	0.00	100.00
3/8"	530.00	1.68	5.00	99.50	0.00	100.00
N° 4	74.00	0.20	666.40	32.86	3.10	99.38
N° 8	0.00	0.20	315.20	1.34	104.70	78.44
N° 16	0.00	0.20	0.00	1.34	121.90	54.06
N° 30	0.00	0.20	0.00	1.34	101.50	33.76
N° 50	0.00	0.20	0.00	1.34	86.00	16.56
N° 100	0.00	0.20	0.00	1.34	54.90	5.58
Base	10.00	0.00	13.40	0.00	27.50	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Granulometrías promedio de la grava, gravilla y arena (Charaja)

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
Tamiz	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa	Peso Ret.	% Que pasa
N°						
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
3/4"	326.00	93.48	0.00	100.00	0.00	100.00
1/2"	4061.00	12.26	0.00	100.00	0.00	100.00
3/8"	526.67	1.73	16.40	98.36	0.00	100.00
N° 4	73.00	0.27	553.77	42.98	2.20	99.56
N° 8	0.00	0.27	419.80	1.00	95.00	80.56
N° 16	0.00	0.27	0.00	1.00	118.13	56.93
N° 30	0.00	0.27	0.00	1.00	99.47	37.04
N° 50	0.00	0.27	0.00	1.00	88.80	19.28
N° 100	0.00	0.27	0.00	1.00	57.97	7.69
Base	13.33	0.00	10.03	0.00	38.23	0.04

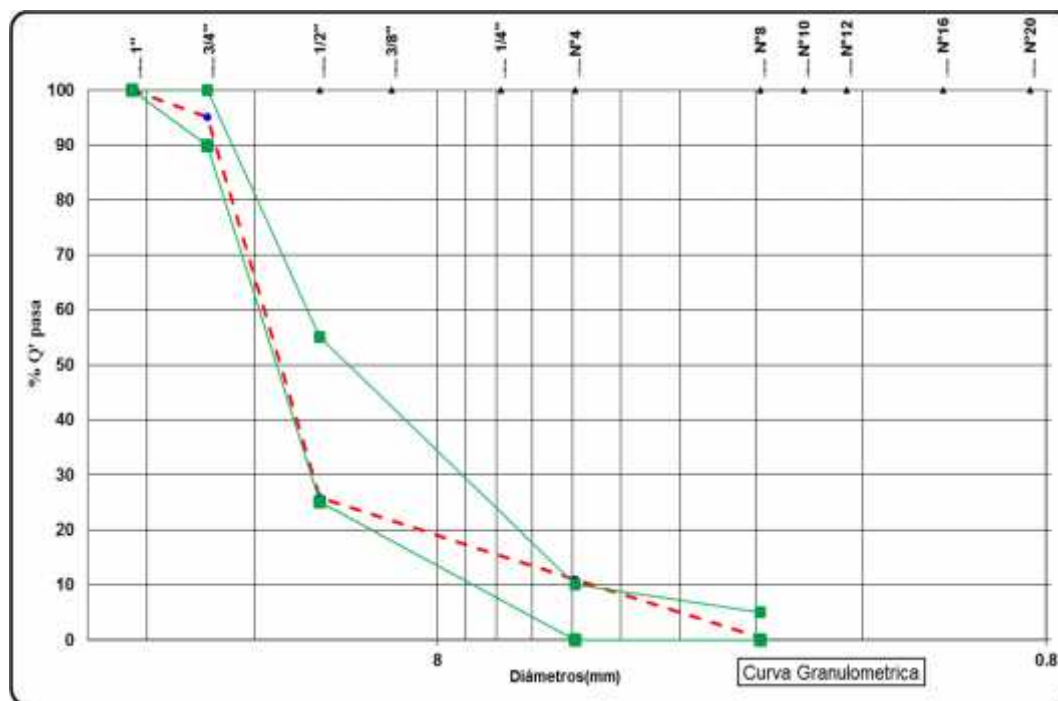
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Granulometría combinada del agregado grueso (Charaja)

Agregado		Grava 3/4" Charaja		Gravilla 3/8" Charaja		% Que pasa	Especificación ASTM	
% Usado		75%		25%			Lim. Inf.	Lim. Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.			
Pulg	mm.							
1"	25.40	100.0	75.0	100.0	25.0	100.0	100	100
3/4"	19.10	93.5	70.1	100.0	25.0	95.1	90	100
1/2"	12.50	12.3	9.2	100.0	25.0	34.2		
3/8"	9.50	1.7	1.3	98.4	24.6	25.9	25	55
Nº 4	4.75	0.3	0.2	43.0	10.7	10.9	0	10
Nº 8	2.360	0.3	0.2	1.0	0.3	0.5	0	5
Nº 16	1.180	0.3	0.2	1.0	0.3	0.5		
Nº 30	0.600	0.3	0.2	1.0	0.3	0.5	0	0
Nº 50	0.300	0.3	0.2	1.0	0.3	0.5	0	0
Nº 100	0.150	0.3	0.2	1.0	0.3	0.5	0	0
Base	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Curva granulométrica confeccionada del agregado grueso



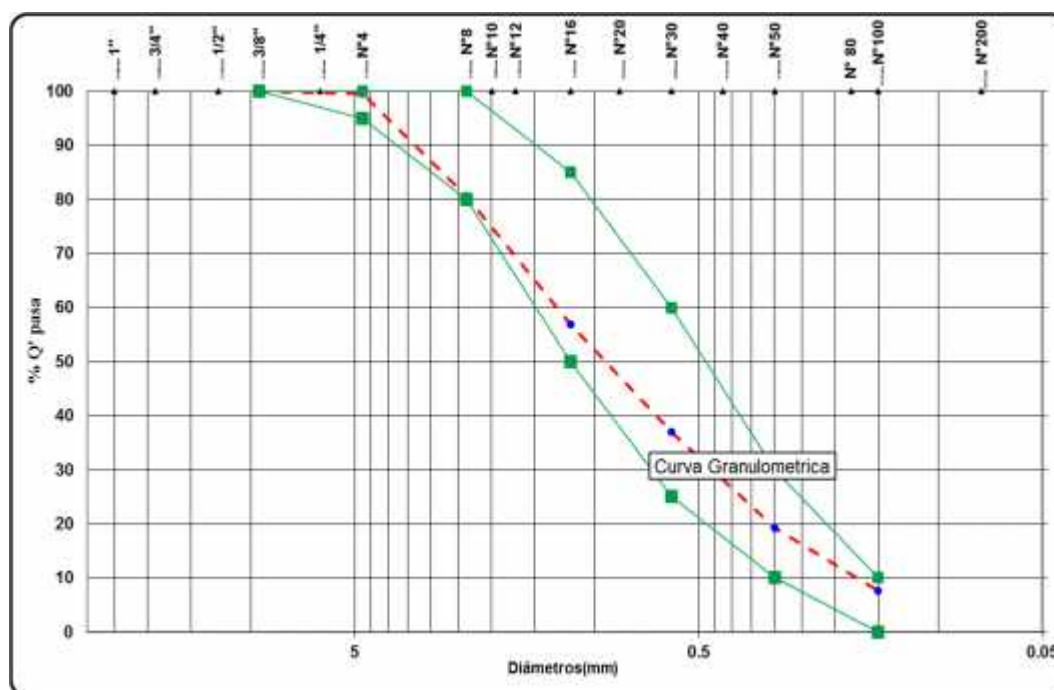
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Granulometría promedio de la arena (Charaja)

Peso total (gr.) = 500						Especificación ASTM	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret	% que pasa del total	Inf.	Sup.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	2.20	2.20	0.44	99.56	95	100
N°8	2.36	95.00	97.20	19.44	80.56	80	100
N°16	1.18	118.13	215.33	43.07	56.93	50	85
N°30	0.60	99.47	314.80	62.96	37.04	25	60
N°50	0.30	88.80	403.60	80.72	19.28	10	30
N°100	0.15	57.97	461.57	92.31	7.69	2	10
Base	-	38.23	499.80	99.96	0.04	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASTHO T-96) (ASTM C-131)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y de degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo, durante la vida de servicio del pavimento.

El ensayo de desgaste de los Ángeles, ASTM C-131 ó AASTHO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾”), por medio de la máquina de los Ángeles.

Los aparatos y procedimiento para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-96 y ASTM C-131.

Figura 3.10 Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Desgaste de agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)

Tabla 3.12 Datos y resultados del ensayo de desgaste gravilla 3/8" (Arlita - Leca).

Gradación C		
Carga abrasiva con 8 esferas a 32.5 rpm, revoluciones		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
1/8	1/4	2500,00
1/4	Nº4	2500,00
Retenido tamiz de corte nº 12 (1,7 mm)		4085,00
Diferencia		915,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{915 \text{ gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 18,30 \%$$

3.2.2.2 Desgaste de agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.13 Datos y resultados del ensayo de desgaste para la grava 3/4" (Charaja).

Gradación B		
Carga abrasiva con 11 esferas a 32.5 rpm, revoluciones		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4	1/2	2500,00
1/2	3/8	2500,00
Retenido tamiz de corte nº 12 (1,7 mm)		3975,90
Diferencia		1024,10

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1024,1}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 20,48 \%$$

Tabla 3.14 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8" (Charaja)

Gradación B		
Carga abrasiva con 11 esferas a 32.5 rpm, revoluciones		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
1/2	3/8	2500,00
3/8	N°4	2500,00
Retenido tamiz de corte n° 12 (1,7 mm)		3615,00
Diferencia		1385,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1385}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 27,70 \%$$

3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASTHO T-104) (ASTM C-88)

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfuro de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climatológicos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran ciclos de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales se precipitaban en los vacíos del agregado. En la re inmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada.

El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado. En el ensayo se utilizó el sulfato de sodio. Los aparatos y procedimiento para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-104 y ASTM C-88

Figura 3.11 Preparación de la muestra con la solución de sulfato de sodio.



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos a los agregados pétreos

Tabla 3.15 Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Charaja).

Granulometría				Peso materiales	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo (gr.)	Después Ensayo (gr.)
1"	1"	3/4"	100.0	303.7	295.3
3/4"	3/4"	1/2"	95.1	300.4	296.6
1/2"	1/2"	3/8"	34.2	300.7	296.2
3/8"	3/8"	N° 4	25.9	300.0	295.9
N° 4	N° 4	N° 8	10.9	300.0	297.1

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Cálculo para el tamizado 3/4"

Pérdida por diferencia = Peso antes ensayo - Peso después ensayo

Pérdida por diferencia = 8.4 gr.

%Pasa al tamiz = % Tamiz Pasa - %Tamiz Retenido

% Pasa al tamiz = 4.9 %

% de pérdida respecto al tamiz = $\frac{\text{pérdida por diferencia}}{\text{peso antes del ensayo}} * 100 \%$

% de pérdida respecto al tamiz = 2.77 %

% de p.r. a la muestra total = $\frac{\% \text{ de pérdida resp. al tamiz}}{100} * \frac{\% \text{ pasa al tamiz}}{100} * 100 \%$

% de pérdida respecto a la muestra total = 0.14 %

Para las demás muestras de cada tamiz se realizó la misma memoria de cálculo, se presenta a continuación la tabla de resultados.

Tabla 3.16 Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso (Charaja).

Tamiz N°	Pérdida por diferencia(gr.)	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
1"	8.40	4.89	2.77	0.14
3/4"	3.80	60.92	1.26	0.77
1/2"	4.50	8.31	1.50	0.12
3/8"	4.10	14.94	1.37	0.20
N° 4	2.90	10.95	0.00	0.00
Total % pérdida de peso				1.23

Fuente: Elaboración propia

%Total de pérdida (Grueso) = \sum % de pérdida respecto a la muestra total

%Total de pérdida (Grueso) = 1.23 %

3.2.3.2 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos a los agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)

Tabla 3.17 Datos y resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino (Arlita - Leca).

Granulometría				Peso material	
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo (gr.)	Después Ensayo (gr.)
1"	1"	3/4"			
3/4"	3/4"	1/2"	99,5	500,20	500,30
1/2"	1/2"	3/8"	89,0	300,00	300,02
3/8"	3/8"	N° 4	61,2	300,00	300,03
N° 4	N° 4	N° 8	43,8	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos, en este caso particular, la pérdida de peso es nula (0.00%) no observándose roturas; se hace notar, sin embargo, que el método no será aplicable a este tipo de agregados, ya que el sulfato de sodio cristaliza en el interior de los poros aumentando el peso de la muestra sin producir degradación física.

3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85) (ASTM C-127)

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico para la grava 3/4"

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100° - 110°C

Después se la sumerge en agua, se saca la muestra del agua y se secan las partículas redondas sobre un paño a continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturación con superficie seca (S.S.S.)

Posteriormente, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura de 25°C de temperatura ambiente.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-85 y ASTM C-127.

Figura 3.12 Proceso del peso sumergido.



Fuente: Elaboración propia

3.2.4.1 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.18 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (Charaja).

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
A (Peso en el aire de la muestra seca)	2478.80	2409.00	2475.70		
B (Peso en el aire muestra saturada-superficie seca)	2504.00	2433.00	2500.00		
Peso canastillo + muestra sumergida en agua	1564.00	1524.00	1585.00		
Peso canastillo sumergido en agua	0.00	0.00	0.00		
C (Peso sumergido en agua de la muestra saturada)	1564.00	1524.00	1585.00		
$D = B - C$	940.00	909.00	915.00		
$E = A - C$	914.80	885.00	890.70		
$F = B - A$	25.20	24.00	24.30		
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.71	2.72	2.78		2.74
Peso específico a granel (gr/cm ³)	2.64	2.65	2.71		2.66
Peso específico saturado y superficie seca (gr/cm ³)	2.66	2.68	2.73		2.69
(%) Porcentaje de absorción	1.02	1.00	0.98		1.00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B-c}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2.64 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100 \%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,02 \%$$

3.2.4.2 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados arcilla expandida (Arlita - Leca)

Tabla 3.19 Resultados de ensayo de peso específico de la grava 1/2" (Arlita - Leca).

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
A (Peso en el aire de la muestra seca (gr))	1773,00	1779,00	1785,00	
B (Peso de muestra saturada-superficie seca (gr))	2074,00	2080,00	2086,00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	602,00	608,00	614,00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0,00	0,00	0,00	
C (Peso sumergido de la muestra saturada (gr))	602,00	608,00	614,00	
D = B – C (gr)	1472,00	1472,00	1472,00	
E = A – C (gr)	1171,00	1171,00	1171,00	
F = B – A (gr)	301,00	301,00	301,00	
"DN" Densidad neta (gr/cm3)	1,51	1,52	1,52	1,52
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm3)	1,20	1,21	1,21	1,21
"DRT" Densidad real del arido S.S.S (gr/cm3)	1,41	1,41	1,42	1,41
Porcentaje de absorción (%)	0,17	0,17	0,17	16,92

Fuente: Elaboración propia.

El mismo procedimiento de cálculo detallado anteriormente se realiza para la gravilla de 3/8:

Tabla 3.20 Resultados de ensayo de peso específico gravilla 3/8” (Arlita - Leca).

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
A (Peso en el aire de la muestra seca (gr))	1698,9	1704,9	1710,9	Promedio
B (Peso de muestra saturada-superficie seca (gr))	1994	2000	2006	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	630,0	636	642	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0,00	0,00	0,00	
C (Peso sumergido de la muestra saturada (gr))	630,00	636,00	642,00	
D = B – C (gr)	1364,00	1364,00	1364,00	
E = A – C (gr)	1068,90	1068,90	1068,90	
F = B – A (gr)	295,10	295,10	295,10	
"DN" Densidad neta (gr/cm ³)	1,59	1,60	1,60	
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm ³)	1,25	1,25	1,25	1,25
"DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm ³)	1,46	1,47	1,47	1,47
Porcentaje de absorción (%)	0,17	0,17	0,17	17,31

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASTHO T-84) (ASTM C-128)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso del agua correspondiente a su volumen aparente; este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-84 y ASTM C-128.

Figura 3.13 Determinando el peso específico de la arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.1 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.21 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Charaja).

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Matraz	1	2	3	
Temperatura	18	18	18	
Peso de la muestra (gr.)	500.00	500.00	500.00	
Peso del matraz (gr.)	200.90	195.70	197.20	
Peso del matraz + agua + muestra(gr.)	1006.30	993.50	998.30	
W (Peso del agua agregado al matraz)	305.40	297.80	301.10	
A (Peso de la muestra secada al horno)	492.20	491.60	491.40	
V (Volumen del matraz)	500.00	500.00	500.00	
P. E. a Granel (gr/cm ³)	2.53	2.43	2.47	
P. E. Saturado con sup. seca (gr/cm ³)	2.57	2.47	2.51	2.52
P. E. Aparente (gr/cm ³)	2.63	2.54	2.58	2.58
(%) Porcentaje de absorción	1.58	1.71	1.75	1.68
				2.50

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V-W}$$

Peso específico a granel = 2.53 gr/cm³

$$\text{Peso específico saturado y sup. seca} = \frac{500}{V-W}$$

P.E.A. Saturado superficial seco = 2.57 gr/cm³

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

Peso específico aparente = 2.63 gr/cm³

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

% de Absorción = 1.58 %

Para las muestras 2 y 3, se realiza el mismo procedimiento.

Se registró la media de los datos representativos 2,5 gr/cm³

3.2.5.2 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)

Tabla 3.22 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Arlita - Leca).

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Picnómetro	1,00	2,00	3,00	
Temperatura °C	25,00	25,00	25,00	
A (Peso en el aire de la muestra seca (gr)	419,90	422,90	425,90	
B (Peso muestra saturada superficie seca (gr)	500,00	500,00	500,00	
X (Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)	866,30	869,30	872,30	
J (Peso del picnómetro + agua (gr)	681,70	681,70	681,70	
E = X – J	184,60	187,60	190,60	
F = B – A	80,10	77,10	74,10	
H = A – E	235,30	235,30	235,30	
I = B – E	315,40	312,40	309,40	
"DN" Densidad neta (gr/cm ³)	1,78	1,80	1,81	1,80
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm ³)	1,33	1,35	1,38	1,35
"DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm ³)	1,59	1,60	1,62	1,60
(%) Porcentaje de absorción	0,19	0,18	0,17	18,24
				1,58

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Ensayo de peso unitario de los agregados (AASTHO T-19) (ASTM C-29)

El peso unitario de los áridos dados se puede determinar sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Los volúmenes empleados son normalmente 0,1 – 0,5 1,0 pies³ (2,83 -14,16 -28,31litros), según el tamaño de los áridos ensayados.

Para medir el peso unitario con áridos sueltos, se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos por un recipiente lleno.

Para medir el peso compactado, se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos en el ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T19 y ASTM C29.

Figura 3.14 Ensayo del peso unitario del agregado grueso y fino.



Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1 Ensayo de peso unitario a los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.23 Datos y resultados del ensayo de peso unitario de la grava ^{3/4} (Charaja).

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr.	20290	20080	20105
	Peso del recipiente	gr.	5725	5725	5725
	Peso del agregado seco	gr.	14565	14355	14380
	Volumen recipiente	cm ³	9890	9890	9890
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.47	1.45	1.45
	Promedio	gr./cm ³	1.46		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr.	20900	20765	20803
	Peso del recipiente	gr.	5725	5725	5725
	Peso del agregado seco	gr.	15175	15040	15078
	Volumen recipiente	cm ³	9890	9890	9890
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.53	1.52	1.52
	Promedio	gr./cm ³	1.53		
Peso unitario de la grava		gr./cm ³	1.49		

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario.

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{14565}{9890}$$

$$\text{Peso unitario} = 1.47 \text{ gr/cm}^3$$

Para los demás ensayos se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

Tabla 3.24 Datos y resultados del peso unitario de la gravilla 3/8" (Charaja).

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr.	6900	6875	6883
	Peso del recipiente	gr.	2610	2610	2610
	Peso del agregado seco	gr.	4290	4265	4273
	Volumen recipiente	cm ³	3010	3010	3010
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.43	1.42	1.42
	Promedio	gr./cm ³	1.42		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr.	7215	7175	7203
	Peso del recipiente	gr.	2610	2610	2610
	Peso del agregado seco	gr.	4605	4565	4593
	Volumen recipiente	cm ³	3010	3010	3010
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.53	1.52	1.53
	Promedio	gr./cm ³	1.52		
Peso unitario de la gravilla		gr./cm ³	1.47		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Datos y resultados del peso unitario de la arena (Charaja).

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr.	7240	7270	7250
	Peso del recipiente	gr.	2610	2610	2610
	Peso del agregado seco	gr.	4630	4660	4640
	Volumen recipiente	cm ³	3010	3010	3010
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.54	1.55	1.54
	Promedio	gr./cm ³	1.54		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr.	8070	7965	8025
	Peso del recipiente	gr.	2610	2610	2610
	Peso del agregado seco	gr.	5460	5355	5415
	Volumen recipiente	cm ³	3010	3010	3010
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1.81	1.78	1.80
	Promedio	gr./cm ³	1.80		
Peso unitario de la arena		gr./cm ³	1.67		

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.2 Ensayo de peso unitario a los agregados arcilla expandida (Arlita–Leca)

Tabla 3.26 Datos y resultados del peso unitario de la grava 1/2” (Arlita - Leca).

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr.	13140,00	13125,00	13225,00
	Peso del recipiente	gr.	5845,00	5845,00	5845,00
	Peso del agregado seco	gr.	7295,00	7280,00	7380,00
	Volumen recipiente	cm ³	9977,16	9977,16	9977,16
	Peso unitario seco	gr./cm ³	0,73	0,73	0,74
	Promedio	gr./cm ³	0,73		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr.	13595,00	13625,00	13630,00
	Peso del recipiente	gr.	5845,00	5845,00	5845,00
	Peso del agregado seco	gr.	7750,00	7780,00	7785,00
	Volumen recipiente	cm ³	9977,16	9977,16	9977,16
	Peso unitario seco	gr./cm ³	0,78	0,78	0,78
	Promedio	gr./cm ³	0,78		
Peso unitario de la grava		gr./cm ³	0,75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27 Datos y resultados del peso unitario de la arena (Arlita - Leca).

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr.	5425,00	5490,00	5450,00
	Peso del recipiente	gr.	2605,00	2605,00	2605,00
	Peso del agregado seco	gr.	2820,00	2885,00	2845,00
	Volumen recipiente	cm ³	2994,06	2994,06	2994,06
	Peso unitario seco	gr./cm ³	0,94	0,96	0,95
	Promedio	gr./cm ³	0,95		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr.	5880,00	5970,00	5920,00
	Peso del recipiente	gr.	2605,00	2605,00	2605,00
	Peso del agregado seco	gr.	3275,00	3365,00	3315,00
	Volumen recipiente	cm ³	2994,06	2994,06	2994,06
	Peso unitario seco	gr./cm ³	1,09	1,12	1,11
	Promedio	gr./cm ³	1,11		
Peso unitario de la arena		gr./cm ³	1,03		

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas en los agregados (NTL-358) (ASTM D-5821)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado y se obtendrá de un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida.

Se debe separar por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1 1/2" y 3/8"), descartándose el resto.

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del árido, como se muestra en la **tabla 3.28**

Tabla 3.28 Peso de la muestra de acuerdo al tamaño del árido

Tamaño del árido		Peso en (gr.)
(mm.)	(plg.)	
37.50 a 25.00	1 1/2" a 1"	2000
25.40 a 19.00	1" a 3/4"	1500
19.00 a 12.50	3/4" a 1/2"	1200
12.50 a 9.50	1/2" a 3/8"	300

Fuente: Manual de carreteras de la ABC

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos (ASTM D 5821 NTL 358.)

Figura 3.15 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas.



Fuente: Elaboración propia

3.2.7.1 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.29 Datos y resultados del porcentaje de caras fracturadas

Tamaño del agregado		Muestra retenida	Material triturado	Material natural	Mat. c/ caras Fract.	Material natural
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (A - B)	D (%)	E (%)
1"	3/4"	1500.7	1257.7	243.00	83.81	16.19
3/4"	1/2"	1200.1	1021.4	178.70	85.11	14.89
1/2"	3/8"	300.1	234.2	65.90	78.04	21.96
Promedio					82.32	17.68
Especificación > 75 %						

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.30 Especificaciones para los agregados pétreos (Charaja)

Ensayo	AASHTO	Agregado	Especificación	Resultado
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	T-96	Grava	40 % max	20,48
Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración	T-104	Grava	12 % max	1,23
		Arena	12 % max	1.05
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	T-85	Grava	-	1,45
Peso específico y absorción de agua del agregado fino	T-84	Arena	-	1,58
Peso Unitario de los Agregados	T-19	Grava	-	0,75
		Gravilla	-	0,75
		Arena	-	1,03
Equivalente de Arena	T-176		45 % min	91.15
Porcentaje de caras fracturadas	NTL 358	Grava	>75%	82.32

Fuente: elaboración propia

3.3 ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO PORTLAND

El cemento que se utilizara para la dosificación del hormigón en el presente trabajo será un cemento del Tipo I (IP 30) El puente, el cual cumple con las especificaciones de la norma boliviana NB.

Los ensayos que se realizarán al cemento serán:

Finura del cemento

Peso específico del cemento

3.3.1 Ensayo de la finura del cemento portland (El Puente IP 30) (ASTM C 204 AASHTO T 153)

El objeto de este método es la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz de malla N°40 y N°200.

El método consiste en tamizar una muestra de 50 gr de cemento portland y, posteriormente, realizar un pesado de la muestra retenida en cada tamiz, para luego realizar el cálculo de la finura con la siguiente formula:

$$F = \left(\frac{Pr}{50} \right) * 100$$

Donde:

F = Finura del cemento expresado como porcentaje, del residuo que no pasa el tamiz N° 200.

Pr = Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200 en gr.

Figura 3.16 Ensayo de la finura del cemento portland.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31 Datos y resultados de la finura del cemento portland.

Peso de la muestra					50	gr.
Tamiz	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
N°	Peso retenido (gr.)	finura del cemento (%)	Peso retenido (gr.)	finura del cemento (%)	Peso retenido (gr.)	finura del cemento (%)
N° 40	0	1.4	0	1	0	1.4
N° 200	0.7		0.5		0.7	
Base	49.3		49.5		49.3	
Promedio	1.27%					

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de la finura del cemento:

$$F = \frac{\text{Peso retenido}}{50} * 100$$

$$F = (0.7 / 50) * 100$$

$$F = 1.4 \%$$

Para los demás ensayos se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

3.3.2 Ensayo del peso específico del cemento portland (El Puente IP 30) (ASTM C 188 AASHTO T 133)

Este ensayo tiene por objeto establecer el método para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y el control de las mezclas de hormigón.

Los equipos y procedimientos se detallan en los métodos ASTM C 188 y AASHTO T 133

Figura 3.17 Ensayo del peso específico del cemento portland.



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del peso específico del cemento portland se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{P.E.} = \text{Peso del cemento (gr.)} / \text{Volumen desplazado (ml.)}$$

Tabla 3.32 Datos y resultados del peso específico del cemento portland.

Peso de la muestra de cemento =			64	gr.
Ensayo	Volumen inicial (ml)	Volumen líquido + Muestra (ml)	Diferencia de volumen (ml)	P. E. del cemento (gr / cm ³)
1	300.00	320.50	20.50	3.12
2	300.00	319.50	19.50	3.28
3	300.00	321.00	21.00	3.05
Promedio				3.15

Fuente: elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{P. E.} = 64 / 20.50$$

$$\text{P. E.} = 3.12 \text{ gr / cm}^3$$

Para los demás ensayos se realizó el mismo procedimiento.

3.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Después de haber elaborado los ensayos de los agregados a utilizarse previos a la dosificación, verificando que estos cumplen con las normas y son aptos para utilizarse, se procede a calcular la dosificación del hormigón para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm², mediante el método ACI el cual está basada en la norma ACI. Para lo cual se requiere de los siguientes datos obtenidos en los laboratorios de ensayos de tecnología del hormigón y resistencia de los materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho:

La dosificación del hormigón del presente trabajo se realizara para la utilización de los agregados convencionales en estado seco, por lo que no se efectuara las correcciones debido al contenido de humedad de los agregados.

En el caso de la arcilla expandida se procedió a humedecer 24 horas antes de ser utilizado como recomienda la teoría y las especificaciones de este material debido a su alto contenido de absorción.

Para realizar la dosificación por este método se debe seguir los siguientes pasos:

Selección del asentamiento.

Selección del tamaño máximo del agregado.

Estimación del contenido de agua de mezclado.

Determinación de la resistencia de diseño.

Selección de la relación agua-cemento.

Cálculo del contenido de cemento.

Estimación de las proporciones de los agregados.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN TIPO H 35

4.1.1 Número de ensayos para determinar la resistencia a compresión y flexión del hormigón

Para hacer una evaluación del comportamiento mecánico de las propiedades del hormigón, se efectuaran 3 ensayos y para cada ensayo se elaborara 3 muestras, haciendo un total de 9 probetas por cada porcentaje a reemplazar de arcilla expandida, también se elaborará la misma cantidad para un hormigón convencional.

Por lo tanto, se fabricaran 54 probetas cilíndricas y 54 probetas prismáticas (Vigas), haciendo un total de 108 probetas.

4.1.2 Dosificación del hormigón H35 por el método ACI – 211

Tabla 4.1 Datos obtenidos de los ensayos realizados.

Características de los agregados		
Ensayo	Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2.99
2.- Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1527
3.- Peso específico de la arena (f)	gr/cm ³	2.58
4.- Peso específico de la grava (g)	gr/cm ³	2.74
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	1.68
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	1.0
7.- Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	3/4"
8.- Tamaño máximo (TM)	pulg	1"
9.- Peso específico del cemento	gr/cm ³	3.15

Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño (fck')	350	kg/cm ²
Resistencia Característica (fck) (Tabla 2.15)	435	kg/cm ²
Asentamiento (S) (Tabla 2.9)	3	cm
Relación Agua / Cemento (A/C) (Tabla 2,16)	0.4	s/u

DATOS DE TABLAS

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 2.18)	0.65	s/u
Requerimiento de agua (A) (Tabla 2.12)	188	kg/m ³

CÁLCULOS

Peso agregado grueso (Pag)	= (b/bo)xPUC 992.26	kg/m ³
Peso del cemento (Pc)	= A / (a/c) 470.00	kg/m ³
Volumen del agregado grueso (Vag)	= Pag/ g 362.14	lt/m ³
Volumen del cemento (Vc)	= Pc/ c 149.21	lt/m ³
Volumen de arena (Vaf)	= 1000 - Vc - A - Vag 300.65	lt/m ³
Peso del agregado fino (Paf)	= Vaf x f 775.69	kg/m ³

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE CONCRETO

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Volumen Absoluto lt/m ³	Peso específico gr/cm ³
Cemento	470.00	149.21	3.15
Agua	188	188	1
Grava	992.26	362.14	2.74
Arena	775.69	300.65	2.58
Total	2425.95	1000.00	

PROPORCIONES DE LA MEZCLA

Cemento	Arena	Grava
1.0	1.65	2.11

4.1.3 Dosificación del hormigón para probetas cilíndricas

La dosificación para probetas cilíndricas se realiza obteniendo el volumen del cilindro y multiplicando por la cantidad de probetas requeridas, para posteriormente obtener la cantidad en kilogramos de cemento y demás materiales para el volumen calculado.

Volumen del cilindro

$$V_c = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$$

$$D = 0.15 \text{ m.}$$

$$h = 0.30 \text{ m.}$$

$$V_c = (3.14/4) * 0.15^2 * 0.30$$

$$V_c = 0.00530 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para 3 cilindros} = 0.01590 \text{ m}^3$$

4.1.3.1 Dosificación para 3 probetas cilíndricas de hormigón

Se procede a calcular el volumen para 3 probetas cilíndricas, debido a que se utilizará el promedio de 3 probetas para representar un ensayo de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad. Estas probetas serán elaboradas para un hormigón normal, sin porcentaje de arcilla expandida.

Tabla 4.2 Dosificación de hormigón con agregados convencionales.

Material		Dosificación al peso	Cantidad para 1 m ³ de hormigón (kg)	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)
C	kg	1.00	470.00	0.01590	7.48
W	lt	0.40	188.00	0.01590	2.99
G	kg	2.11	992.26	0.01590	15.78
A	kg	1.65	775.69	0.01590	12.34

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 Dosificación para probetas cilíndricas de hormigón con porcentajes de arcilla expandida (Arlita – Leca)

Se procede a calcular de la misma manera que el caso anterior; pero en esta ocasión la cantidad de los agregados en kilogramos será reemplazada en porcentajes de 5%, 10%, 20% y 40% y 100% de arcilla expandida.

Se realiza una regla de tres simple para calcular las cantidades que se van a reemplazar de los agregados, de esta manera se podrá saber las cantidades requeridas:

Para el reemplazo del 5% de arcilla expandida:

$$\begin{array}{rcl} \text{Cantidad Total de Grava : } & 15.78 & \text{-----} & 100 & \% \\ & X & \text{-----} & 5 & \% \\ & X & = & 0.79 & \text{kg} \end{array}$$

$$\text{Entonces cantidad de grava: } 15.78 - 0.79 = 14.99 \text{ kg.}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Cantidad Total de Arena: } & \text{-----} & 12.34 & 100 & \% \\ & X & \text{-----} & 5 & \% \\ & X = & 0.62 & \text{kg} \end{array}$$

$$\text{Entonces cantidad de arena: } 12.34 - 0.62 = 11.72 \text{ kg.}$$

Cantidad de arcilla expandida a reemplazar:

$$Y = \frac{P}{V} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{P}{Y}$$

Donde:

= Peso específico

P = Peso

V = Volumen

$$\text{Volumen de la arcilla expandida (Grava) } V = 0.79 / 2740$$

$$V = 0.000288 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la arcilla expandida (Arena) } V = 0.62 / 2580$$

$$V = 0.000240 \text{ m}^3$$

Este proceso se lo ejecutó para todas las proporciones de adición de arcilla expandida de 5%, 10%, 20%, 40% y 100%

Tabla 4.3 Dosificación de hormigón con 5% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)	Cantidad con 5% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0159	7.48	7.48	-
W	lt	0.40	0.0159	2.99	2.99	-
G	kg	2.11	0.0159	15.78	14.99	0.00029
A	kg	1.65	0.0159	12.34	11.72	0.00024

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4 Dosificación de hormigón con 10% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)	Cantidad con 10% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0159	7.48	7.48	-
W	lt	0.40	0.0159	2.99	2.99	-
G	kg	2.11	0.0159	15.78	14.20	0.00058
A	kg	1.65	0.0159	12.34	11.10	0.00048

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5 Dosificación de hormigón con 20% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)	Cantidad con 20% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0159	7.48	7.48	-
W	lt	0.40	0.0159	2.99	2.99	-
G	kg	2.11	0.0159	15.78	12.63	0.0011
A	kg	1.65	0.0159	12.34	9.87	0.00096

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6 Dosificación de hormigón con 40% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)	Cantidad con 40% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0159	7.48	7.48	-
W	lt	0.40	0.0159	2.99	2.99	-
G	kg	2.11	0.0159	15.78	9.47	0.0023
A	kg	1.65	0.0159	12.34	7.40	0.0019

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7 Dosificación de hormigón con 100% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Cantidad para 1 m ³ de hormigón (kg)	Volumen total de 3 cilindros (VTC) (m ³)	Cantidad para (VTC) (kg)	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	470.00	0.01590	7.48	-
W	lt	0.40	188.00	0.01590	2.99	-
G	kg	2.11	992.26	0.01590	15.78	0.0058
A	kg	1.65	775.69	0.01590	12.34	0.0048

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Dosificación de hormigón para probetas prismáticas (Vigas)

La dosificación para probetas prismáticas se lo realiza obteniendo el volumen del prisma y multiplicando por la cantidad de probetas requeridas, para posteriormente obtener la cantidad en kilogramos de cemento y demás materiales para el volumen calculado.

Volumen del prisma

$$V_v = A * B * L$$

$$A = 6 \text{ plg.}$$

$$B = 6 \text{ plg.}$$

L = 21 plg.

$$V_v = ((6 * 6 * 21) * 2.54^3 * 0.30) / 100^3$$

$$V_v = 0.01239 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para 3 cilindro} = 0.03717 \text{ m}^3$$

4.1.4.1 Dosificación para 3 probetas prismáticas (Vigas) de hormigón

Se procede a calcular el volumen para 3 probetas prismáticas, debido a que se utilizaran el promedio de 3 probetas para representar un ensayo de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días de edad. Estas probetas serán elaboradas para un hormigón normal, sin porcentaje de arcilla expandida.

Tabla 4.8 Dosificación de hormigón con agregados convencionales.

Material		Dosificación al peso	Cantidad para 1 m ³ de hormigón (kg)	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)
C	kg	1.00	470.00	0.03717	17.47
W	lt	0.40	188.00	0.03717	6.99
G	kg	2.11	992.26	0.03717	36.88
A	kg	1.65	775.69	0.03717	28.83

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2 Dosificación para probetas prismáticas (Vigas) de hormigón con porcentajes de arcilla expandida (Arlita – Leca)

Se procede a calcular de la misma manera que para las probetas cilíndricas, en este caso la cantidad de los agregados en kilogramos será reemplazada en porcentajes de 5%, 10%, 20% y 40% y 100% de arcilla expandida.

Tabla 4.9 Dosificación de hormigón con 5% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)	Cantidad con 5% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0372	17.47	17.47	-
W	lt	0.40	0.0372	6.99	6.99	-
G	kg	2.11	0.0372	36.88	35.03	0.00068
A	kg	1.65	0.0372	28.83	27.39	0.00056

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.10 Dosificación de hormigón con 10% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)	Cantidad con 10% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0372	17.47	17.47	-
W	lt	0.40	0.0372	6.99	6.99	-
G	kg	2.11	0.0372	36.88	33.19	0.0013
A	kg	1.65	0.0372	28.83	25.95	0.0011

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.11 Dosificación de hormigón con 20% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)	Cantidad con 20% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0372	17.47	17.47	-
W	lt	0.40	0.0372	6.99	6.99	-
G	kg	2.11	0.0372	36.88	29.50	0.0027
A	kg	1.65	0.0372	28.83	23.06	0.0022

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12 Dosificación de hormigón con 40% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)	Cantidad con 40% de arcilla expandida	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	0.0372	17.47	17.47	-
W	lt	0.40	0.0372	6.99	6.99	-
G	kg	2.11	0.0372	36.88	22.13	0.0054
A	kg	1.65	0.0372	28.83	17.30	0.0045

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13 Dosificación de hormigón con 100% de arcilla expandida.

Material		Dosificación al peso	Cantidad para 1 m ³ de hormigón (kg)	Volumen total de 3 vigas (VTV) (m ³)	Cantidad para (VTV) (kg)	Volumen a reemplazar de arcilla expandida (m ³)
C	kg	1.00	470.00	0.03717	17.47	-
W	lt	0.40	188.00	0.03717	6.99	-
G	kg	2.11	992.26	0.03717	36.88	0.013
A	kg	1.65	775.69	0.03717	28.83	0.011

Fuente: Elaboración propia

En este caso para saber la cantidad de arcilla expandida a utilizar, se debe reemplazar al volumen y no así al peso, debido a la diferencia de densidades entre los agregados convencionales y la arcilla expandida.

La sustitución del agregado grueso y fino por la arcilla expandida se efectúa de la siguiente manera:

Calcular el porcentaje en peso de los agregados convencionales a reemplazar grueso y fino.

Escoger un recipiente apto para el reemplazo.

Llenar el recipiente con la cantidad en kilogramos a reemplazar de los agregados grueso y fino convencionales.

Retirar la proporción de los agregado grueso y fino del recipiente y reemplazar el volumen con el material que necesitamos, arcilla expandida en nuestro caso.

Realizar el mismo proceso en un recipiente apto con las diferentes cantidades calculadas que van a reemplazar a los agregados grueso y fino 5%, 10%, 20%, 40% y 100% de arcilla expandida.

Figura 4.1 Muestra del reemplazo en volumen de los agregados con arcilla expandida



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Procedimiento de la elaboración del hormigón

Se inicia tomando los pesos en bandejas con las cantidades de arena, ripio y cemento necesarios, previamente pesados acorde a la dosificación calculada.

Figura 4.2 *Cantidades de materiales resultado de la dosificación.*



Fuente: *Elaboración propia*

Se mezcla adecuadamente para luego incorporar el agua, añadiendola poco a poco dando homogeneidad a la mezcla de materiales que conforman el concreto en estado fresco.

Figura 4.3 *Muestra del mezclado*



Fuente: *Elaboración propia*

Después de este proceso se mide el asentamiento de la mezcla para comprobar si la misma se encuentra dentro del rango requerido.

Este procedimiento sigue la norma ASTM C 143, donde se especifica que el molde debe ser colocado en una superficie rígida.

En este caso, se usa una bandeja metálica como base para colocar el cono de Abrams, se procede a llenarlo con tres capas apisonadas, cada una con 25 golpes en espiral con una varilla metálica y de punta redonda, cuidando de no tocar la capa anterior.

Se enrasa la superficie del cono rotando la varilla para luego tomar el cono de las agarraderas y poder retirar los pies sin peligro de mover el molde; se retira el cono verticalmente y con cuidado se coloca el cono junto al hormigón y se mide la diferencia de altura.

Esta medida debe redondearse al medio centímetro más cercano, este valor corresponderá al asentamiento. El ensayo debe durar máximo 2.5 minutos.

Figura 4.4 *Proceso para medir el asentamiento*



Fuente: *Elaboración propia*

Posteriormente se procede a introducir a los cilindros la mezcla de hormigón, se llenan los cilindros con tres capas apisonadas dando 25 golpes por cada capa con una varilla metálica de punta redonda y se compactar con un martillo de hule proporcionando golpes al cilindro.

Figura 4.5 Proceso para el llenado de los moldes



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se enrasa y deja fraguar.

Figura 4.6 Proceso de enrase y su posterior fraguado



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de las probetas prismáticas (vigas) se realizó el mismo procedimiento:

Figura 4.7 *Proceso de elaboración de probetas prismáticas (Vigas)*



Fuente: *Elaboración propia*

Luego de pasadas las 24 horas de fraguado del hormigón, se procede al curado de las probetas cilíndricas y prismáticas. El curado se realizará sumergiendo las probetas en una piscina de agua durante 28 días.

Figura 4.8 *Proceso de curado de las probetas*



Fuente: *Elaboración propia*

4.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

4.2.1 Propiedades del hormigón fresco de probetas cilíndricas

Tabla 4.14 Propiedades del hormigón fresco con 0% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	0	12/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Media
2	0	12/09/2018	15	30	0.0053				
3	0	12/09/2018	15	30	0.0053				
4	0	12/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Media
5	0	12/09/2018	15	30	0.0053				
6	0	12/09/2018	15	30	0.0053				
7	0	12/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Media
8	0	12/09/2018	15	30	0.0053				
9	0	12/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.15 Propiedades del hormigón fresco con 5% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	5	17/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Media
2	5	17/09/2018	15	30	0.0053				
3	5	17/09/2018	15	30	0.0053				
4	5	17/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Media
5	5	17/09/2018	15	30	0.0053				
6	5	17/09/2018	15	30	0.0053				
7	5	17/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Media
8	5	17/09/2018	15	30	0.0053				
9	5	17/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.16 Propiedades del hormigón fresco con 10% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	10	18/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Media
2	10	18/09/2018	15	30	0.0053				
3	10	18/09/2018	15	30	0.0053				
4	10	18/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Media
5	10	18/09/2018	15	30	0.0053				
6	10	18/09/2018	15	30	0.0053				
7	10	18/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Media
8	10	18/09/2018	15	30	0.0053				
9	10	18/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.17 Propiedades del hormigón fresco con 20% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	20	19/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Buena
2	20	19/09/2018	15	30	0.0053				
3	20	19/09/2018	15	30	0.0053				
4	20	19/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Buena
5	20	19/09/2018	15	30	0.0053				
6	20	19/09/2018	15	30	0.0053				
7	20	19/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Buena
8	20	19/09/2018	15	30	0.0053				
9	20	19/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.18 Propiedades del hormigón fresco con 40% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	40	24/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Buena
2	40	24/09/2018	15	30	0.0053				
3	40	24/09/2018	15	30	0.0053				
4	40	24/09/2018	15	30	0.0053	3	Plástica	Buena	Buena
5	40	24/09/2018	15	30	0.0053				
6	40	24/09/2018	15	30	0.0053				
7	40	24/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Buena
8	40	24/09/2018	15	30	0.0053				
9	40	24/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.19 Propiedades del hormigón fresco con 100% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Diam. molde (cm)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	100	26/09/2018	15	30	0.0053	2	Plástica	Buena	Buena
2	100	26/09/2018	15	30	0.0053				
3	100	26/09/2018	15	30	0.0053				
4	100	26/09/2018	15	30	0.0053	2	Plástica	Buena	Buena
5	100	26/09/2018	15	30	0.0053				
6	100	26/09/2018	15	30	0.0053				
7	100	26/09/2018	15	30	0.0053	2.5	Plástica	Buena	Buena
8	100	26/09/2018	15	30	0.0053				
9	100	26/09/2018	15	30	0.0053				

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Propiedades del hormigón fresco de probetas prismáticas (Vigas)

Tabla 4.20 Propiedades del hormigón fresco con 0% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	0	13/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
2	0	13/09/2018	320	15	0.0124				
3	0	13/09/2018	320	15	0.0124				
4	0	13/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
5	0	13/09/2018	320	15	0.0124				
6	0	13/09/2018	320	15	0.0124				
7	0	13/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
8	0	13/09/2018	320	15	0.0124				
9	0	13/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.21 Propiedades del hormigón fresco con 5% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	5	17/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
2	5	17/09/2018	320	15	0.0124				
3	5	17/09/2018	320	15	0.0124				
4	5	17/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
5	5	17/09/2018	320	15	0.0124				
6	5	17/09/2018	320	15	0.0124				
7	5	17/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Media
8	5	17/09/2018	320	15	0.0124				
9	5	17/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22 Propiedades del hormigón fresco con 10% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	10	18/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Media
2	10	18/09/2018	320	15	0.0124				
3	10	18/09/2018	320	15	0.0124				
4	10	18/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Media
5	10	18/09/2018	320	15	0.0124				
6	10	18/09/2018	320	15	0.0124				
7	10	18/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Media
8	10	18/09/2018	320	15	0.0124				
9	10	18/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.23 Propiedades del hormigón fresco con 20% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	20	19/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Buena
2	20	19/09/2018	320	15	0.0124				
3	20	19/09/2018	320	15	0.0124				
4	20	19/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Buena
5	20	19/09/2018	320	15	0.0124				
6	20	19/09/2018	320	15	0.0124				
7	20	19/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Buena
8	20	19/09/2018	320	15	0.0124				
9	20	19/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24 Propiedades del hormigón fresco con 40% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	40	24/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Buena
2	40	24/09/2018	320	15	0.0124				
3	40	24/09/2018	320	15	0.0124				
4	40	24/09/2018	320	15	0.0124	3	Plástica	Buena	Buena
5	40	24/09/2018	320	15	0.0124				
6	40	24/09/2018	320	15	0.0124				
7	40	24/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Buena
8	40	24/09/2018	320	15	0.0124				
9	40	24/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.25 Propiedades del hormigón fresco con 100% de arcilla expandida.

Prob. N°	% De arcilla expandida	Fecha de elaboración	Área molde (cm ²)	Alt. molde (cm)	Vol. molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Trabajabilidad
1	100	26/09/2018	320	15	0.0124	2	Plástica	Buena	Buena
2	100	26/09/2018	320	15	0.0124				
3	100	26/09/2018	320	15	0.0124				
4	100	26/09/2018	320	15	0.0124	2	Plástica	Buena	Buena
5	100	26/09/2018	320	15	0.0124				
6	100	26/09/2018	320	15	0.0124				
7	100	26/09/2018	320	15	0.0124	2.5	Plástica	Buena	Buena
8	100	26/09/2018	320	15	0.0124				
9	100	26/09/2018	320	15	0.0124				

Fuente: Elaboración propia

4.3 ENSAYOS REALIZADOS AL HORMIGÓN ENDURECIDO

4.3.1 Ensayo de la resistencia a la compresión simple de probetas cilíndricas a los 28 días de edad

Para determinar la resistencia a la compresión simple del hormigón se utilizó la prensa hidráulica automática del laboratorio de tecnología del hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, la cual proporciona datos sobre la resistencia a compresión de forma automática.

Figura 4.9 Prensa hidráulica para ensayo de compresión de probetas.



Fuente: Elaboración propia (laboratorio de hormigón UAJMS)

Para comenzar con el proceso del ensayo a compresión necesitamos algunos datos que se debe introducir a la maquina como ser: el peso, el diámetro, la altura, la edad en días a la que se está realizando el ensayo.

Figura 4.10 Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.



Fuente: Elaboración propia (laboratorio de hormigón UAJMS)

Datos que se introducen a la prensa hidráulica previos al ensayo

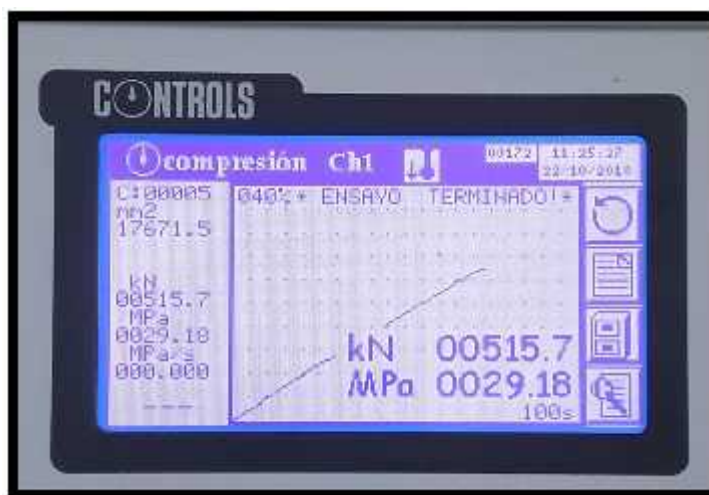
Tabla 4.26 Datos que se introducen a la prensa hidráulica.

Prueba N°	1
% de Arcilla Expandida	40
Procedencia de cantera	Charaja
Edad (días)	28
Velocidad de compresión (Mpa/s)	0.4
Peso (gr)	12250
Altura (mm)	305
Base (mm)	150

Fuente: Elaboración propia

Se introduce estos datos en la memoria de la computadora y se procede a la puesta en marcha al ensayo de la compresión.

Figura 4.11 Pantalla de resultado de compresión de la probeta.



Fuente: Elaboración propia (laboratorio de hormigón UAJMS)

Luego se registra el resultado que se arroja en la pantalla.

Tabla 4.27 Resultado obtenido del ensayo

Resistencia	Mpa=	29.18
	Kg/cm2=	291.8

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Ensayo de la resistencia a la flexión de probetas prismáticas (vigas)

Para este ensayo se utilizará la misma prensa hidráulica empleada en el ensayo a compresión; este equipo será el que nos proporcionara la resistencia que obtuvimos en nuestra viga de ensayo.

Figura 4.12 Ensayo a la flexión de vigas.



Fuente: Elaboración propia (laboratorio de hormigón UAJMS)

Para comenzar con el proceso del ensayo a la flexión se necesita introducir algunos datos iniciales al igual que en el ensayo a compresión

Figura 4.13 Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.



Fuente: Elaboración propia en el lab. de hormigón UAJMS

Datos que se introducen a la prensa hidráulica previos al ensayo

Tabla 4.28 Datos que se introducen a la prensa hidraulica

Prueba N°	1
% de Arcilla Expandida	40
Procedencia de cantera	Charaja
Edad (días)	28
Velocidad de compresión (Mpa/s)	0.1
Peso (gr)	27575
Altura (mm)	150
Base (mm)	150
Largo (mm)	535

Fuente: Elaboración propia

Se introduce estos datos a en la memoria de la computadora y se procede a la puesta en marcha al ensayo de la flexión.

Figura 4.14 Pantalla de resultado del ensayo a la flexión de la viga.



Fuente: Elaboración propia (laboratorio de hormigón UAJMS)

Luego se registra el resultado que se arroja en la pantalla.

Tabla 4.29 Resultado obtenido del ensayo

Resistencia	Mpa=	3.57
	Kg/cm2=	35.7

Fuente: Elaboración propia

4.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que fueron obtenidos mediante los ensayos a compresión y flexión se analizan y representan mediante las tablas a continuación, cada una de acuerdo al porcentaje de arcilla expandida sustituida parcialmente y en su totalidad de los agregados convencionales en la mezcla de hormigón. A través de estos resultados se realizan las respectivas observaciones del proyecto.

4.4.1 Resultados de la resistencia a la compresión y flexión del hormigón a los 28 días de edad

Tabla 4.30 Resistencia a la compresión del hormigón con 0% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.23	2496.23	36.81	2493.40	36.66	2492.26	36.06
2	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.18	2485.85	35.95				
3	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.24	2498.11	37.23				
4	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.20	2489.62	36.55	2491.82	36.08		
5	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.21	2492.45	35.89				
6	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.22	2493.40	35.81	2491.57	35.44		
7	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.19	2488.68	34.63				
8	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.23	2496.42	36.01				
9	0	12/09/2018	11/10/2018	0.0053	13.20	2489.62	35.67				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.31 Resistencia a la compresión del hormigón con 5% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.92	2437.74	34.05	2427.67	34.62	2430.61	34.81
2	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.84	2421.70	35.1				
3	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.85	2423.58	34.71				
4	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.90	2433.96	34.96	2432.08	34.93		
5	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.88	2430.19	34.80				
6	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.89	2432.08	35.03	2432.08	34.87		
7	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.91	2435.85	35.21				
8	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.87	2428.30	34.74				
9	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0053	12.89	2432.08	34.66				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.32 Resistencia a la compresión del hormigón con 10% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.62	2380.19	34.6	2374.84	34.45	2374.99	34.01
2	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.61	2379.25	34.10				
3	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.54	2365.09	34.65				
4	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.59	2376.23	34.00	2377.17	34.05		
5	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.62	2381.13	33.92				
6	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.58	2374.15	34.22				
7	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.60	2377.36	33.55	2372.96	33.53		
8	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.57	2371.70	33.31				
9	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0053	12.56	2369.81	33.72				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33 Resistencia a la compresión del hormigón con 20% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.25	2311.32	34.3	2305.66	33.76	2303.77	33.28
2	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.20	2301.89	33.55				
3	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.21	2303.77	33.42				
4	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.20	2301.89	33.61	2302.52	32.44		
5	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.19	2300.00	29.85				
6	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.22	2305.66	33.86				
7	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.23	2307.55	33.1	2303.14	33.64		
8	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.20	2301.89	33.71				
9	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0053	12.19	2300.00	34.12				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.34 Resistencia a la compresión del hormigón con 40% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.40	2150.94	29.18	2149.37	28.76	2148.32	29.32
2	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.37	2144.34	27.91				
3	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.41	2152.83	29.18				
4	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.38	2147.17	25.80	2147.80	28.00		
5	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.40	2150.94	28.96				
6	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.37	2145.28	29.23				
7	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.36	2143.40	28.15	2147.80	28.25		
8	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.40	2150.94	29.00				
9	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0053	11.39	2149.06	27.59				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.35 Resistencia a la compresión del hormigón con 100% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% arc. exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. cilindro (m3)	Peso cilindro (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Comp. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Comp. Prom. (mpa)
1	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.66	1822.64	24.58	1813.21	23.52	1808.60	25.10
2	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.58	1807.55	23.1				
3	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.59	1809.43	22.87				
4	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.54	1800.00	23.56	1805.66	23.33		
5	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.60	1811.32	22.98				
6	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.57	1805.66	23.44				
7	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.58	1807.55	22.3	1806.92	24.11		
8	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.59	1809.43	25.46				
9	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0053	9.56	1803.77	24.56				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.36 Resistencia a la flexión del hormigón con 0% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	29.62	2388.71	4.00	2413.98	4.46	2414.25	4.46
2	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	30.16	2432.26	4.86				
3	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	30.02	2420.97	4.51				
4	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	30.15	2431.45	4.55	2422.31	4.48		
5	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	29.93	2413.71	3.87				
6	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	30.03	2421.77	5.01				
7	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	29.85	2407.26	4.45	2406.45	4.46		
8	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	30.12	2429.03	4.26				
9	0	13/09/2018	12/10/2018	0.0124	29.55	2383.06	4.67				

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 4.37 Resistencia a la flexión del hormigón con 5% de arcilla expandida.**

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.87	2327.82	3.88	2314.38	4.21	2316.35	4.44
2	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.59	2305.65	4.79				
3	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.64	2309.68	3.95				
4	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.83	2325.00	4.87	2319.09	4.53		
5	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.75	2318.55	4.85				
6	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.69	2313.71	3.86				
7	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.63	2308.87	4.85	2315.59	4.59		
8	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.81	2323.39	3.85				
9	5	17/09/2018	16/10/2018	0.0124	28.70	2314.52	5.08				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.38 Resistencia a la flexión del hormigón con 10% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.25	2278.23	4.86	2284.81	4.43	2285.48	4.48
2	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.36	2286.69	3.87				
3	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.39	2289.52	4.55				
4	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.28	2280.65	5.01	2287.77	4.43		
5	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.46	2294.76	3.94				
6	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.37	2287.90	4.35				
7	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.31	2283.06	3.83	2283.87	4.59		
8	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.27	2279.84	4.97				
9	10	18/09/2018	17/10/2018	0.0124	28.38	2288.71	4.98				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.39 Resistencia a la flexión del hormigón con 20% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.47	2215.32	4.15	2205.11	4.52	2208.42	4.54
2	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.27	2199.19	4.43				
3	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.29	2200.81	4.99				
4	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.35	2205.65	4.60	2206.45	4.70		
5	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.28	2200.00	4.50				
6	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.45	2213.71	5.00				
7	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.39	2208.87	4.39	2213.71	4.39		
8	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.45	2213.71	4.22				
9	20	19/09/2018	18/10/2018	0.0124	27.51	2218.55	4.55				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.40 Resistencia a la flexión del hormigón con 40% de arcilla expandida.

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.56	2061.29	3.44	2056.45	3.94	2056.00	3.91
2	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.43	2050.81	3.87				
3	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.51	2057.26	4.51				
4	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.45	2052.42	3.87	2055.11	3.84		
5	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.48	2054.84	3.59				
6	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.52	2058.06	4.05				
7	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.46	2053.23	3.87	2056.45	3.96		
8	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.49	2055.65	3.88				
9	40	24/09/2018	23/10/2018	0.0124	25.55	2060.48	4.12				

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 4.41 Resistencia a la flexión del hormigón con 100% de arcilla expandida.**

Resultados para representar un ensayo										Resultados finales	
Prob. N°	% Arc. Exp.	Fecha elaboración	Fecha ensayo	Vol. viga (m3)	Peso viga (kg.)	Densidad (kg./m3)	Resis. Flex. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)	Densidad Prom. (kg/m ³)	Resis. Flex. Prom. (Mpa)
1	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.68	1747.98	2.73	1756.85	3.14	1756.94	3.50
2	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.97	1771.37	3.55				
3	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.72	1751.21	3.85				
4	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.69	1749.19	3.66	1754.03	3.67		
5	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.85	1762.10	3.58				
6	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.71	1750.81	3.77				
7	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.88	1764.52	3.78	1759.95	3.70		
8	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.91	1766.94	3.86				
9	100	26/09/2018	25/10/2018	0.0124	21.68	1748.39	3.45				

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Análisis estadístico de las propiedades mecánicas del hormigón endurecido

Para evaluar la calidad del hormigón del presente trabajo, se siguió los criterios del Comité ACI 214R. El mismo hace notar que las variaciones en la resistencia pueden ser evaluadas mediante un análisis estadístico, tomando en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación, los cuales se pueden asociar al grado de control del concreto en el proyecto.

Tabla 4.42 Valores de referencia de la desviación estándar para establecer la calidad del hormigón.

Desviación estándar S para la población total			Coefficiente de variación V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	< 3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	> 6	Deficiente

Fuente: Comité ACI - 214R

Resultados del análisis estadístico:

Tabla 4.43 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 0% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	2492.26	2492.45	2489.62	4.13	17.05	-
Resis. Comp. (Mpa)	34.87	34.87	*	0.80	0.65	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	4.46	4.51	*	0.37	0.14	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.44 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 5% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	2430.61	2432.08	2432.08	5.34	28.51	-
Resis. Comp. (Mpa)	34.81	34.80	*	0.34	0.12	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	4.44	4.79	4.85	0.54	0.29	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.45 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 10% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	2374.99	2376.23	*	5.32	28.29	-
Resis. Comp. (Mpa)	34.01	34.00	*	0.45	0.20	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	4.48	4.55	*	0.50	0.25	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.46 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 20% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	2303.77	2301.88	2301.88	3.77	14.24	-
Resis. Comp. (Mpa)	33.28	33.61	*	1.33	1.78	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	4.54	4.50	*	0.29	0.08	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.47 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 40% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	2148.32	2149.05	2150.94	3.39	11.52	-
Resis. Comp. (Mpa)	29.32	29.18	29.18	0.61	0.38	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	3.91	3.87	3.87	0.30	0.09	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.48 Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 100% de arcilla expandida (Arlita - Leca).

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza	Calidad del hormigón según ACI
Densidad (Kg/m ³)	1808.59	1807.54	1807.54	6.26	39.25	-
Resis. Comp. (Mpa)	25.09	25.46	27.10	1.52	2.33	Excelente
Resis. Flex. (Mpa)	3.50	3.67	*	0.31	0.09	Excelente

Fuente: Elaboración propia

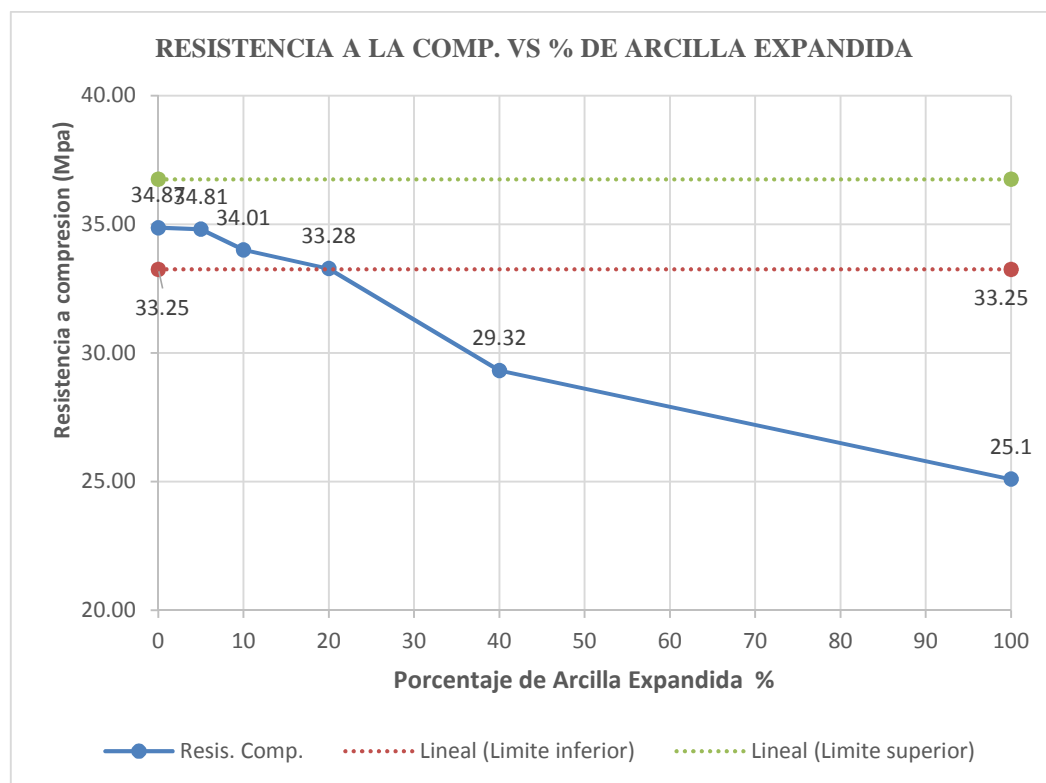
En el presente trabajo se utilizara la media aritmética en todos los casos para el análisis de resultados de las propiedades mecánicas del hormigón.

Interpretación:

Del análisis estadístico obtenido se puede observar que los resultados de la desviación estándar son muy buenos; los cuales están dentro del rango de una excelente calidad del hormigón de acuerdo a los valores de referencia que se tomaron de la norma ACI.

4.4.3 Análisis y comparación de resultados de la resistencia a la compresión y flexión del hormigón a los 28 días de edad.

Figura 4.15 Curva resistencia del hormigón vs. % de arcilla expandida a los 28 días de edad.



Fuente: Elaboración propia.

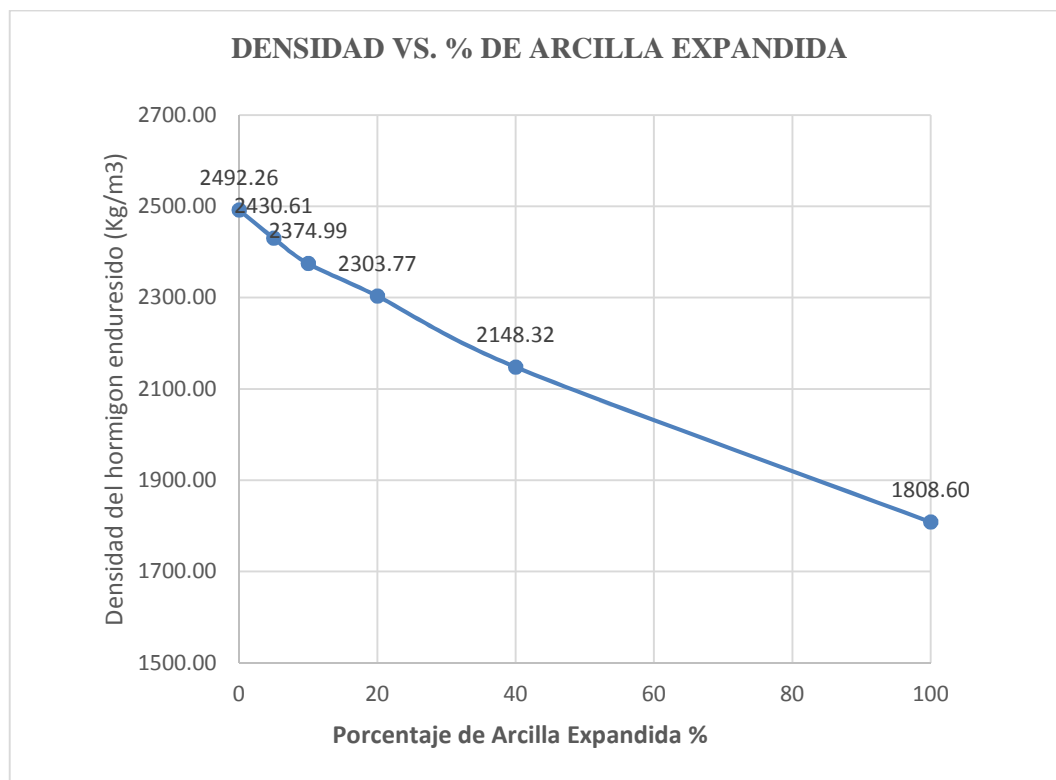
Interpretación:

En los ensayos a compresión a los 28 días de edad con el hormigón normal se obtiene la mayor resistencia de 34.87 Mpa, con el 5 % de arcilla expandida una resistencia de 34.81 Mpa, con los demás porcentajes de arcilla expandida la resistencia del hormigón tiende a disminuir ligeramente, llegando a una resistencia de 23.65 siendo la más baja para las muestras del 100% de arcilla expandida.

De esta manera, para las muestras de hormigón normal y las muestras con 5, 10 y 20 % de arcilla expandida se adquiere una resistencia a la compresión dentro de los límites admisibles.

Límite Inferior = 95% (33.25 Mpa) - Promedio = 100% (35 Mpa) - Límite Superior = 105% (36.75 Mpa).

Figura 4.16 Curva densidad del hormigón endurecido vs. % de arcilla expandida



Fuente: Elaboración propia.

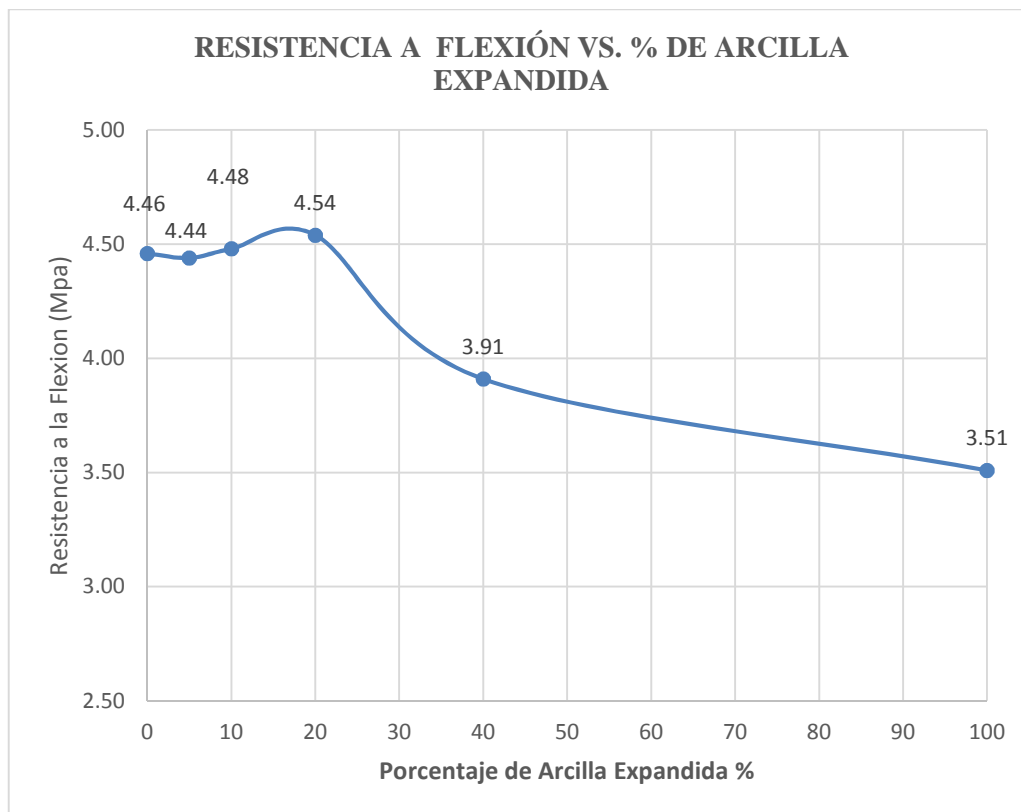
Interpretación:

De los resultados obtenidos del hormigón en estado endurecido de resistencia 350 kg/cm², se obtiene que el peso específico del hormigón tiende a disminuir significativamente, mientras más alto es el porcentaje de arcilla expandida.

A los 28 días de edad el hormigón normal obtiene un peso específico de 2492,26 kg/m³, con el 100% un peso específico de 1808.6 kg/m³, reduciendo el peso específico del hormigón en un 27,5% en comparación al normal.

Se puede establecer que con un 100% de arcilla expandida se obtienen pesos específicos cercanos a los pesos característicos de un hormigón alivianado establecido según las normas ASTM.

Figura 4.17 Curva resistencia a la Flexión vs. % de arcilla expandida.



Fuente: Elaboración propia.

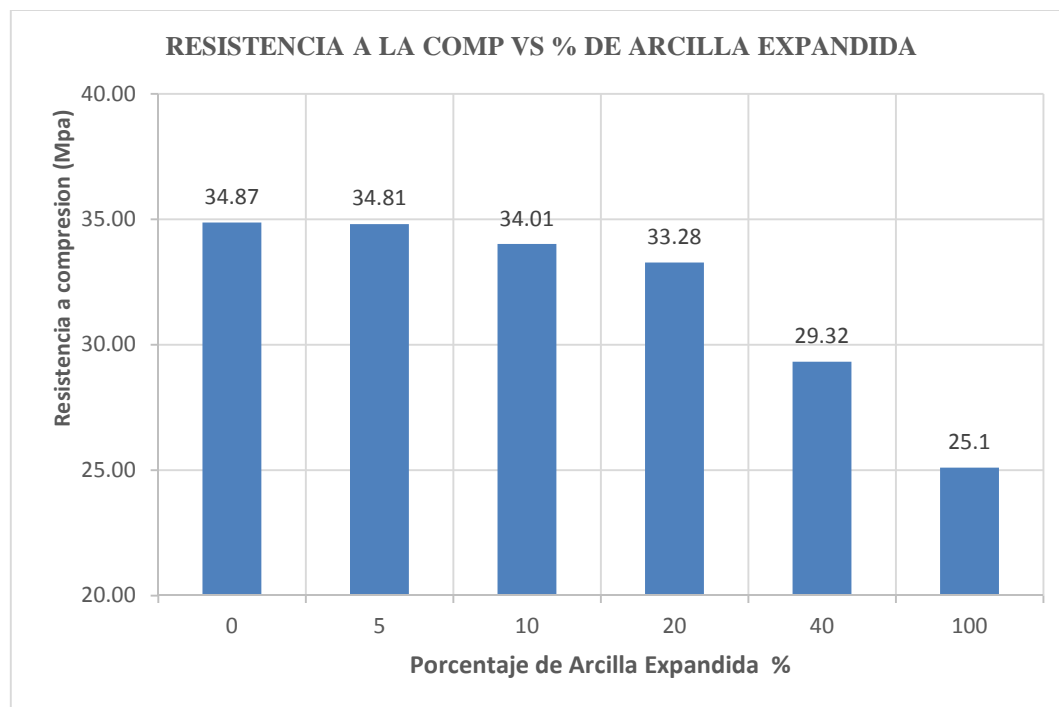
Interpretación:

En los ensayos a la flexión a los 28 días de edad con el hormigón normal se obtiene una resistencia de 4.46 Mpa; con el 20 % de arcilla expandida, una resistencia de 4.54 Mpa, siendo ésta la mayor resistencia obtenida de todos los ensayos; en los demás porcentajes de arcilla expandida la resistencia del hormigón tiende a disminuir ligeramente, llegando a una resistencia de 3.51 Mpa siendo la más baja para las muestras del 100% de arcilla expandida.

Como se puede observar en el gráfico, al adicionar la arcilla expandida hasta un 20% la resistencia tiende a mejorar; con un 40% de adición de este material todavía se puede

considerar aceptable, ya que las especificaciones para pavimentos rígidos indican que la resistencia a la flexión o módulo de rotura debe ser como mínimo 37 kg / cm².

Figura 4.18 Diagrama de barras: resistencia a compresión vs. % de arcilla expandida



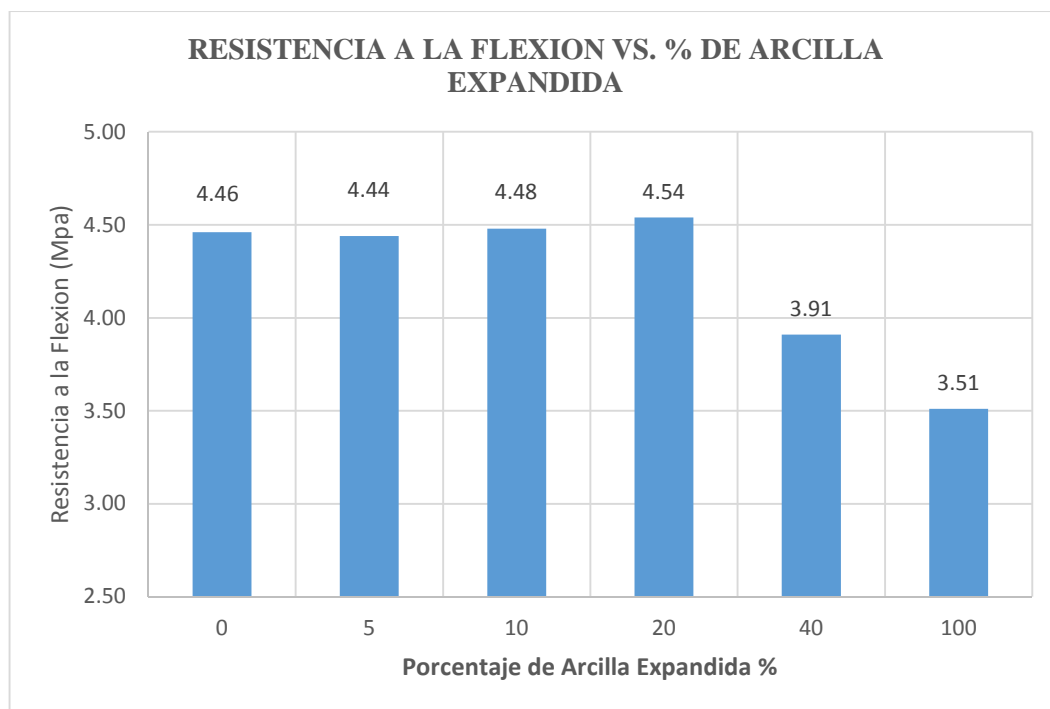
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

En la **figura 4.18** se puede observar de mejor manera cómo incide la adición de la arcilla expandida en la resistencia a compresión del hormigón. Como se puede apreciar las resistencias con un reemplazo de hasta el 20 % están dentro de los límites del margen de error establecidos.

La incidencia de la arcilla expandida (Arlita – Leca) en la resistencia a compresión del hormigón para pavimentos rígidos es de un 4.56% para un reemplazo parcial del 20% de arcilla expandida, pero para un reemplazo total de los agregados pétreos por este material la incidencia es de 28% en la resistencia a la compresión. Es así que al utilizar este material la resistencia a compresión del hormigón baja considerablemente.

Figura 4.19 Diagrama de barras: resistencia a flexión vs. % de arcilla expandida



Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 4.19** se puede observar de mejor manera cómo se comporta la adición de la arcilla expandida en la resistencia a la flexión del hormigón. Así con un reemplazo del 20 % alcanza la mayor resistencia, además mejora su resistencia al reemplazar dicho porcentaje.

Al reemplazar un 20% con la arcilla expandida esta incide un 2% en la resistencia a flexión del hormigón; al reemplazar un 100%, esta tiende a disminuir en un 21% la resistencia. También se puede observar que un hormigón utilizando arcilla expandida como agregado resiste más a flexión que a compresión, esto debido a la adherencia que tiene este material.

4.4.4 Análisis de costos

Tabla 4.49 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 0 % de arcilla expandida.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H35			Cantidad :	1.00
Unidad :	m ³	Moneda	Bs.		
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total	
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.65	125.00	81.25
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.00	0.00	0.00
4	Arena	m ³	0.45	150.00	67.50
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.00	0.00	0.00
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					746.03
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.70
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					50.42
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					52.94
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					34.36
Total ítem precio unitario					1146.23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.50 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 5% de arcilla expandida.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H35 con 5% de arcilla expandida			Cantidad:	1.00
Unidad :	m ³	Moneda	Bs.		
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total	
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.62	125.00	77.19
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.03	348.00	11.31
4	Arena	m ³	0.43	150.00	64.13
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.02	348.00	7.83
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					757.73
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.7
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					51.010
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					53.56
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					34.75
Total ítem precio unitario					1159.53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.51 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 10% de arcilla expandida.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H 35 con 10% de arcilla expandida			Cantidad :	1.00
Unidad :	m ³	Moneda	Bs.		
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total	
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.59	125.00	73.13
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.07	348.00	22.62
4	Arena	m ³	0.41	150.00	60.75
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.05	348.00	15.66
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					769.43
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.70
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11.00	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					51.59
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					54.17
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					35.15
Total ítem precio unitario					1172.83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.52 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 20% de arcilla expandida.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H 35 con 20% de arcilla expandida.			Cantidad :	1.00
Unidad :	m³	Moneda	Bs.		
	Descripción	Unidad	Cantidad rendimiento	Precio unitario	Costo total
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.52	125.00	65.00
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.13	348.00	45.24
4	Arena	m ³	0.36	150.00	54.00
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.09	348.00	31.32
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					792.84
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.70
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					52.766
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					55.404
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					35.95
Total ítem precio unitario					1199.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.53 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 40% de arcilla expandida.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H 35 con 40% de arcilla expandida			Cantidad :	1.00
Unidad :	m ³	Moneda	Bs.		
Descripción		Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.39	125.00	48.75
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.26	348.00	90.48
4	Arena	m ³	0.27	150.00	40.50
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.18	348.00	62.64
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					839.65
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.70
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					55.11
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					57.86
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					37.54
Total ítem precio unitario					1252.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.54 Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 100% de arcilla expandida.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1
Actividad:	Hormigón simple H 35 con 100% de arcilla expandida			Cantidad :	1.00
Unidad :	m ³	Moneda	Bs.		
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total	
1 Materiales					
1	Cemento portland	Kg	530.00	1.00	530.00
2	Grava	m ³	0.00	125.00	0.00
3	Grava (Arcilla expandida)	m ³	0.65	348.00	226.20
4	Arena	m ³	0.00	150.00	0.00
5	Arena (Arcilla expandida)	m ³	0.45	348.00	156.60
6	Madera de construcción	P ²	16.00	3.43	54.88
7	Clavos	Kg	2.00	6.20	12.40
Total materiales					980.08
2 Mano de obra					
1	Ayudante	hr	8	4.566	36.53
2	Albañil	hr	8	6.088	48.70
3	Cargas sociales 55% del sub total M. O.				46.88
4	Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del sub total de M. O. + Cargas sociales)				59.61
Total mano de obra					191.70
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Mezcladora	hr	4	11	44.00
2	Vibradora	hr	4	5.25	21.00
Herramientas menores 5 % de la mano de obra					5.75
Total Eq, Maq. y Herr.					70.75
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					62.13
5 Utilidad					
Utilidad 5% (1+2+3+4)					65.23
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					42.33
Total ítem precio unitario					1412.24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.1 Resultados del análisis de precios unitarios

Tabla 4.55 Resumen del Análisis de costos del hormigón simple H 35 con arcilla expandida.

Descripción	Cantidad (m ³)	% De arcilla expandida	Costo (bs.)
Hormigón simple H 35.	1	0	1146.23
Hormigón simple H 35 con adición de arcilla expandida.	1	5	1159.53
Hormigón simple H 35 con adición de arcilla expandida.	1	10	1172.83
Hormigón simple H 35 con adición de arcilla expandida	1	20	1199.43
Hormigón simple H 35 con adición de arcilla expandida	1	40	1252.64
Hormigón simple H 35 con edición de arcilla expandida	1	100	1412.24

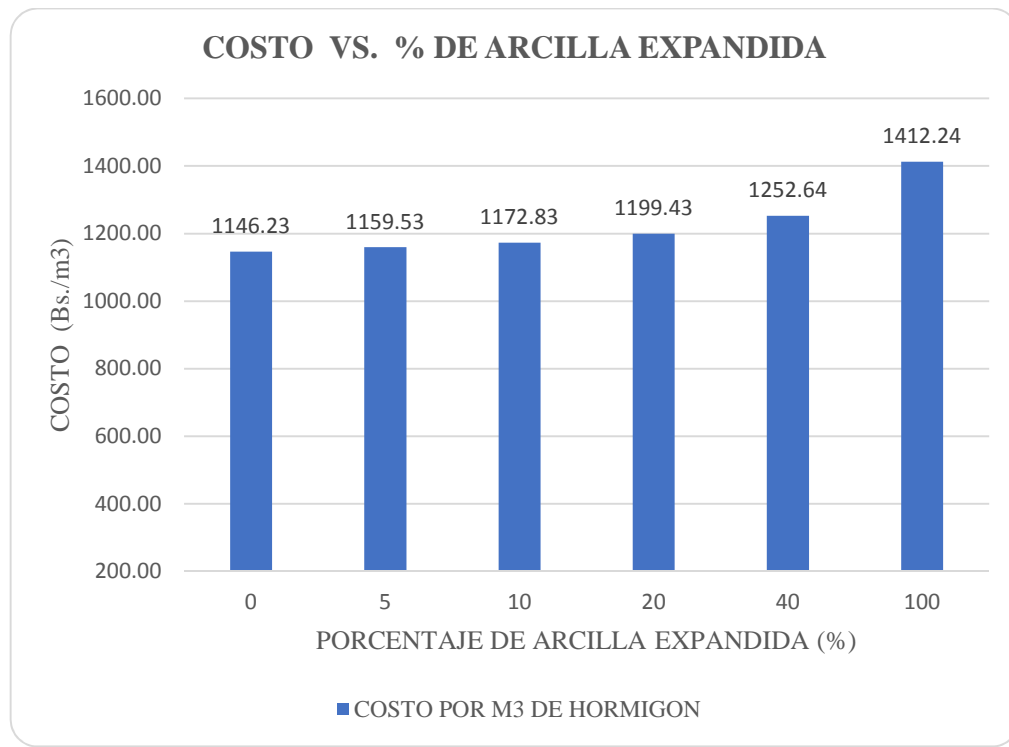
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Como se puede observar en la **figura 4.20.**, el costo de elaboración de un metro cubico de hormigón con la adición de arcilla expandida se incrementa a medida que se va aumentando el porcentaje de este material, dando un costo mayor al de la elaboración de un hormigón convencional.

Si se llegaría a utilizar este material en un reemplazo del 100%, el costo de elaboración por metro cúbico se incrementaría un 20% con respecto a un hormigón convencional.

Figura 4.20 Comparación del precio de 1 m³ de hormigón con adición de arcilla expandida.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- J Se realizó los diferentes ensayos de caracterización de los agregados pétreos y arcilla expandida. Donde se pudo verificar que los mismos cumplen con los requerimientos especificados por la norma ABC, la misma que está basada en las normas AASHTO y ASTM para el diseño de mezclas de concreto
- J Se efectuó la dosificación para un hormigón H35 de 350 kg/cm² de resistencia a la compresión utilizando el método ACI, las proporciones de materiales resultantes de la misma fueron 1 : 1.65 : 2.11.
- J Para la sustitución de los diferentes porcentajes de arcilla expandida como agregado en las mezclas de hormigón se reemplazó al volumen, esto debido a la diferencia de pesos específicos entre agregados comunes y arcilla expandida.
- J En el hormigón fresco con la adición de 5 y 10% de arcilla expandida la trabajabilidad, homogeneidad se mantienen, pero a medida que se aumenta el porcentaje de arcilla expandida mejora la trabajabilidad manteniéndose la homogeneidad.
- J En los ensayos de consistencia mediante el cono de Abrams, se obtuvo un asentamiento de 3 cm. con agregados convencionales y 2 cm. con una sustitución total de arcilla expandida al agregado convencional, esto debido al bajo peso específico de este material artificial.
- J De acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados a compresión a los 28 días de edad se estableció que los resultados más favorables se dan en las mezclas con agregados convencionales, también se evidenció que a medida que se va aumentando el porcentaje de adición de arcilla expandida, la resistencia tiende a disminuir considerablemente, de 34.87 Mpa con agregados convencionales a 25.10 Mpa con un reemplazo del 100% de arcilla expandida al agregado convencional.
- J En los ensayos realizados a la flexión, se determinó que al añadir un 20% de arcilla expandida al hormigón, las resistencias a flexión son más elevadas que las de un

hormigón convencional. Los resultados obtenidos fueron de 4.46 Mpa con agregados convencionales y 4.54 Mpa con un reemplazo del 20% de arcilla expandida, luego tiende a disminuir la resistencia hasta llegar a 3.51 Mpa con un reemplazo del 100% de arcilla expandida al agregado convencional.

- J Del análisis y comparación de resultados se determinó que el decrecimiento de la resistencia del hormigón con mayor porcentaje de arcilla expandida en reemplazo al agregado convencional, puede darse debido a la fragilidad de este material artificial al estar húmedo, ya que para realizar la rotura de probetas se retiró del curado 24 hrs. antes del ensayo. Por este motivo, la muestra se debe dejar más tiempo fuera del curado la muestra debido a que la arcilla expandida tiene un alto porcentaje de absorción.
- J Por medio del análisis estadístico a las propiedades del hormigón endurecido, se evidenció que los resultados de la desviación estándar S están dentro del rango de una excelente calidad del hormigón de acuerdo al ACI-214R.
- J Según el análisis de costos, al emplear este material el costo de elaboración del hormigón se incrementa un 5% por metro cúbico con una adición del 20% de arcilla expandida y para un reemplazo de 100% de arcilla se incrementa un 19% del costo en comparación a un hormigón convencional.
- J De acuerdo a la hipótesis planteada se concluye que, si se elabora mezclas de hormigón utilizando arcilla expandida (Arlita – Leca) como agregado, las propiedades mecánicas de dicha mezcla no cumplen con las especificaciones requeridas para un pavimento rígido de tráfico pesado; por lo tanto, este material artificial no puede ser considerado una alternativa técnica en la elaboración de mezclas de hormigón para pavimentos rígidos.
- J Por otra parte, se puede observar que la utilización de este material en la elaboración de hormigón produce buenos resultados de resistencia si bien no son favorables para un pavimento de tráfico pesado, si lo son para un pavimento de tráfico liviano, pavimentos urbanos o para obras complementarias de un pavimento rígido; es decir, podría ser una alternativa la utilización de este material, ya que estas obras requieren menor resistencia de diseño.

5.2 RECOMENDACIONES

-) Verificar que los agregados a utilizar se encuentren con las mismas condiciones de humedad con las que se realizó la dosificación, con el fin de garantizar los resultados para cada porcentaje de arcilla expandida añadida.
-) Antes de proceder a la dosificación del hormigón se debe comprobar las propiedades de los agregados que van a ser utilizados en el hormigón debido a que tienden a variar según su origen.
-) Colocar una mínima cantidad de aceite en los moldes cilíndricos durante la realización de las muestras de hormigón, para evitar que esto afecte en la resistencia a la compresión y flexión del hormigón.
-) Verificar que los moldes se encuentren bien ajustados para evitar derrames de la mezcla de hormigón debido a la presión que ésta ejerce sobre el molde.
-) Se recomienda dejar reposar la arcilla expandida sobre agua unos minutos antes de ser aplicada en la mezcla de hormigón, para evitar una modificación en la relación agua cemento, ya que la arcilla expandida absorbe una mayor cantidad de agua debido a su alta porosidad.
-) Para el ensayo de elaboración del hormigón con arcilla expandida se recomienda realizar la compactación de los cilindros de hormigón mediante varillado, para evitar que el material sobresalga en la superficie y extraer acumulaciones de aire, garantizando que el hormigón no sea poroso.
-) Dejar curar los cilindros y vigas de hormigón en una cámara de curado que se encuentren totalmente sumergidos en agua, esto para que sea un curado uniforme y brindar un mejor tratamiento al hormigón.
-) De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda, no utilizar arcilla expandida (Arlita – Leca) como agregado en la elaboración de mezclas de hormigón para pavimentos rígidos de tráfico pesado, esto debido a que reduce la resistencia en el hormigón.