

INDICE

CAPITULO I

	Página
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Justificación	3
1.3 Problema	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Alcance	6
1.6 Medios	8
1.7 Metodología.	9

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.

1.1 Generalidades

Nos referimos al ladrillo como una pieza utilizada en la construcción, generalmente cerámica y con forma ortoédrica, los ortoedros son prismas rectangulares rectos, cuyas dimensiones permiten que se pueda colocar con una sola mano por parte de un operario, pero como se trata de una pieza moldeada de arcilla nosotros le podemos dar las formas y modelos que se pueda requerir según la necesidad nuestra. Generalmente se emplea en albañilería para la ejecución de trabajos constructivos en general.

Cuando mencionamos sus residuos cerámicos del ladrillo estamos hablando de todas las formas cerámicas que se pueda imaginar tales como el ladrillo, el cascajo del ladrillo, el polvo del ladrillo entre otros y tomamos como nombre principal el ladrillo por ser el principal utilizado y conocido de los cerámicos en la construcción.

Con este tema del uso del ladrillo y sus residuos cerámicos en obras de arte o drenaje, lo que se quiere es dar a conocer y mostrar nuevas alternativas o posibilidades de obtener los materiales utilizados para la construcción de estas obras tan importantes, tratando de suplir de alguna manera los materiales naturales comúnmente utilizados por materiales artificiales que cumplan la misma función que éstos.

Las obras de arte o drenaje tienen como objetivos primordiales:

Dar salida al agua que se pueda llegar a acumular en el camino.

Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino.

Evitar que el agua provoque daños estructurales al camino.

De la construcción de las obras de drenaje, dependerá en gran parte la facilidad de acceso y la vida útil del camino.

Drenaje es un término que hace referencia a la acción y efecto de drenar. Este verbo, a su vez, significa asegurar la salida de líquidos o de la excesiva humedad por medio de cañerías, tubos o zanjias.

Entre los tipos de drenajes podemos mencionar que existen las obras de drenaje mayor y las obras de drenaje menor y estas se subdividen en drenaje superficial y el drenaje subterráneo.

Drenaje superficial.- Se construye sobre la superficie del camino o terreno con funciones de captación, salida, defensa y cruce, algunas obras cumplen con varias funciones al mismo tiempo.

En el drenaje superficial encontramos: cunetas, contra cunetas, alcantarillas, zampeados, lavadero y el drenaje transversal.

Y todas estas estructuras de drenaje que se construyen tienen el objetivo de conducir y prevenir que las aguas no lleguen a la vía de tal manera que no provoquen daños a ésta.

Otras de las estructuras tienen por finalidad el permitir el paso transversal del agua sobre un camino, sin obstaculizar el paso.

1.2 Justificación

Observando que con el pasar del tiempo y la cada vez más difícil manera de encontrar los materiales naturales para la construcción de las obras de arte o drenaje para la red vial municipal de la ciudad de Tarija nos vemos en la necesidad de buscar alternativas para dar una solución que sea garantizada, que no implique aumentar costos económicos y la facilidad y disponibilidad que puede representar el conseguirlos claro que estamos hablando de los materiales artificiales como el ladrillo y sus residuos cerámicos que se presenta como una muy buena alternativa de solución.

Con este tema de investigación lo que se quiere es buscar alternativas de solución para esta necesidad de la búsqueda de materiales naturales para la construcción de obras de arte y drenaje presentando como alternativa inmediata la de los materiales artificiales.

En el costo en obras pequeñas de drenaje, esta alternativa de solución sería muy interesante ya que en lo que se refiere a costos económicos de materiales y la facilidad de conseguirlos se lograría que los tiempos de construcción se redujeran y los costos no se incrementaran.

Lo que se quiere obtener de esta investigación es esa búsqueda de alternativas y posibilidades de solución a esta necesidad de la construcción de las obras de arte con estos materiales artificiales ya mencionados.

Dentro de lo que es el programa de la carrera de ingeniería civil este tema se lo puede haber llegado a ver de una forma muy ligera es por esto que al hacer esta investigación se quiera profundizar y entrar a detalle sobre el tema del uso del el ladrillo y sus residuos cerámicos en obras de arte o drenaje dando así un aporte que más allá va a llegar a servirles a las nuevas generaciones de estudiantes de esta carrera dándole así un aporte académico a estos estudiantes.

1.3 Problema

La obtención de materiales adecuados y el costo que representa la construcción de las obras de drenaje, es una problemática que se debe resolver más aun con la dificultad que se tiene hoy en día para la obtención de estos materiales, por eso es que se presenta como alternativas de solución la utilización de los materiales llamados artificiales como son el ladrillo y sus residuos cerámicos para la construcción de estas obras tan importantes para nuestra red vial municipal, sin embargo para garantizar su uso es necesario realizar un análisis técnico – económico para viabilizar su uso y con esto establecer el margen y la conveniencia en su utilización.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- El objetivo general es analizar técnica y económicamente como alternativa de solución en construcción de obras de drenaje el uso del ladrillo y sus residuos cerámicos sobre todo en la construcción de obras de arte menor de la red vial municipal de Tarija.

1.4.2 Objetivos específicos

Entre los objetivos específicos más preponderantes tenemos:

- Establecer los antecedentes que se tienen para generar la temática que se pretende investigar mediante experiencias vividas basadas anteriormente.

- Establecer los principios básicos por lo que se puede suplir de alguna manera los materiales naturales por los artificiales como el ladrillo y sus residuos cerámicos en la construcción de obras de drenaje en redes viales municipales.
- Estudiar las características de los materiales artificiales para el uso en obras de arte o drenaje.
- Comprobar que el conseguir los materiales artificiales hoy en día es mucho más fácil que encontrar los materiales naturales.
- Realizar un muestreo de lo que son las zonas de procedencia de los materiales artificiales con los que cuenta la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Determinar las características física-mecánicas del material procedente de cada lugar de producción de ladrillo y sus residuos cerámicos.
- Interpretar y evaluar los resultados obtenidos de los estudios realizados.
- Profundizar los conocimientos adquiridos en el estudio de los materiales de construcción como el ladrillo y sus residuos cerámicos en sus diferentes usos, en la carrera de Ingeniería Civil.
- Mostrar que con el uso del ladrillo y sus residuos cerámicos se solucionaría la gran demanda de materiales naturales que tenemos en la ciudad de Tarija.

1.5 Alcance

El trabajo de investigación tendrá como alcance:

El primer capítulo de introducción mostrará de manera general el tema de investigación sobre el uso del ladrillo y sus residuos cerámicos en las obras de arte para la red vial municipal de Tarija, además se justificará las razones por las cuales se quiere realizar esta investigación mostrando así el problema que se nos presenta y las posibles alternativas de solución, también en este capítulo se muestra de forma clara y puntual el objetivo general y los objetivos específicos que se tiene, asimismo se planteará los medios y la metodología que se utilizará para la realización de este trabajo de investigación.

En el segundo capítulo se mostrará los aspectos generales de las obras de arte o drenaje, teniendo en cuenta la gran importancia que representan estas obras para los caminos mostrando algunos criterios de diseño, también se dará a conocer los tipos de drenaje a los cuales involucra este tema de investigación, desarrollado de una manera general estos tipos de drenaje, sus usos y sus ventajas mostrando así su importancia.

En el tercer capítulo inicialmente se nombrará de manera general los materiales naturales comúnmente utilizados en las obras de arte o drenaje mostrando sus características y sus usos, luego se realizará una explicación más detallada de los materiales artificiales que se los presenta como alternativas de solución en obras de drenaje también mostrando sus características y sus usos de estos materiales.

En el cuarto capítulo se pasará a la aplicación práctica que se realizará en este trabajo de investigación ubicando primero las zonas de procedencia de los materiales artificiales que se tienen en la zona, posteriormente hacer una toma de muestras de

estos materiales que son el ladrillo y los residuos de éste como ser el cascajo de ladrillo y el polvo de ladrillo que tratarán de suplir de alguna manera a los materiales naturales como la piedra, la grava y la arena que son los que utilizamos actualmente en la construcción de las obras de arte y drenaje, posteriormente se pasará a la toma de muestras de los materiales artificiales en estudio para luego analizarlos y con los resultados encontrados hacer una evaluación y análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo quinto se determinara las conclusiones de todo el trabajo de investigación que se está realizando, determinando si vale o no la pena del uso del ladrillo y sus derivados en las obras de arte en los caminos de la red vial municipal de Tarija, luego se cita las recomendaciones necesarias para cometer la menor cantidad de errores para poder realizar un correcto trabajo, y también mostrar de donde se sacó parte de la información bibliográfica.

El alcance global de este trabajo de investigación tiene como propósito mostrar una alternativa de solución de materiales naturales por los materiales artificiales realizando un análisis técnico – económico para justificar su uso y con esto ver la ventaja o no de su utilización en la construcción de obras de arte o drenaje para la red vial municipal de Tarija.

1.6 Medios

El trabajo de investigación se lo realizará a través de los siguientes medios:

Con información y bibliografía respecto al ladrillo y sus residuos cerámicos y sus posibles usos y aplicaciones en las obras de arte o drenaje se tendrá los datos preliminares necesarios para el estudio de investigación que se está realizando, como así también datos de producción y costos del material en estudio.

Se contará también con el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, que tiene los equipos necesarios para realizar todos los ensayos correspondientes y necesarios para este trabajo de investigación, los equipos que se utilizará en son para realizar la caracterización se necesitará recipientes para las muestras y el horno para poder secar las muestras, también utilizaremos un juego de tamices y un vibrador Rop-tap para los ensayos de granulometría, para los ensayos de consistencia utilizaremos el equipo casa grande y recipientes entre algunos otros equipos, para hacer las mezclas de los materiales artificiales como agregados de un hormigón utilizaremos mezcladora, vibradora y equipos menores como palas, recipientes, espátulas otros, también se utilizará las probetas y piscinas los ensayos, para por último realizar la rotura de los especímenes con la prensa de rotura de probetas, la universidad cuenta con todo el equipo que se utilizará en este trabajo.

1.7 Metodología.



A continuación está la descripción de la metodología a usarse para la aplicación práctica de este trabajo de investigación que es la siguiente:

Para comenzar se realizará la ubicación clara de la procedencia de los materiales artificiales los cuales son el ladrillo y sus residuos cerámicos para saber a qué distancias se encuentran, luego realizar una inspección de las zonas de procedencia para con esto saber las características de las zonas y poder realizar una recomendable toma de muestras para el estudio de estos materiales.

Posteriormente estas muestras serán sometidas a los ensayos correspondientes para determinar sus características fundamentales, los ensayos que se realizarán son: primero la caracterización de los materiales en estudio, sabiendo primero su procedencia, se pasará a realizar el procedimiento de caracterización, se tiene que determinar su contenido de humedad, hacer ensayos granulométricos, también tenemos que encontrar los límites de consistencia para luego poder clasificarlos a estos materiales artificiales que son el ladrillo, el cascajo de ladrillo y el polvo de ladrillo, todos estos ensayos serán realizados en base a las guías de laboratorio con las que cuenta la universidad.

Después de realizar todos los estudios anteriormente mencionados con los resultados obtenidos se procederá a continuar con el proceso de la preparación de los usos de los materiales artificiales que son el ladrillo y sus residuos de éste, el ladrillo se lo podrá utilizar de forma directa en lo que se refiere a su aplicación como así también los residuos cerámicos se los podrá utilizar en mezclas donde se realizarán las dosificaciones respectivas de los agregados que entre ellos estarán estos materiales artificiales.

En el caso de los usos directos, como ya se tendrá todos los estudios realizados ya se sabrá con los resultados obtenidos todo lo necesario sobre su aplicación.

Y en lo que se refiere a los usos de los materiales artificiales en las mezclas se tendrá que realizar en el laboratorio de suelos de la universidad el siguiente procedimiento: la preparación, el mezclado, el vibrado y compactado, para por último realizar la

rotura de los especímenes en estudio, cumpliendo con los tiempos y las recomendaciones necesarias.

Luego de realizar todos los trabajos de laboratorio necesarios se hará un análisis y una evaluación de todos los resultados obtenidos.

Para por último en base los estudios realizados sacar las conclusiones correspondientes y poder dar las recomendaciones necesarias del estudio de investigación realizado sobre el uso del ladrillo y sus residuos cerámicos en la construcción de obras de arte o drenaje, resaltando los aspectos más importantes que se hayan presentado durante el proceso así como también los problemas que podríamos haber tenido.

CAPÍTULO II

	Página
ASPECTOS GENERALES DE LAS OBRAS DE DRENAJE	12
2.1 Importancia de las obras de drenaje	12
2.2 Criterios de diseño	16
2.3 Tipos de drenaje mayor y drenaje menor	18
2.3.1 Obras de drenaje menor	19
2.3.1.1 Drenaje superficial.	19
2.3.1.2 Tipos de drenaje superficial	20
2.3.1.1.1 Drenaje transversal.....	20
2.3.1.1.1.1 Alcantarillas	20
2.3.1.1.1.2 Drenaje longitudinal.....	23
2.3.1.1.1.2.1 Cunetas.....	23
2.3.1.1.1.2.2 Contracunetas.....	26
2.3.1.1.1.2.3 Zampeados.	27
2.3.1.1.1.2.4 Lavaderos.	29
2.3.1.3 Drenaje subterráneo.	31
2.3.1.4 Tipos de drenaje subterráneo.	32
2.3.1.4.1 Drenaje transversal.....	32
2.3.1.4.1.1 Drenes de interceptación.	32
2.3.1.4.1.2 Contrafuertes de drenaje.	34
2.3.1.4.2 Drenaje longitudinal.....	36
2.3.1.4.2.1 Drenes longitudinales.....	36
2.3.1.4.2.2 Drenes en espina de pez.	37
2.3.1.4.2.3 Zanjas drenantes.....	38

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS OBRAS DE DRENAJE

2.1 Importancia de las obras de drenaje

Dentro de las obras más interesantes y que presentan un reto para el ingeniero civil está la del trazo y elaboración de sistemas carreteros. Desde su diseño hasta su elaboración un camino presenta un sin número de elementos estructurales, uno de los cuales son las obras de drenaje.

Las obras de drenaje son elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad.

Dentro de los muchos factores que determinan la importancia de las obras de drenaje en un camino se puede mencionar que dichas obras son una de las herramientas y estructuras más importantes que influyen directamente en la duración del camino, carretera, autopista u otra vía terrestre de comunicación. El objetivo fundamental del drenaje superficial y subterráneo en los caminos es, en primer término, el destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o que, de alguna u otra forma, llegan al mismo, principalmente las aguas pluviales y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Existen numerosos factores que pueden afectar la duración de un camino. Algunos de estos factores son causados por el agua pluvial. Ya que los caminos son el medio de comunicación más común, es de gran importancia mantenerlos en las mejores condiciones posibles.

Es por esta razón que deben evitar las siguientes situaciones:

- Que el agua escurra en grandes cantidades sobre el camino y por el mismo drenaje superficial y subterráneo, ya que a su paso puede destruir el pavimento originando la formación de socavaciones (baches).
- Que el agua que llega a las cunetas no se estanque provocando azolves que a su vez limitan el funcionamiento adecuado de dicha estructura para trabajar a toda su capacidad.
- Que la humedad se infiltre por los poros de los suelos, ya que es uno de los principales agentes que propician la socavación en los terraplenes que conforman los pavimentos repercutiendo en las obras de drenaje superficial y subterráneo del camino.

Es por estas razones que el mantenimiento del drenaje superficial y subterráneo y aún más su diseño y construcción es muy importante de tomarse en cuenta desde los inicios para así evitar gastos elevados a futuro durante el funcionamiento de una carretera.

Como puede observarse, el prever un buen drenaje superficial y subterráneo representa uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y, por lo tanto debe cuidarse minuciosamente desde la localización misma, tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanentes y naturalmente drenados.

Debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede atravesar diversidad de suelos, algunos permeables, algunos otros impermeables, obligando a que se realice la construcción de obras de drenaje y sub drenaje que disminuyan los efectos nocivos que tiene cada tipo de suelo.

Del agua que se precipita en forma de lluvia y cae al camino, parte de ella se filtra, otra parte se evapora y así, en pequeñas cantidades como normalmente ocurre, se van

generando problemas a lo largo del camino. Este líquido produce infinidad de efectos nocivos y dañinos sobre la sección propia del camino, entre éstos los más importantes están:

- Al escurrir agua sobre un camino, las características mecánicas de los suelos cambian, en cuanto a su resistencia a cortante principalmente; es por ello que se pueden presentar deformaciones o fallas en los taludes y cortes que en su momento fueron estables.
- Si la cantidad de agua recibida no es uniforme en el suelo, pueden originarse asentamientos diferentes por su resistencia desigual causando alteraciones en la rasante por tubificación o filtración, que a su vez provoca agrietamientos en la superficie.
- En algunos casos, ciertos tipos de arcillas y yesos, llegan a originar un aumento de la proporción de agua, lo que normalmente sucede es ,un ensanchamiento de las partículas de estos suelos que pueden dar lugar a fenómenos de aumento de volumen, que producen movimientos en la superficie y costados de la sección del camino.
- Se debe tomar en cuenta que en las zonas donde se producen heladas, la existencia de agua permanente resulta sumamente peligrosa, para los vehículos que circulan, ya que el agua se puede convertir en hielo y provocar que la superficie se vuelva resbalosa.
- Se hace notar que el agua que corre libremente por la superficie del camino, produce una erosión que puede acabar con el mismo casi en su totalidad y provocar daños muy costosos a la infraestructura del camino.

Como puede observarse los efectos nocivos que produce el agua sobre la superficie del camino son muy notorios y variados ya que están ligados unos con otros y modifican las condiciones de servicio para lo cual fue diseñado el camino; algunos estudios sobre caminos en mal estado han revelado que la mala proyección de un

drenaje ya sea superficial o subterráneo inadecuado, es la causa primordial y un factor determinante en los daños que han sufrido éstos. Esto nos da una clara idea de la importancia del drenaje superficial y subterráneo en la construcción de los caminos.

Es muy claro que un mal funcionamiento de un camino, debido a cualquier falla en su estructura, provoca una pérdida muy elevada en la economía. "Los deslaves, asentamientos, quedades y desprendimientos de material encarecen el costo de la conservación y a veces interrumpen el tránsito, ocasionando por lo tanto, un desequilibrio económico".

La experiencia de los ingenieros a través de los años, ha demostrado que un mal funcionamiento del drenaje y subdrenaje provoca distintos factores que afectan la vida útil del camino como los citados anteriormente.

Cuando en un camino se logra obtener el objetivo primordial del drenaje superficial y subterráneo, que es el de garantizar el buen funcionamiento del mismo, y así evitar pérdidas económicas. Para lograr este objetivo es necesario y muy importante que el drenaje y sub drenaje se proyecte acertadamente desde el mismo inicio de su construcción, para así evitar problemas posteriores. El drenaje es uno de los procesos en los cuales se debe tener mayor cuidado en su planeación y elaboración.

El ingeniero al proyectar un drenaje superficial o subterráneo debe tener, además de los conocimientos de carácter general que tiene todo ingeniero, conocimientos especiales y experiencia en caminos, debido a la gran importancia de las obras de drenaje.

Se ha mencionado que el elemento que interviene directamente en la duración de un camino es el agua, es por eso que el cuidado en el estudio debe ser aplicado a cualquier obra por pequeña que ésta sea, pues el drenaje menor es el que mueve y regula la vida del camino y que a la larga, da el índice de economía de él.

Debido a la gran importancia que el drenaje y subdrenaje tiene en las carreteras, casi la cuarta parte del presupuesto total de éstas, está predestinado a las obras de drenaje

como son: alcantarillas, puentes, y otras estructuras que son no menos importantes de considerar.

El factor económico en el diseño del drenaje y subdrenaje, comprende en encontrar la solución que sea más barata a la larga, estimando el costo primario, los planes de mantenimiento y las pérdidas, así como los daños previstos para cada solución.

Es decir, se deben estudiar todas las posibilidades más a fondo para poder dar la solución adecuada y poder determinar las ventajas y desventajas particularmente de cada una de ellas, así como elegir la más apropiada en todos los casos.

El diseño y construcción de un buen drenaje superficial y subterráneo, permite tener una visión clara de lograr una carretera en pocas palabras ideal, es decir de un régimen hidráulico tranquilo de terreno seco y de un nivel de aguas subterráneas que no alcance a perjudicar por capilaridad el suelo y el revestimiento en la superficie de rodamiento.

2.2 Criterios de diseño

La localización y el diseño de las obras de drenaje tienen una gran importancia en el proyecto de vías terrestres, una mala localización o un mal diseño ocasionan graves problemas en el buen funcionamiento de un camino, pues la falla de una obra trae como consecuencia la interrupción del servicio de la vía en operación, así como las molestias causadas a los usuarios por la pérdida de tiempo, además de las pérdidas económicas que pueden ser considerables. De la construcción de las obras de drenaje, dependerá en gran parte la facilidad de acceso y principalmente la vida útil del camino.

Los puntos importantes que deben considerarse en el diseño y construcción de una obra de drenaje, son los siguientes:

Localización del eje de la obra.

- Deberá hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrideros, tomando en cuenta la pendiente, ya que de ésta dependerá el tipo de obra.

Área por drenar.

- Es la superficie que limitada por dos o más líneas del parteaguas y el eje del camino, da el área tributaria del escurridero para el cual se pretende proyectar la obra.

Área hidráulica necesaria.

- Es aquella capaz de dejar pasar un gasto, igual a una lámina de agua de 10 cm de altura durante una hora, producto de la precipitación del lugar.

Selección del tipo de obra.

- El tipo de obra se selecciona una vez calculada el área hidráulica necesaria, de tal manera que la satisfaga adecuadamente y dentro de condiciones de máxima seguridad.

Para una buena elección de tipo de obra de drenaje, debe tomarse en cuenta:

- Área hidráulica necesaria
- Pendiente de la obra (las pendientes serán $>2\%$ y $<1.5\%$ en la superficie del camino)
- Altura mínima y máxima de terraplenes o rellenos

- Materiales de construcción
- Capacidad de carga del terreno
- No deben trabajar a presión

Al cumplir con estas normas las obras de drenaje trabajarán de una manera eficiente y duradera proporcionando las mejores condiciones para los usuarios de los caminos y carreteras.

2.3 Tipos de drenaje mayor y drenaje menor

Las obras de drenaje son los elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad. Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino
- Reducir y eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.

Para llevar a cabo lo anteriormente mencionado, se utilizan diferentes tipos de obras de drenaje como lo son las obras de drenaje mayor y las obras de drenaje menor, que además se las puede subdividir en obras de drenaje superficial y subterráneo.

Cuando hablamos de las obras de drenaje mayor estamos hablando de los puentes y los viaductos, estas son obras de gran envergadura y que tienen mayor cantidad de exigencias para su construcción.

Las obras de drenaje menor son obras que se encargan del cuidado y la protección de la plataforma de una carretera, de la contención de tierras para el bien de la misma.

Las obras de drenaje superficial se construyen sobre la superficie del camino o terreno, y las del drenaje subterráneo bajo éste, con funciones de captación, salida, protección, y cruce.

Algunas de estas obras cumplen con varias funciones al mismo tiempo.

Dado que desde el punto de vista del análisis de Impacto Ambiental, se requiere el conocimiento de las obras, a continuación se describen los tipos de drenaje superficial y subterráneo, así como los criterios para su ubicación y construcción.

Debido a que las obras de drenaje mayor tienen muchas más exigencia para su ejecución es que nos otros en este estudio nos abocamos única y exclusivamente a las obras de drenaje menor, sabiendo que estas pueden cumplir con varios de nuestros puntos planteados en este estudio de investigación.

2.3.1 Obras de drenaje menor

Dentro de estas obras de drenaje menor tenemos las obras de drenaje superficial y las obras de drenaje subterráneo que además las podemos subdividir en obras de drenaje transversales y longitudinales, las transversales son las que atraviesan el camino o vía por debajo de la plataforma transversalmente y las longitudinales que son las que se encuentran paralelas al eje de la vía, estas obras son las que vamos a desglosar de manera general en este capítulo.

2.3.1.1 Drenaje superficial

Es el conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales o de deshielo, su canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática del terreno.

Es práctica habitual combinar ambos sistemas, superficial y subterráneo, para conseguir una total y eficiente evacuación de las aguas.

2.3.1.2 Tipos de drenaje superficial

Dentro de lo que son los tipos de obras de drenaje superficial aquí conocemos las más comunes en nuestro medio y que se dividen en longitudinales y transversales estas son las siguientes:

- Alcantarillas
- Cunetas
- Contracunetas
- Zampeados
- Lavaderos
- Bajadas

2.3.1.1.1 Drenaje transversal

2.3.1.1.1.1 Alcantarillas

Una alcantarilla es un conducto que lleva agua através de un terraplén. Es un paso a nivel para el agua y el tráfico que pasa sobre ella. A diferencia con la plataforma de los puentes, la parte superior de las alcantarillas, generalmente no forma parte del pavimento de la carretera.

Las estructuras de drenaje más espectaculares en una vía terrestre son los puentes y las alcantarillas, responsables principales del drenaje transversal; es decir, del paso de grandes volúmenes de agua, arroyos, ríos, entre otros, a través de la obra, en una dirección perpendicular a ella. Suele llamarse a los puentes obras de drenaje mayor y a las alcantarillas de drenaje menor (Figuras 2.1, 2.2 y 2.3).

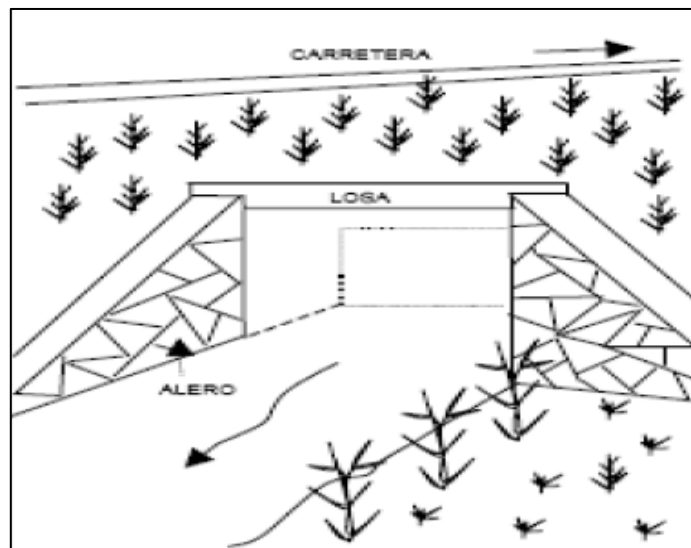


Figura 2.1: Alcantarilla Típica. Losa de Concreto

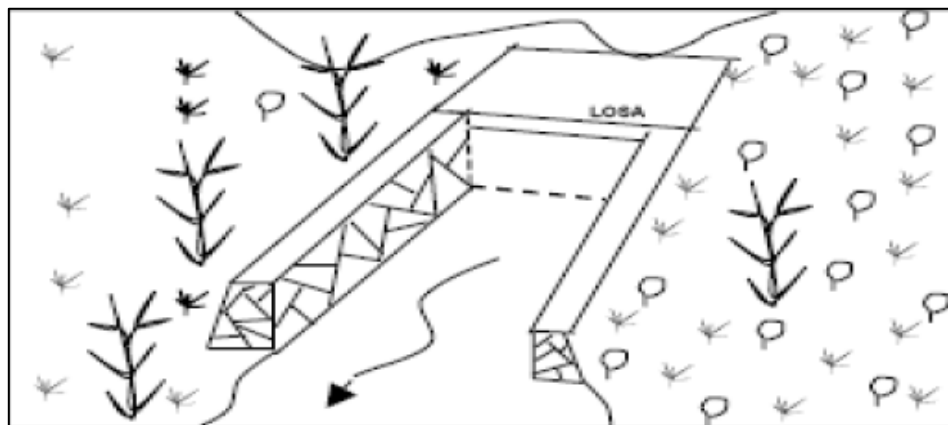


Figura 2.2: Alcantarilla con Losa

Estas obras se presentan regularmente en un terraplén y también en un corte. Son obras necesarias por el claro que se tiene que librar, que en muchos casos son arroyos o ríos que tienen un caudal importante, normalmente un puente tiene una longitud mayor a 6.0 m y se construye de concreto en la mayoría de los casos, aunque también los construyen de estructura de acero.

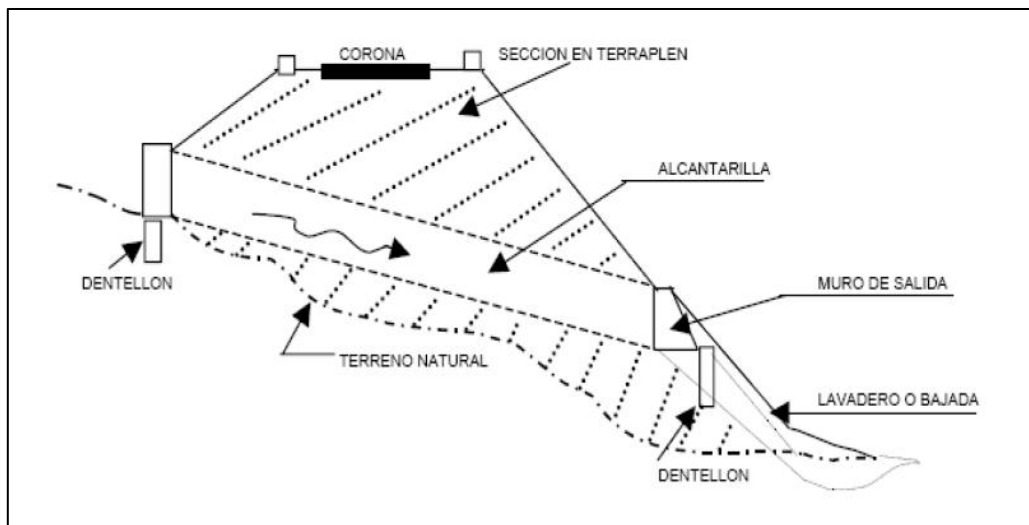


Figura 2.3: Perfil de una Alcantarilla. Colocación en Terraplén

Las alcantarillas existen normalmente en la construcción de un camino entre 3 ó 4 por Km significando en la inversión total de un 15 a 20% del costo total de obra, sus dimensiones son menores a 6.0 m y la construcción varía en forma y materiales.

2.3.1.1.2 Drenaje longitudinal

2.3.1.1.2.1 Cunetas

Las cunetas son zanjas que se hacen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir las aguas provenientes de la corona y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, su diseño se basa en los principios de los canales abiertos. Estas obras de drenaje se pueden presentar en dos tipos: en cortes en balcón donde hay cuneta en un solo lado y en cortes en cajón, donde hay cuneta en ambos lados.

La cuneta se dispone en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. Su situación le permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiere o el terreno natural aguas arriba del corte, si no hay contracunetas. También la cuneta puede recibir agua que haya caído sobre la corona de la vía, cuando la pendiente transversal de ésta tenga la inclinación apropiada para ello.

(Figuras 2.4 y 2.5).

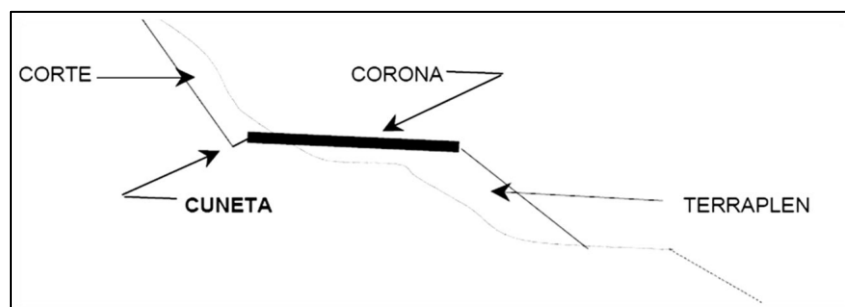


Figura 2.4: Cuneta. Sección en Balcón

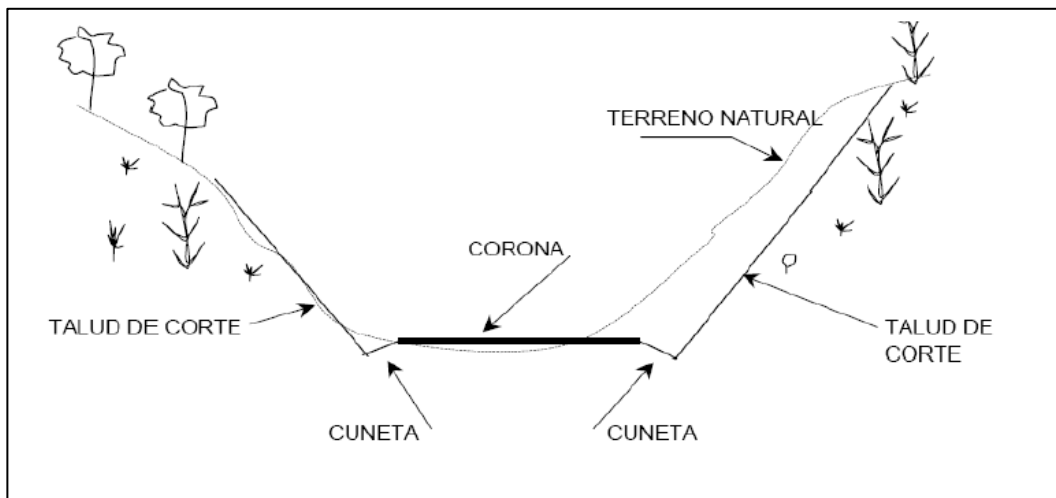


Figura 2.5: Cuneta. Sección en Cajón

La capacidad hidráulica de la cuneta como canal define principalmente la posibilidad de cumplir su función de canalizar y eliminar con rapidez el agua que recolecte. La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%. La velocidad con la que el agua circule sobre ella, debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión, ambos indeseables.

Las cunetas se construyen generalmente de sección trapecial o triangular. En la práctica, la sección triangular es con mucho la más frecuente. (Figura 2.5).

El talud hacia la vía es como mínimo 3:1, preferentemente 4:1 y el del lado del corte sigue sensiblemente la inclinación de éste. Se prevé una lámina de agua de no más de 30 cm.

La sección triangular es la más conveniente y fácil de construir; se conforma al terminar la capa sub-rasante y el trabajo puede hacerse con motoconformadora. Su conservación es también la más sencilla.

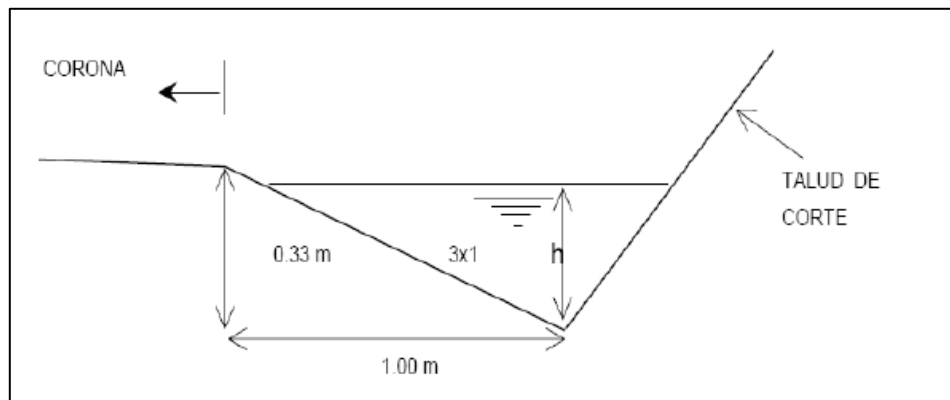


Figura 2.6: Sección Triangular Típica de una Cuneta

En algunas ocasiones se han utilizado las cunetas en terraplenes (Figura 2.7). Se muestra una sección en curva, con la sobreelevación correspondiente. En la corona se muestra un tipo de cuneta que se dispone, en algunas ocasiones, con la función que en otros casos corresponde a los bordillos.

Es posible que esta solución pueda resultar eficiente desde el punto de vista hidráulico en zonas de precipitación intensa y en carreteras de corona ancha.

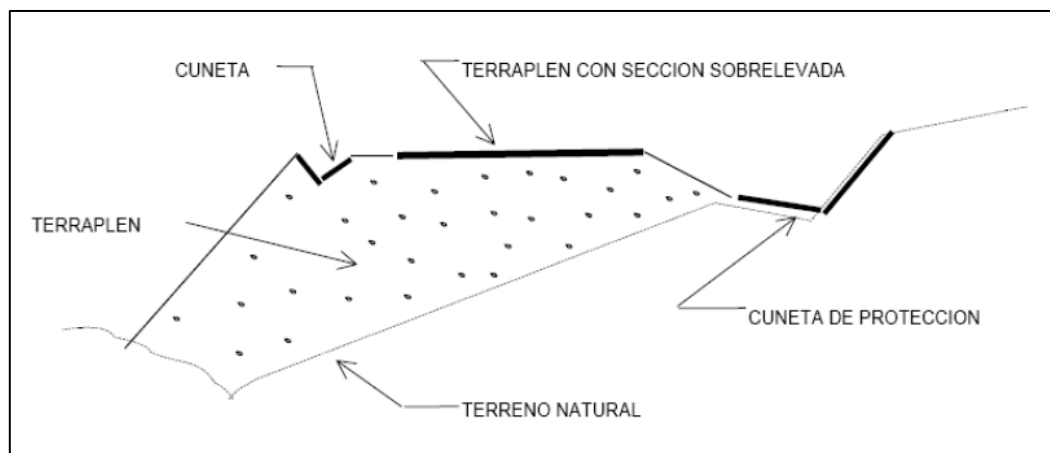


Figura 2.7: Cunetas en Secciones de Terraplén

2.3.1.1.2 Contracunetas

Se denominan contracunetas, a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre (Figuras 2.8 y 2.9).

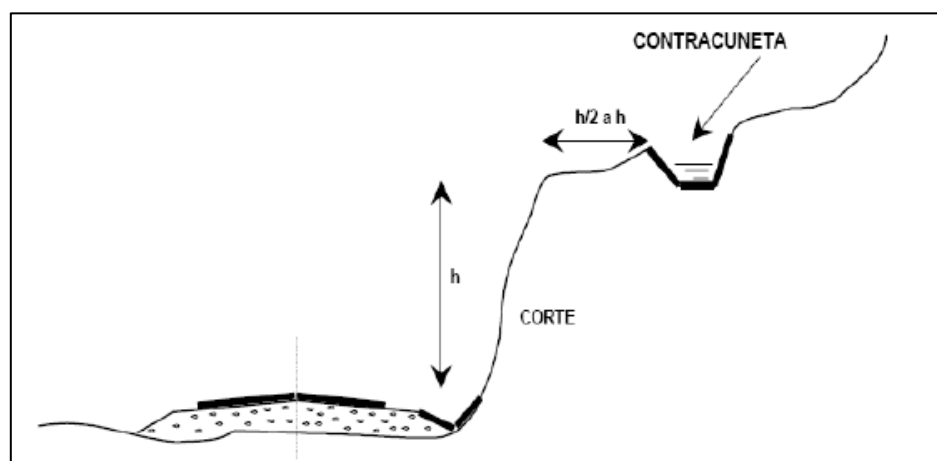


Figura 2.8: Ubicación de una Contracuneta en un Camino

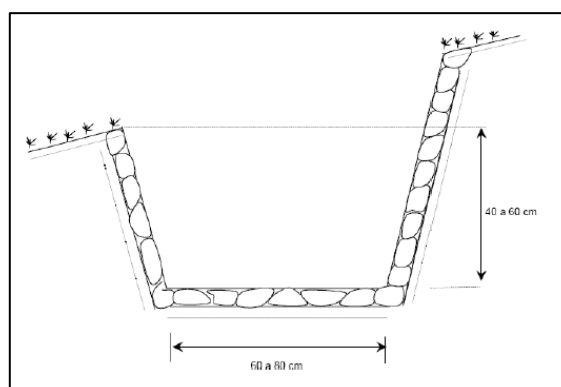


Figura 2.9: Dimensiones de una Contracuneta.

La contracuneta se construye a una distancia variable del coronamiento del corte y depende de la altura de éste; su función es que entre la contracuneta y el propio corte no quede un área susceptible de generar escurrimientos de importancia no controlados, asimismo no debe ser colocada demasiado cerca del corte, a fin de facilitar su trazo y permitir que se desarrolle sobre terreno que no se vea afectado por derrumbes leves, pequeños abatimientos o trabajos de amachine que eventualmente se realicen.

En cortes de altura normal es frecuente que las contracunetas se encuentren a una distancia del coronamiento del corte comprendida entre la altura del mismo y la mitad de ese valor; en cortes altos, el punto más próximo de la contracuneta puede estar a unos 8 ó 10 m del coronamiento del corte.

El desarrollo de la contracuneta debe ser sensiblemente paralelo al propio corte; de esta manera el canal se va desarrollando con pendiente longitudinal.

La contracuneta debe conducir el agua captada a cañadas o cauces naturales en que existan obras que crucen la vía terrestre y es normal que para evitar excesivo desarrollo del canal los extremos lleguen a tener pendientes muy considerables, funcionando como auténticos lavaderos.

2.3.1.1.2.3 Zampeados

Se denomina zampeado a un tipo de estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente tierras.

Los zampeados se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales.

Los zampeados de mampostería podrán ser secos o junteados con mortero.

Los zampeados son recubrimientos de superficies con mampostería, concreto, contruidos sobre superficies de terreno horizontales o inclinadas, como protección contra la erosión y en casos como recubrimiento de acabado.

Los materiales que se utilicen en los zampeados de mampostería que pueden ser ladrillos, bloques de cemento prefabricado o simplemente piedras, deben tener dimensiones tales, que la menor sea igual al espesor del zampeado; se fijarán la dimensión y el peso mínimos de las piedras o los materiales a utilizar. (Figuras 2.10).

Los requisitos mínimos serán los siguientes:

1. Por lo que se refiere a su apariencia y dimensiones, las piedras deberán cumplir con los requisitos que fije el proyecto.
2. En función al tipo de trabajo y condiciones climáticas a que esté sujeto el zampeado, a veces se deberá someter los materiales utilizados en el zampeado a algunas de las pruebas que se mencionan:

Compresión, flexión, desgaste, impacto, absorción, densidad, interperismo, resistencia al efecto combinado de ciclos de temperatura y soluciones débiles de sal.

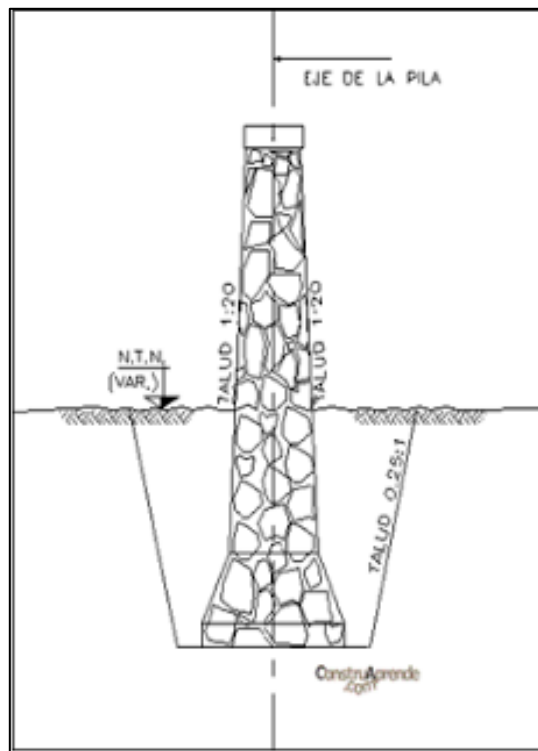


Figura 2.10: Perfil de un zampeado.

2.3.1.1.2.4 Lavaderos

Son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde no cause problemas a la carretera. En general son estructuras de muy fuerte pendiente, característica principal de éstos. Cuando se disponen en los caminos están sobre los terraplenes, sobre los lados en terraplén, de cortes en balcón o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén.

En tramos en tangentes suelen disponerse cada 60 ó 100 m, pero esta separación es variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial en la zona.

La Figura 2.11, 2.12 y 2.13 muestran la planta típica de un lavadero construido en mampostería, un corte según su eje longitudinal y unas perspectivas de su disposición en una carretera y alcantarilla.

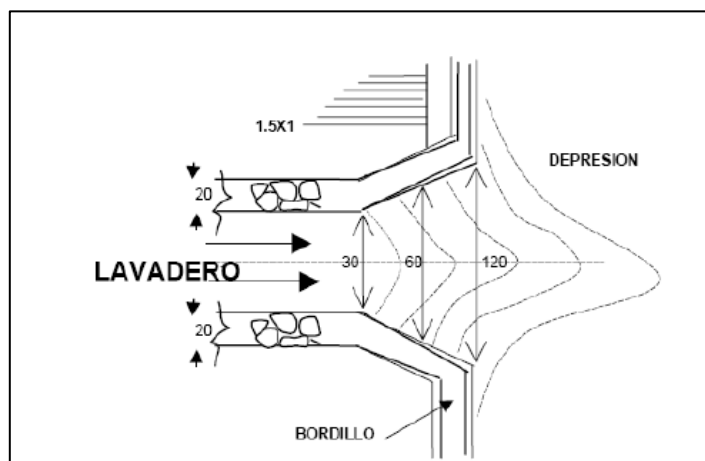


Figura 2.11: Perspectiva de un Lavadero (Planta)

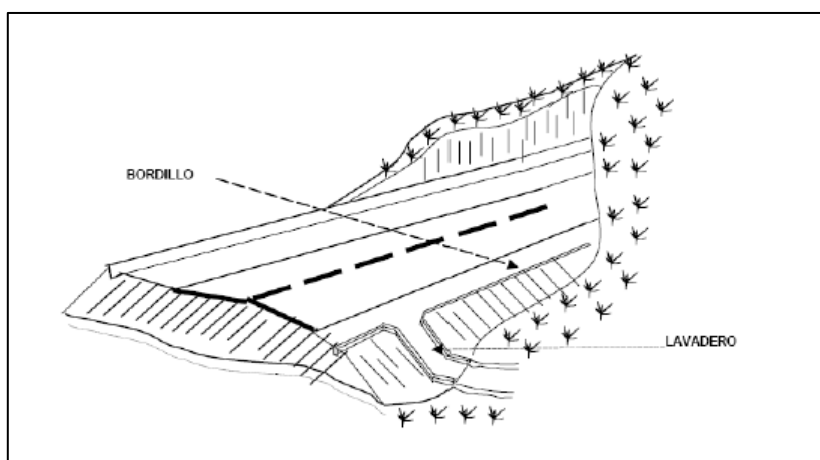


Figura 2.12: Perspectiva de un Lavadero (Perfil)

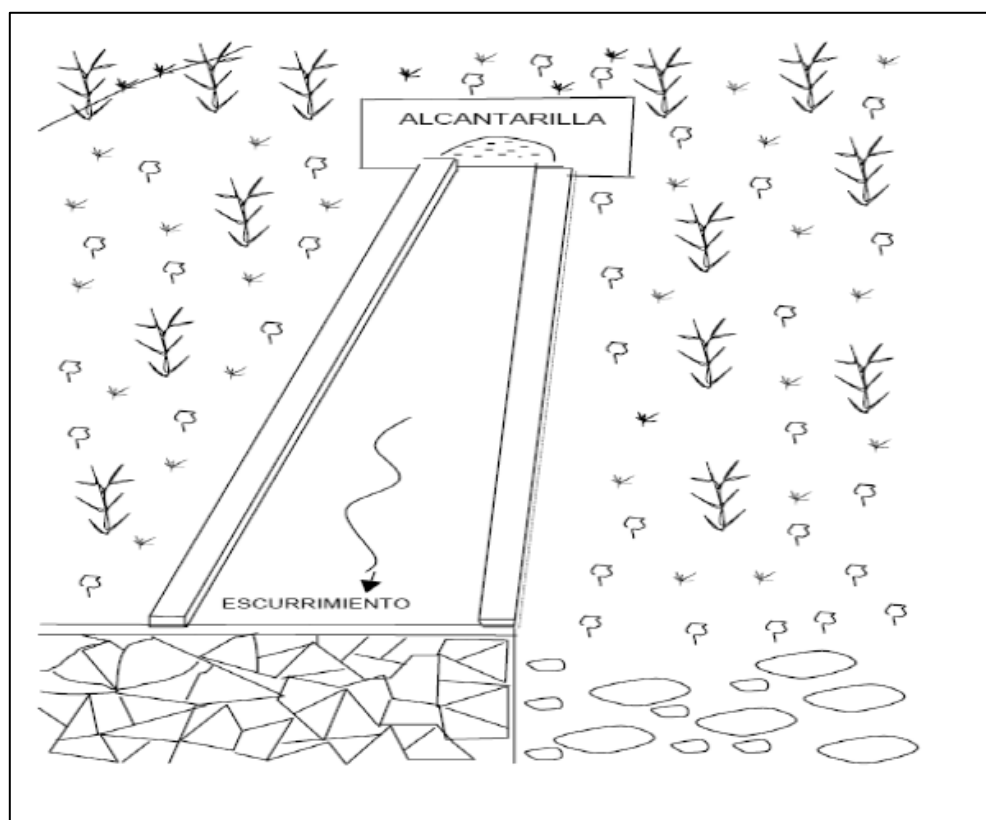


Figura 2.13: Bajada para Defensa de una Alcantarilla

2.3.1.3 Drenaje subterráneo

Su misión es impedir el acceso del agua a capas superiores de la carretera, especialmente al firme, por lo que debe controlar el nivel freático del terreno y los posibles acuíferos y corrientes subterráneas existentes.

Para ello deberá cumplir las siguientes funciones:

- Interceptar y desviar corrientes subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.

- En caso de que el nivel freático sea alto, debe mantenerlo a una distancia considerable del firme.
- Sanear las capas de firme, evacuando el agua que pudiera infiltrarse en ellas.

2.3.1.4 Tipos de drenaje subterráneo

El objeto del drenaje subterráneo en las carreteras, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una y otra forma llega a la misma, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue a la carretera.

Para ello contamos con una serie de tipos de drenaje subterráneo, y los comunes entre otros en nuestro medio son los siguientes:

- Zanjas drenantes
- Contrafuertes de Drenaje
- Capas drenantes

2.3.1.4.1 Drenaje transversal

2.3.1.4.1.1 Drenes de interceptación

Son zanjas drenantes provistas por lo general de tubería drenante en su parte inferior, que tienen por objeto la captación de aguas subterráneas, o el rebajamiento del nivel freático, y que se disponen transversalmente al flujo a captar. Pueden situarse en cimientos de rellenos o al pie de los mismos, al pie o en coronación de los desmontes, en bermas intermedias, etc.

Cuando los rellenos estén cimentados sobre laderas naturales, y se prevea la presencia de agua en la zona de contacto del terreno con el relleno, se deberán proyectar las obras necesarias para mantener drenado dicho contacto.

Podrán proyectarse drenes en el borde alto de dicho contacto, cuando la cimentación sea escalonada podrán asimismo disponerse en los escalones en que se prevea flujo de agua (figura 2.15). La pendiente longitudinal mínima de estos drenes será del uno por ciento (1%).

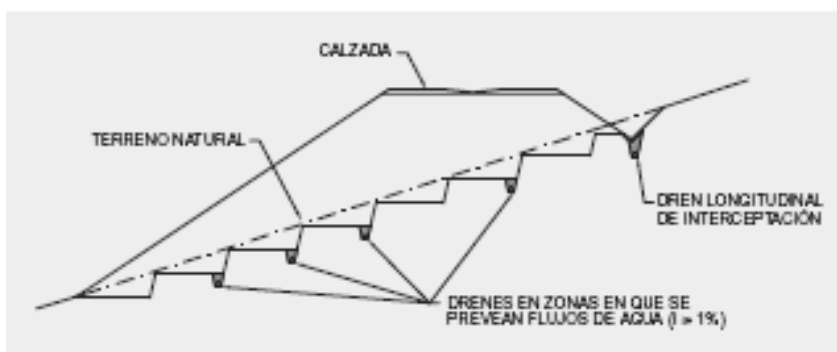


Figura 2.15: Empleo de drenes de interceptación en el cimientado de un relleno

Al proyectar estos drenes, debe tenerse en cuenta que la construcción del relleno puede alterar la distribución de las zonas de afloramiento de las aguas en el terreno natural bajo el mismo, por la eliminación de zonas permeables superficiales, obstrucción de capas permeables profundas, etc.

Drenes longitudinales de interceptación

Son zanjas drenantes que se disponen longitudinalmente a la carretera o elemento a proteger, aguas arriba de los mismos, con el fin de interceptar flujos de agua hacia

éstos. Su profundidad deberá determinarse en el proyecto, en función de las condiciones hidrogeológicas existentes.

Debe tenerse en cuenta en la definición del proceso constructivo la posible influencia del empleo de lodos tixotrópicos en la permeabilidad del elemento en cuestión (y su evolución con el tiempo). Asimismo deberán considerarse las dificultades para la disposición de filtros, tuberías drenantes, etc.

En cualquier caso, el proyecto deberá analizar la estabilidad local y global de las obras, antes, durante y después de la construcción del dren longitudinal de interceptación.

2.3.1.4.1.2 Contrafuertes de drenaje

Los contrafuertes drenantes son un sistema mixto de drenaje y refuerzo de aplicación en taludes de desmonte o espaldones de rellenos, que consta de zanjas drenantes orientadas según líneas de máxima pendiente de los mismos, que además actúan como contrafuertes. Entre dichas zanjas y a diferentes alturas, pueden proyectarse, transversalmente a las primeras, otras de menor o igual profundidad (contrafuertes secundarios) que desagüen a las anteriores, contribuyendo además al refuerzo del paramento en cuestión.

Los contrafuertes se proyectarán con profundidad sensiblemente constante, o variable, en función de las características del terreno y de la importancia relativa de las funciones, de drenaje y refuerzo respectivamente, buscadas en cada aplicación particular. En la figura 2.17 se muestran ejemplos de contrafuertes de profundidad constante y variable.

Aspectos relativos a la función de refuerzo.

El campo de aplicación preferente de los contrafuertes drenantes son los desmontes con oscilaciones de humedad tales que se puedan provocar procesos de erosión e inestabilidad.

Estos elementos son adecuados, en general, en suelos fácilmente excavables y dotados de cierta cohesión. Normalmente se proyectarán con una profundidad suficiente como para penetrar en el sustrato estable, contribuyendo a una mejora resistente del talud en cuestión, según secciones transversales al eje de la carretera. En este sentido, resultan de gran importancia el espaciamiento y dimensiones de los contrafuertes y las características geotécnicas del material que los constituye. (Figura 2.18)

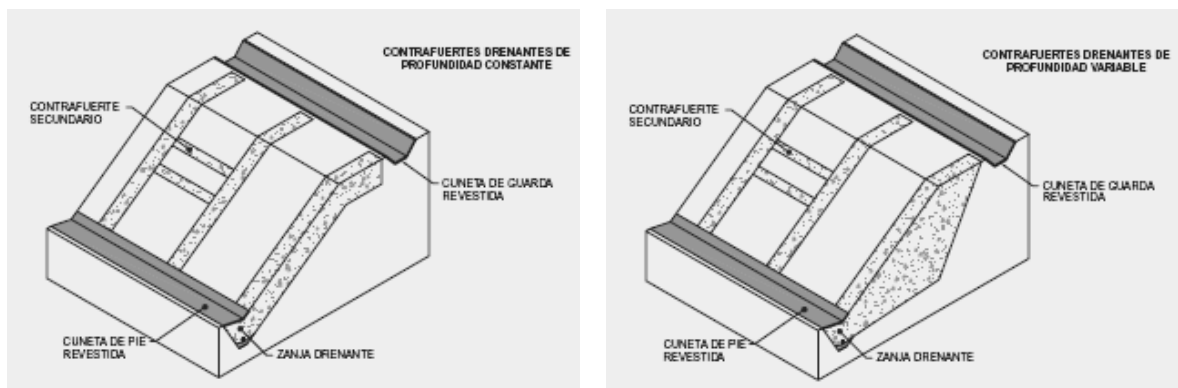


Figura 2.18: Ejemplos de contrafuertes drenantes.

Aspectos relativos a la función drenante

El fondo del contrafuerte debe tener una pendiente uniforme. El proyecto estudiará la conveniencia de impermeabilizar su fondo y colocar tubería drenante.

Para evitar la colmatación de los elementos drenantes, si el refuerzo y el terreno natural no cumplen las condiciones granulométricas, habrá de disponerse un filtro granular o geotextil.

Al pie de los contrafuertes puede proyectarse una zanja drenante transversal a éstos que los conecte.

El proyecto incluirá medidas para evitar, en lo posible, la afluencia de aguas de escorrentía hacia los contrafuertes drenantes, disponiendo los elementos de drenaje superficial que sean necesarios, como cunetas de pie, de guarda, bajantes, etc.

2.3.1.4.2 Drenaje longitudinal

Los drenes son elementos que ayudan a evacuar líquidos acumulados en diferentes zonas del terreno próximas a una carretera o camino por diferentes motivos. Estos sistemas comunican la zona en la que está acumulado el líquido, con el exterior o con un sistema adecuado de evacuación.

2.3.1.4.2.1 Drenes longitudinales

En el caso de drenes longitudinales se utiliza el geotextil en zanjas de intercepción y captación de aguas, basado en la construcción del clásico dren francés (de piedra partida con o sin caño). Mediante el revestido de la zanja con una manta de geotextil se evita el acarreo de los finos del suelo hacia el interior del dren, impidiendo su colmatación y consecuente pérdida de efectividad.

La utilización más corriente de los geotextiles en este caso es la captación y conducción de aguas libres subterráneas, lográndose importantes abatimientos de la napa freática y la interrupción del ascenso capilar del agua hacia las capas superiores.

2.3.1.4.2 Drenes en espina de pez

Para la captación de un conjunto localizado de manantiales o surgencias, los mantos drenantes pueden sustituirse por una red, generalmente arborescente o con forma de espina de pez, constituida por zanjas drenantes que confluyen a una principal que funciona como emisario y que, normalmente, alojará tubería drenante y colector en su interior. Los entronques deberán definirse en el proyecto, mediante piezas especiales entre tuberías, transiciones entre zanjas, arquetas, etc.

El trazado de esta red se determinará de acuerdo con la ubicación de los manantiales o surgencias que hubieran de captarse en cada caso, pudiendo combinarse los drenes en espina de pez con los mantos drenantes (figura 2.14).

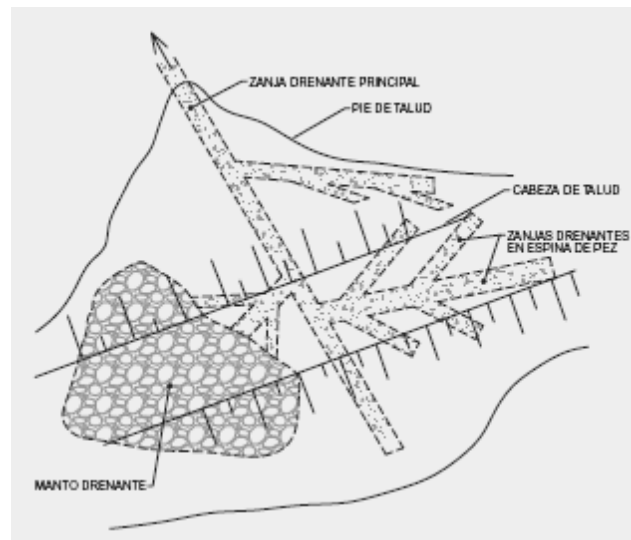


Figura 2.14: Combinación de un manto drenante con drenes en espina de pez

2.3.1.4.2.3 Zanjas drenantes

Son zanjas rellenas de material drenante y aisladas de las aguas superficiales, en el fondo de las cuales se dispone tubería drenante u otros elementos drenantes.

Las zanjas drenantes se proyectarán para proteger las capas de firme y la explanada de la infiltración horizontal, para evacuar parte del agua que pudiera haber penetrado por infiltración vertical, así como para rebajar niveles freáticos y drenar localmente taludes de desmonte o cimientos de rellenos.

Cuando las zanjas drenantes pretendan el rebajamiento del nivel freático, el proyecto deberá determinar la necesidad de efectuar ensayos in situ para conocer el valor de los coeficientes de permeabilidad de los terrenos.

El agua afluirá a las zanjas a través de sus paredes laterales, se filtrará por el material de relleno hasta el fondo y escurrirá por este, o por la tubería drenante.

En caso de que no estuviera bien aislada superficialmente podría penetrar agua de escorrentía, lo que deberá evitarse en todo caso.

En ocasiones, previa justificación expresa del proyecto, podrán omitirse las tuberías drenantes, en cuyo caso la parte inferior de la zanja quedaría completamente rellena de material drenante, constituyendo un dren denominado ciego o francés, en el que el material que ocupa el centro de la zanja es preceptivamente árido grueso.

Ubicación

En un proyecto se deberá definir el trazado y las características geométricas de las zanjas drenantes, que podrán ubicarse bajo cunetas revestidas siempre que se adopten medidas para que no se produzcan filtraciones bajo las mismas.

La distancia entre arquetas o pozos de registro es mejor que no sea superior a 50 m, teniendo en cuenta las necesidades de limpieza y conservación del sistema.

Prescripciones específicas sobre la zanja drenante.

En un proyecto de las zanjas drenantes deben observarse los siguientes aspectos:

- Si el terreno natural y el relleno de la zanja no cumplieran condiciones de filtro, se dispondrá un elemento separador que cumpla algunas condiciones, con el fin de evitar las migraciones de finos que podrían producir erosión interna en el terreno y colmatación en el relleno de la zanja. La colocación de filtros minerales conduce a soluciones muy elaboradas, por lo que en general será preferible el empleo de geotextiles como elementos de separación y filtro, envolviendo la zanja.
- Si el fondo de la zanja no estuviera situado en terreno impermeable, se deberá considerar la conveniencia de impermeabilizarlo. Su pendiente longitudinal mínima se determinará en función del material que lo conforme, si bien en todo caso habrá de ser superior a 0,5%.
- Cuando se lleve a cabo la impermeabilización artificial del fondo, se recomienda disponer una solera de hormigón con sección transversal en forma de «V» o artesa con pendientes iguales o superiores al cinco por ciento (5%).

Desagüe de la zanja drenante

Las zanjas drenantes no deberán recibir más caudales que los captados por ellas mismas en los tramos situados entre pozos de registro. Una vez en el pozo de registro, las aguas se evacuarán a cauce natural, al sistema de drenaje superficial o a colectores.

Desagüe directo

En los casos excepcionales, convenientemente justificados en el proyecto, en los que una zanja drenante hubiera de desaguar directamente al exterior sin haberlo hecho previamente a un colector, deberá garantizarse que el vertido se realice a un punto con salida a la red de drenaje superficial o preferiblemente a un cauce.

En la terminación de la zanja drenante se proyectará una transición geométrica en la que la parte superior se acerque a la inferior que deberá estar impermeabilizada, hasta quedar la sección reducida al propio tubo embebido preferiblemente en hormigón. Asimismo se proyectará una solera y embocadura en la sección de vertido, adecuada a los trabajos de limpieza y conservación previstos. (Figura 2.16 y 2.17)

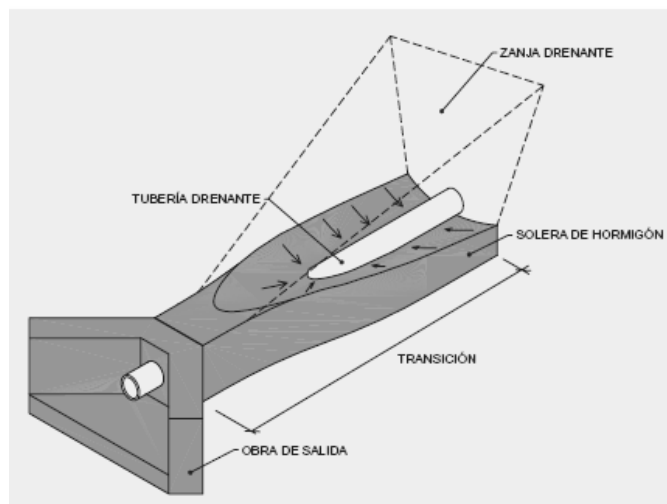


Figura 2.16: Desagüe directo de una zanja drenante.

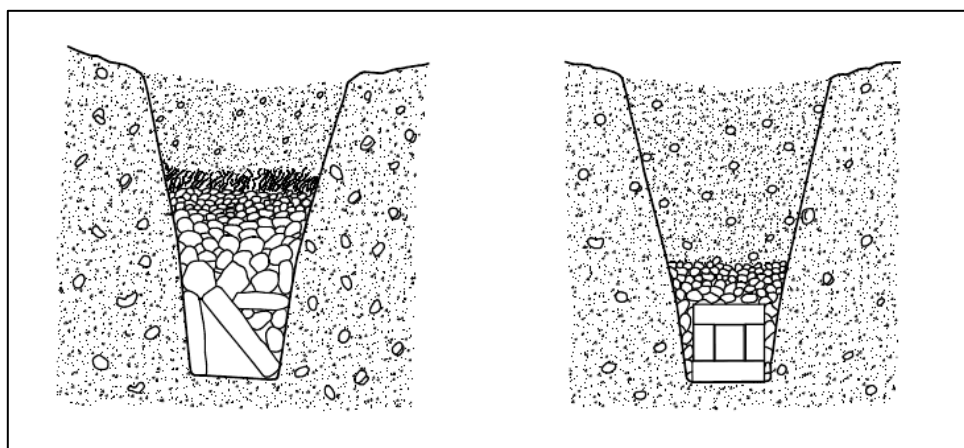


Figura 2.17: Zanjas drenantes.

CAPÍTULO III

Página

MATERIALES ARTIFICIALES EN OBRAS DE ARTE Y SU USO EN LA RED VIAL MUNICIPAL DE TARIJA	42
3.1 Materiales naturales utilizados en obras de arte.....	42
3.1.1 Piedra	43
3.1.1.1 Características.	46
3.1.1.2 Usos en obras civiles.....	51
3.1.2 Grava	53
3.1.2.1 Características	55
3.1.3 Arena	59
3.1.3.1 Características	60
3.1.4 Usos de la grava y arena en obras civiles.....	63
3.1.4.1 Morteros.....	64
3.1.4.2 Hormigones.....	67
3.1.4.3 Clasificación del hormigón	68
3.2 Materiales artificiales en obras de arte.....	71
3.2.1 Ladrillo.....	71
3.2.1.1 Introducción	72
3.2.1.3 Características	73
3.2.1.4 Tipos de ladrillo	76
3.2.1.5 Usos del ladrillo en obras de drenaje	78
3.2.2 Cascajo cerámico de ladrillo	78
3.2.2.1 Características	78
3.2.3 Polvo de ladrillo	79
3.2.3.1 Características	80
3.2.4 Usos del cascajo y el polvo de ladrillo en obras de drenaje	81
3.3 Red vial municipal de Tarija.....	82
3.3.1 Inventario Vial del Departamento	86
3.3.2 Inventario Vial de las Redes Viales.....	88

CAPITULO III

MATERIALES ARTIFICIALES EN OBRAS DE ARTE Y SU USO EN LA RED VIAL MUNICIPAL DE TARIJA

3.1 Materiales naturales utilizados en obras de arte

Llamamos materiales naturales o agregados naturales a los materiales que proceden de la litosfera, capa que está en la superficie exterior de la tierra y se extiende en promedio hasta aproximadamente 100 km de profundidad.

Los materiales que en este caso a nosotros nos interesan son la piedra, la grava y la arena que son elementos que utilizamos de gran manera en la ingeniería civil y también por supuesto en obras de arte o drenaje que es lo que estamos estudiando.

Los agregados, también llamados áridos, son materiales de forma granular de origen natural que constituyen entre el 65 y el 85 % el volumen total del hormigón y que aglomerados por el cementante, conforman el esqueleto granular del hormigón. Su estudio está más que justificado porque de sus propiedades dependen las que tienen que ver con la resistencia, rigidez y durabilidad del hormigón.

Como agregados para hormigón se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una alta resistencia mecánica, no alteran ni afectan las propiedades y características del hormigón y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cementante.

3.1.1 Piedra

Las piedras naturales se hallan en la naturaleza formando masas considerables, denominadas rocas, las cuales están formadas por asociación de minerales o cuerpos de la misma composición química y forma cristalina. Las más utilizadas en la construcción se componen de minerales tales como el cuarzo, el feldespato y la mica entre otros.

La piedra que se utiliza en términos de construcción es la de origen geológico clasificándolas en rocas eruptivas o ígneas, sedimentarias y metamórficas. La Asociación Internacional de Normas en el Mundo Entero (ASTM) por sus siglas en inglés en su estándar C292 respalda esta clasificación.

- Rocas Eruptivas o Ígneas

Las rocas ígneas o eruptivas se forman por la solidificación de magma volcánica. Su tamaño depende de la forma en que se enfría la piedra, un enfriamiento lento produce rocas gruesas mientras que uno rápido da como resultado piedras finas.

Están compuestas de silicatos de potasio, sodio, aluminio, hierro y magnesio.

Se consideran ácidas cuando tienen del cincuenta al ochenta por ciento de anhídrido silícico, tienen cuarzo libre, calcio, aluminio y sodio presentándose en colores claros. Las rocas ígneas básicas tienen del cuarenta al cincuenta por ciento de silicato y carecen de cuarzo libre, son de colores oscuros

La roca eruptiva más utilizada como material de construcción es el granito, roca ácida de grano grueso formado principalmente de cuarzo, feldespato y mica lo que la hace muy dura, fuerte y resistente a cambios climatológicos.



Figura 3.1: Muestra de roca ígnea.

- Rocas Sedimentarias

La formación de estas rocas se da en dos procesos: primero se depositan sedimentos ya sea fragmentos de rocas, esqueletos de animales, o bien, descomposiciones químicas de aguas. El segundo proceso es la cristalización de estos depósitos para formar la roca dura, dándose este paso por medio de acciones químicas de los gases contenidos en el agua. Algunos ejemplos de rocas de construcción obtenidos de piedras sedimentarias son las calizas, areniscas, arcillas, entre otras.

Las piedras areniscas son producto de la fragmentación de rocas primitivas como las ígneas, raramente se forman con una sola roca y se les denomina así porque se componen de arenas silíceas, arcillosas, calizas, etc.

El papel que desempeñan en una construcción es muy importante pues con ellas se forman los morteros y hormigones.

Las arcillas son pequeñas partículas que se pueden confundir con tierra, siendo su característica principal la plasticidad, es decir la capacidad de tomar cualquier forma y mantenerla, utilizada primordialmente en la fabricación de cerámicas, ladrillos y tejas.

Las piedras calizas se forman normalmente de esqueletos y pequeñas partículas de animales acuáticos cementadas, formando un importante material de construcción ya que se puede aplicar según su estructura desde la mampostería hasta como elementos decorativos.



Figura 3.2: Muestra de roca sedimentaria.

- Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas son el producto de la cristalización de depósitos sedimentarios debido a la acción de grandes presiones, temperaturas elevadas en la corteza terrestre y emanaciones de gases volcánicos.

Estas piedras pueden ser consideradas parte de las rocas ígneas o sedimentarias, siendo la diferencia el cambio en textura, estructura y composición mineral debido a los factores antes mencionados. Los representantes más conocidos de esta clasificación son los mármoles y pizarras.

Su extracción se da en explotaciones a cielo abierto conocidos como canteras, se deben obtener sin el uso de explosivos para evitar se formen grietas, una vez obtenidos se cortan según las necesidades para el uso en la obra.

Las pizarras son rocas que provienen del metamorfismo de las arcillas y según su grado de transformación puede ser catalogada como piedras para techar, para pavimentar, esmerilar y afilar cosas en la construcción.



Figura 3.3: Muestra de roca metamórfica.

3.1.1.1 Características.

Para la adecuada utilización de la piedra se han de conocer algunas de sus Propiedades Básicas tales como: la apariencia, estructuras, resistencia, peso, dureza, tenacidad, porosidad y absorción, erosión, trabajabilidad, resistencia al fuego, densidad, conductividad térmica.

Las propiedades que han de tener las piedras son:

- **Apariencia:** para trabajos de fachada (piedra vista), debe de tener una textura adecuada y compacta. El color claro es más adecuado ya que es más durable.
- **Estructura:** La piedra partida no debe tener un color apagado y debe tener una textura libre de cavidades, fisuras, y libre de material blando. Las estratificaciones no han de ser visibles a la vista.

- **Resistencia:** La piedra ha de ser fuerte y durable a la resistencia a la acción de desintegración del tiempo. La resistencia a la compresión de las piedras de los edificios, en la práctica oscilan entre 60 y 200 N/m².

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PROMEDIO)	
	Kgf/cm ²	MPa
Granito	1842	181
Felsita	3304	324
Trapa	2890	283
Caliza	1617	159
Arenisca	1336	131
Mármol	1188	117
Cuarzita	2566	252
Gneis	1498	147
Esquistos	1713	170

Tabla 3.1: Resistencia a compresión de rocas utilizadas comúnmente como agregados para hormigón.

Fuente: manual de agregados para el hormigón (Universidad Nacional de Colombia)

- **Peso:** Es el indicativo de la porosidad y densidad. Para la estabilidad de una estructura como un dique, represa, etc. se requieren piedras más densas, sin embargo para la construcción de cúpulas, arcos, etc. se necesitan menos densas.
- **Dureza:** Esta propiedad es muy importante para suelos, pavimentos, carril (pista) de puentes, etc. Se determina por la escala de Mosh.
- **Tenacidad:** La resistencia al impacto que tiene la piedra.
- **Porosidad y absorción:** La porosidad depende de la componente mineral, tiempo de enfriamiento y forma estructural. Una piedra porosa se desintegra o

de producen fisuras internas al congelarse el agua que tiene absorbida debido al aumento del volumen.

La capacidad de absorción máxima admitida para algunas piedras están definidas en la siguiente tabla:

Absorción de Agua por Volumen a 24 Horas Sumergida		
Número	Tipo de Piedra	Absorción de Agua (%)
1	Arenisca	10
2	Caliza	10
3	Granito	1
4	Trap	6
5	Esquisto	10
6	Gneis	1
7	Pizarra	1
8	Cuarcita	3

Tabla 3.2: Absorción de agua (%) de las piedras.

Fuente: manual de agregados para el hormigón (Universidad Nacional de Colombia)

- **Erosión:** La resistencia a la erosión a causas naturales debe ser alta.
- **Trabajabilidad:** Ha de ser económicamente viable a cortar, darle la forma y tamaño adecuado.
- **Resistencia al fuego:** Las piedras han de estar libre de carbonato cálcico, óxidos de hierro, y minerales con coeficiente de expansión térmica. Las rocas de ignición presentan desintegración debido al cuarzo el cual se desintegra en

pequeñas partículas a temperaturas de 575 °C. La caliza, sin embargo, puede resistir temperaturas un poco más elevadas: alrededor de 800 °C se desintegra.

- **Densidad:** la densidad de todas las piedras está entre 2.3 a 2.8 Kg/dm³.

NOMBRE	Densidad promedio, Kg/dm ³	Rango de variación, Kg/dm ³
Basalto	2.80	2.60 - 3.00
Pedernal	2.54	2.40 - 2.60
Granito	2.69	2.60 - 3.00
Arenisca	2.69	2.60 - 2.90
Hornblenda	2.82	2.70 - 3.00
Caliza	2.66	2.50 - 2.80
Porfido	2.73	2.60 - 2.90
Cuarzita	2.62	2.60 - 2.70

Tabla 3.3: Densidad en bruto de diversos tipos de rocas.

Fuente: manual de agregados para el hormigón (Universidad Nacional de Colombia)

- **Movimiento térmico:** pueden causar problemas por ejemplo en uniones cuando aparece la lluvia. El mármol tiene variaciones cuando está expuesto al calor se expande, al enfriarse no vuelve al estado inicial.

Entre los ensayos se podrían destacar la densidad, absorción de agua, resistencia a la heladas, resistencia al ambiente (podría ser ácida), determinación de la cristalización y la resistencia a compresión que se deberán de determinar para evitar el deterioro de la piedra y ampliar su durabilidad.

Deterioro y Durabilidad Deterioro de la Piedra

- **Lluvia:** La lluvia afecta tanto físicamente como químicamente a la piedra. La acción física es debido a la erosión y capacidad de transporte de la descomposición, oxidación e hidratación de los minerales presentes en la piedra.
- **Heladas:** el agua interna de las piedras se congela y al expandirse produce fisuración.
- **Viento:** El arrastre de partículas sólidas produce abrasión.
- **Cambio de Temperaturas:** Si las rocas están producidas con minerales de diferentes coeficientes lineales de expansión, puede ocurrir un deterioro.
- **Vegetales:** los materiales orgánicos e inorgánicos en contacto con humedad o agua de lluvia puede producir el comienzo de un proceso bacteriológico, lo que produce una descomposición.
- **Descomposición Mutuo:** la utilización de diferentes tipos de piedras a la vez, produce la descomposición mutua. Por ejemplo, la arenisca se utiliza bajo la caliza, el agua de lluvia que cae sobre la caliza es arrastrado a la arenisca y se descompone.
- **Agentes Químicos:** hongos, ácidos, hongos ácidos en la atmósfera deterioran la piedra. Las piedras compuestas de CaCO_3 , MgCO_3 son afectadas negativamente.
- **Lichens:** Destruye la piedra caliza, sin embargo protege el resto de las piedras.

Durabilidad de la Piedra.

Piedras con capacidad muy alta de absorción de agua no deben utilizarse, o estar expuestas a ambientes de hielo-deshielo. La piedra porosa es menos durable que la

piedra densa. Las piedras con poros tortuosos son más perjudiciales que los que tienen la misma porosidad pero con los poros rectos.

La pirita, magnetita y el óxido de hierro carbonatado causan decoloración de las piedras en las cuales están presentes.

3.1.1.2 Usos en obras civiles

La utilización de la piedra depende de la naturaleza del trabajo, tipo de estructura en la cual se va a utilizar, disponibilidad y coste del transporte. Como material estructural las piedras más utilizables son: el granito, gneis, arenisca, caliza, mármol, cuarcita y pizarra.

Se pueden distinguir diferentes aplicaciones como:

- **Cimentaciones y Paredes:** Piedras de canteras, partidas y cortados mediante sierras se utilizan para construir estructuras subterráneas de los edificios. Las piedras partidas y cortadas como la calizas, areniscas, dolomitas y volcánicos se utilizan para paredes, pilares, etc.
- **Fachadas y Elementos Arquitectónico:** piedras de fácil pulido y agradable textura.
- **Elementos de Edificios:** escaleras, descansillos, parapetos, etc. son fabricados de granito, mármol, caliza etc. Las losas y piedras para los dinteles de puertas y ventanas, cornisas son hechos con las mismas losas que la fachada.
- **Estructuras Subterráneas y Puentes:** se construyen con rocas de ignición y sedimentación. Túneles y partes inferiores de los puentes se construyen con granito, diorita, garbo y basalto. Las piedras vistas y de fachada para túneles y puentes son hechas con piedras con surcos y acabados ondulados.

- **Elementos con Resistencia al Calor y Químicamente Resistentes:**
 - Para condiciones de trabajo a altas temperaturas, han de ser hechos con basalto, andesita y tuff.
 - Los elementos de los edificios se protegen contra ácidos, utilizando una losa hecho de granito o piedras silíceas.
 - Los calizos, dolomíticos, mármol y magnesita tienen una excelente resistencia a los alcalinos.



Figura 3.4: Muros zampeados de piedra.



Figura 3.5: Cuneta zampeada con piedra.



Figura 3.6: Bordillos zampeados con piedra.

3.1.2 Grava

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

Agregado grueso (Grava). Se define como agregado grueso al material pétreo superior a un diámetro de 4.75mm, proveniente de la disgregación natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C33.

Pueden ser producidas por el hombre, en cuyo caso suele denominarse “piedra partida” o “chancada”, y naturales. En este caso, además, suele suceder que el desgaste natural producido por el movimiento en los lechos de ríos ha generado formas redondeadas, pasando a conocerse como canto rodado.

Estos áridos son partículas granulares de material pétreo, es decir, piedras, de tamaño variable. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la

corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. En este último caso actúan los procesos de chancado o triturado utilizados en las respectivas plantas de áridos. El material que es procesado corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita.



Figura 3.7: Grava de canto rodado.



Figura 3.8: Grava chancada.



Figura 3.9: Gravilla.

3.1.2.1 Características

La grava es inerte frente al cemento por lo que no produce reacciones secundarias perjudiciales.

Limpieza y ausencia de impurezas dando resultados correctos en resistencia y fraguado.

Sus propiedades fundamentales son: resistencia, dureza y durabilidad al igual que las piedras, lo que las diferencia son sólo las dimensiones.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad.

El tamaño mínimo será de 4,8mm de hay para abajo ya es arena.

- **Tamaño de las partículas.**

Granulometría (Grava). El agregado grueso debe estar graduado dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C33, donde la distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas, considerando el tamaño máximo del agregado según el requerimiento de dosificación, el límite que separa el agregado fino de los agregados gruesos queda retenido en el tamiz N°4 – 4.75mm.

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en su sección transversal.

La clasificación más común es la que se muestra en la tabla 3.4, donde se indican los nombres más usuales de las fracciones y su utilización como agregados para hormigón.

Tamaño de las Partículas (mm)	Denominación	Clasificación	Utilización del agregado en el hormigón
Inferior a 0.002 mm	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0.002 mm - 0.074 mm	Limo	Fracción muy fina	Recomendable hasta un % definido
0.074 mm - 4.76 mm	Arenas	Agregado fino	Material apto para hormigones y morteros
4.76 mm - 19.1 mm	Grava ¾"	Agregado grueso	Material para hormigón armado y pretensado
19.1 mm - 50.8 mm	Grava 2"	Agregado grueso	Material para hormigón armado en cimentaciones
Superior a 50.8 mm	Piedra	Agregado grueso	Material para hormigón sin Refuerzo

Tabla 3.4: Clasificación general del agregado según su tamaño.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

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

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

- Según su forma

Los agregados procedentes de rocas naturales, sometidos a un proceso de trituración y clasificación tienen formas que varían desde cúbicas o poliédricas a las esquirlas alargadas o laminares aplanadas, o las de forma de cascós.

Mientras los agregados de río o depósitos aluviales tienen formas redondeadas o aplanadas.

CLASIFICACION	DESCRIPCION	EJEMPLO
Redondeadas. 	Totalmente desgastadas por el agua o completamente formadas por fricción	Gravas de río o de playa, arenas del desierto
Irregular 	Irregulares por naturaleza parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados.	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea.
Escamosa 	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular 	Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.	Rocas trituradas de todo tipo y escoria triturada.
Alargada 	Material que suele ser angular, cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones.	Se encuentra en algunos depósitos naturales en forma de lajas.
Escamosa y alargada 	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor.	Agregados de rocas meteorizadas

Tabla 3.5: Clasificación de los agregados según su forma.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

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

Generalmente en el concreto se utiliza piedra quebrada. No debe usarse piedra quebrada de un solo tamaño y el diámetro nunca debe ser mayor que la distancia libre entre el acero de refuerzo y la pared de la formaleta o del bloque. En el concreto corriente se emplea la mezcla de piedras tercera y cuarta. En las vigas corona y de fundación de la casa de un piso debe considerarse especialmente el grueso de la piedra porque se trabaja con paredes delgadas que hacen difícil el paso de la piedra grande entre la armadura.

A menos que específicamente se indique lo contrario, el tamaño máximo del agregado que deberá usarse en las diferentes partes de la obra será:

TAMAÑO MÁXIMO	USO GENERAL
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1 m de espesor.
38 mm (1½")	Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 30 cm a 1 m de espesor.
19 mm (¾")	Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 30 cm de espesor.

Tabla 3.6: Usos generales de acuerdo a sus tamaños.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

- Según su textura

La textura es el estado de pulimento o degradación en que se encuentra la superficie del material. Incide notablemente en las propiedades del hormigón especialmente en la adherencia entre las partículas del agregado y la pasta de cemento además de

influir en las condiciones de fluidez mientras la mezcla se encuentra en estado plástico.

TEXTURA SUPERFICIAL	CARACTERÍSTICAS
Vítrea	Fractura concoidal
Lisa	Desgastada por el agua o lisa debido a fractura de roca laminada o de grano fino.
Granular	Fractura que muestra granos más o menos redondeados en forma uniforme.
Áspera	Fractura áspera de granos finos o medianos que contengan parte cristalinas difíciles de detectar.
Cristalina	Con partes cristalinas fáciles de detectar.
En forma de panal	Con cavidades y poros visibles

Tabla 3.7: Textura superficial de los agregados.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

3.1.3 Arena

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

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm). Una partícula individual dentro de este rango es llamada «grano de arena». Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca (o psamita). Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se

denominan limo, y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava.

El árido fino o arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el hormigón fraguado y endurecido.

La adecuación de un árido para la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

3.1.3.1 Características

Agregado fino (Arena). Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas que no supera los 9.5 mm de diámetro según las normas CBH87 y la ASTM. Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; y que arrastrados por las corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados.

La arena es el agregado de mayor responsabilidad, a diferencia de la grava. El agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una arena de buenas características. Las mejores arenas son las de río que tiene mayor resistencia y durabilidad.

Las arenas que provienen de trituración son también excelentes, siempre que sea producto de rocas sanas y sin presencia de limos. Las arenas de procedencia caliza siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas. La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de hormigones sobre todo cuando se dosifica en volumen.

Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

Arena media: es aquélla cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm. Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes.

Composición

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebran en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento.

Calidad

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso:

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz n° 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	3%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na_2SO_4)	10%

Tabla 3.8: porcentajes máximos de sustancias dañinas.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (Universidad Nacional de Colombia)

Granulometría

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

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

Tabla 3.9: Límites de granulometría según ASTM C33.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

Módulo de fineza o finura

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino deberá tener un módulo de finura que no sea menor de 2,7 ni mayor de 3,5. Se utilizan cernidores calibrados para medir el grado de granulometría. En términos de mecánica de suelos, ambas palabras son sinónimas para indicar este valor.

MÓDULO DE FINURA	
Ideal	2,8 – 3,4
Tolerable	2,7 – 3,5

Tabla 3.10: Módulo de finura según ASTM C33.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón (UNC)

3.1.4 Usos de la grava y arena en obras civiles.

- Grava.

Grava: Agregado grueso de tamaño máximo mayor o igual a 20 mm

Gravilla: Agregado grueso de tamaño máximo menor o igual a 20 mm

Las gravas son resultantes de la desintegración natural y abrasión de las rocas o de procesamiento de conglomerados débilmente ligados.

Se usa como áridos en la fabricación de hormigones. También como lastre y revestimiento protector en cubiertas planas no transitables, y como filtrante en soleras y drenajes.

Por lo general la grava es de diámetro reducido, generalmente entre 6,4 y 9,5 mm (1/4 y 1/3 de pulgada) que ha sido cribada en condiciones determinadas.

La arena y la gravilla se extraen y se tratan de diferentes maneras en todo el mundo. Nuestras bombas de hierro resistentes para dragado y gravilla, las bombas para lodo revestidas de goma y las válvulas para lodo se usan mucho en esta industria en todo el mundo.

En todas partes del mundo donde se construyen caminos, edificios e infraestructura se necesitan cantidades importantes de arena y gravilla en las cercanías del sitio de la construcción. Esto a menudo implica el dragado y el lavado de la arena y/o gravilla para eliminar impurezas indeseables del material y para satisfacer las especificaciones requeridas.

- Arena.

Arena: Agregado fino resultantes de la desintegración natural y abrasión de las rocas o de procesamiento de conglomerados débilmente ligados sus tamaños van de 0,15 a 4,75 mm.

La arena es utilizada en la fabricación de morteros y hormigones, éstos son elementos que utilizamos comúnmente en la construcción de obras de arte o drenaje en nuestras vías.

3.1.4.1 Morteros

El I.E.T. (Instituto de ingeniería y tecnología) basado en la normativa ASTM-C109 utiliza la siguiente clasificación de morteros según su resistencia.

Tipo de Mortero	Resistencia Característica (MPa)
E (Elevada)	15
I (Intermedia)	10
N (Normal)	5

Tabla 3.11: Tipos de morteros y sus resistencias.

Fuente: I.E.T. (Instituto de ingeniería y tecnología)

- El volumen de arena debe estar comprendido entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento.
- La resistencia a compresión mínima a los 28 días debe ser de 5MPa.
- La cantidad de agua a utilizar será la mínima para lograr la trabajabilidad adecuada.

La cantidad de agua utilizada para elaborar los distintos tipos de mortero deberá ser tal que permita obtener adecuadas condiciones de consistencia y trabajabilidad.

El mortero deberá utilizarse antes de transcurridas dos horas y media contadas a partir del momento de su elaboración.

Si se comprueba que ha comenzado el proceso de endurecimiento, el mortero podrá remezclarse agregándole agua hasta que adquiera su consistencia inicial.

El mortero debe tener una retención de agua según norma ASTM C91, igual o superior al 70%.

Se utilizará, como agregado inerte, arena natural exenta de materias orgánicas.

La granulometría de la arena deberá cumplir con lo indicado en la siguiente tabla.

Malla		Porcentaje que pasa
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 a 100
2.36 mm	No. 8	80 a 100
1.18 mm	No. 16	50 a 85
600 μ m	No. 30	25 a 60
300 μ m	No. 50	10 a 30
150 μ m	No. 100	2 a 10

Tabla 3.12: Granulometría de arena para morteros.

Fuente: Norma ASTM C33 – 90

Por otro lado el método de prueba a compresión que se realizará con la norma ASTM C-109 provee un medio de determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros y los resultados pueden ser usados para la determinación del cumplimiento con las especificaciones. Además, este método de prueba está referenciado por otras numerosas especificaciones y métodos de prueba. El uso de los resultados de este método de prueba para predecir la resistencia de concretos deberá hacerse con precaución.

Juntas: Tanto las juntas horizontales como verticales entre los mampuestos, deberán quedar completamente llenas de mortero.

El espesor de las juntas deberá ser el mínimo necesario para obtener uniformidad en la capa de mortero y una correcta disposición de los mampuestos. Las juntas tendrán un espesor máximo de 2cm, si bien los valores recomendados se sitúan en el orden de 1 cm.

El espesor de la junta necesita ajustarse a límites muy estrechos, no puede ser muy pequeña, pues eso pudiese permitir que por fallas en la ejecución, puntos de las superficies de los bloques acaben en contacto. Esa situación provocará una concentración de tensiones que perjudicaría la resistencia del muro. El espesor adecuado oscila alrededor de 1cm.

Curado del mortero: Deberá efectuarse un eficiente curado de los morteros. La duración del proceso de curado dependerá de las condiciones climáticas, pero en general, deberá durar hasta que el mortero alcance el 70% de su resistencia final.

Para condiciones climáticas normales, el tiempo mínimo de curado será de 7 días.

3.1.4.2 Hormigones

Material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones en cuanto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta aglomerante formada por un conglomerante (cemento) y agua.

A estos componentes básicos, y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas.

El hormigón es un compuesto de dureza similar a la de una roca, que puede ser fabricado completamente a pie de obra. Su gran ventaja estriba en la facultad y facilidad de moldeo, al tomar la forma y figura geométrica del molde, envase o encofrado en que se vierte, y alcanzando, tras un periodo dado de endurecimiento, una gran resistencia a la deformación.

Los componentes fundamentales del hormigón son el cemento, el agua, los áridos y, ocasionalmente, otros productos, aditivos y adiciones, que se incorporan a la mezcla para dotar al hormigón de unas características especiales.

Materiales componentes del hormigón

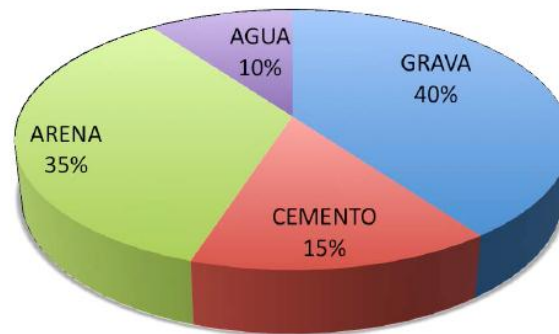


Figura 3.10: Porcentajes de los materiales aproximados componentes del hormigón.

3.1.4.3 Clasificación del hormigón

El hormigón se puede clasificar desde varios puntos de vista, siendo los más comunes: por resistencia y por densidad o peso unitario; cada uno de ellos se debe a un uso específico y/o aplicación particular.

- Por resistencia.

Esta es la propiedad más importante del cemento endurecido en cuanto a requisitos estructurales y por esto está indicada en todas las especificaciones.

Aunque las resistencias deberían ser medidas en pruebas sobre la pasta de cemento puro, no se hace por la dificultad que tiene a ser moldeada dando origen a una gran variación en los resultados.

De acuerdo con lo anterior en la mayoría de los países del mundo se mide la resistencia por medio de morteros hechos con materiales específicos y en condiciones muy controladas. Las pruebas de resistencia que existen son: a compresión, tensión y

flexión, siendo la primera la más importante, puesto que las restantes tienen un valor muy pequeño relativo al de compresión.

Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión a los 28 días el hormigón se puede clasificar en:

Normal: Aquél cuya resistencia se encuentra entre 140 kg/cm² (2000 psi) y 350 kg/cm² (5000 psi).

Alta resistencia: Aquél cuya resistencia se encuentra entre 350 kg/cm² (5000 psi) y 1000 kg/cm² (14000 psi).

Ultra Alta resistencia: Aquél cuya resistencia es superior a 1000 kg/cm² (14000 psi).

Clase de hormigón simple	Resistencia característica cilíndrica de compresión a los 28 días
P1 ≥	40 MPa (400 kg/cm ²)
P ≥	35 MPa (350 kg/cm ²)
A1 ≥	26 MPa (260 kg/cm ²)
A ≥	21 MPa (210 kg/cm ²)
B ≥	18 MPa (180 kg/cm ²)
C ≥	16 MPa (160 kg/cm ²)
D ≥	13 MPa (130 kg/cm ²)
E ≥	11 MPa (110 kg/cm ²)

Tabla 3.13: Identificación del hormigón por clase según ABC.

Fuente: Elaboración propia, basado en manual de especificaciones técnicas ABC.

Identificación del "hormigón de resistencia normal" por Clase					
Clase	Elemento	Uso específico	Resistencia característica mínima (fc'k) [kg/cm2]	Resistencia característica media (fc'k) [kg/cm2]	Resistencia característica máxima (fc'k) [kg/cm2]
H-8	Limpieza, Nivelación	Relleno	80	110	120
H-13	Estructural	Vigas Columnas Losas Cimientos	130	140	170
H-17	Estructural	Vigas Columnas Losas Cimientos	170	190	210
H-21	Estructural	Vigas Columnas Losas Cimientos Zapatas	210	240	250
H-25	Estructural	Pavimento Rígido	250	280	300
H-30	Estructural	Pavimento Rígido	300	350	380
H-38	Estructural	Puentes	380	450	470
H-47	Estructural	Puentes	470	480	-

Tabla 3.14: Identificación del hormigón por clase.

Fuente: Elaboración propia, basado de Geofredo C.

- Por peso unitario (peso por unidad de volumen)

Hormigón ligero: Aquél cuyo peso unitario es menor que 2000 Kg/m³.

Hormigón de peso normal: Aquél cuyo peso unitario está entre 2000 y 2600 kg/m³.

Hormigón de peso pesado: Aquél cuyo peso unitario es mayor que 2600 kg/m³.

3.2 Materiales artificiales en obras de arte

Los denominamos materiales artificiales porque en su proceso de fabricación interviene la mano del hombre.

Sin duda alguna, la industria cerámica es la industria más antigua de la humanidad. Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, especialmente arcillas, que se fabrican en forma de polvo o pasta (para poder darles forma de una manera sencilla) y que al someterlo a cocción sufre procesos físico-químicos por los que adquiere consistencia pétrea. Dicho de otro modo más sencillo, son materiales sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Todos ellos se obtienen al hornear materiales naturales, como la arcilla o el caolín, junto con una serie de aditivos, como colorantes, desengrasantes, etc., todo ello mezclado y cocido en un horno sucesivas veces.

3.2.1 Ladrillo

El ladrillo es un elemento básico para la construcción tradicional. Sin dudas es la pieza fundamental para levantar muros, sin dejar de mencionar que en líneas generales se trata de un rectángulo de arcilla cocida mezclada con otros materiales. Puede tener diferentes tamaños y características diversas, por lo que en esta ocasión

en particular describiremos tanto las distintas clases de ladrillos que existen como sus propiedades.



Figura 3.11: Ladrillo 18H y sus diferentes tipos mitades.

3.2.1.1 Introducción

El tipo de ladrillo más habitual es conocido como macizo tipo M. No hay una medida única, ya que las dimensiones varían dependiendo del país en donde nos encontremos. También se pueden encontrar ladrillos macizos con una especie de hueco en una de sus caras, que sirve para ser rellena con mortero. El nombre de estos últimos es ladrillo de depresión o cazoleta. Los ladrillos macizos tipo P, los cuales disponen de perforaciones en forma de círculo o rombo en una de sus caras, sobresalen por garantizar resistencia en los muros. Los ladrillos más comunes de este estilo son los de cara vista.

Los ladrillos de tipo H son huecos. Cuentan con perforaciones pasantes, dobles o simples en las caras de los costados. Se utilizan especialmente para aquellos tabiques que no deben sostener grandes cargas. También son recomendables para paredes dobles, cuyo aspecto principal es el de tener material aislante entre ambas caras. Otro ladrillo bastante particular es el refractario, el cual se emplea cuando el muro necesariamente tiene que tolerar temperaturas altas por alguna razón determinada.

Presentan altos contenidos de sílice y/o alúmina, sin dejar de mencionar que se utiliza principalmente en hornos y chimeneas.

Anteriormente mencionamos el ladrillo de cara vista, también conocido como ladrillo de tipo V. Este se usa especialmente en las fachadas, ya que su terminación es sumamente agradable a la vista. Asimismo, no podemos dejar de mencionar que se distingue por ser resistente al agua. Estos ladrillos se fabrican con maquinarias y arcillas especiales a una temperatura que permite suprimir casi toda la porosidad. Esto hace que la pieza sea mucho más densa y resistente a la compresión que otros ladrillos convencionales.

3.2.1.3 Características

Los ladrillos tienen variedad de características como ser geométricas que varían en sus dimensiones y formas, también al variar sus dimensiones y formas hacen que varíen sus pesos, a continuación se muestra algunas de las características en lo que se refiere en sus distintas dimensiones, formas y pesos así también otras características particulares de los ladrillos.

Ventajas del ladrillo 18H y 21H.

- Excelente resistencia a daños accidentales y al intemperismo en muros exteriores.
- Alta resistencia, mayor a la de las normas.- $F_{ck} \geq 100 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al fuego.
- Absorción de agua 6% – 8%
- Aislamiento térmico y acústico
- Optimo balance de humedad y temperatura (la cerámica respira).
- Alta trabajabilidad.

Ventajas del ladrillo 6H.

- Gran resistencia a daños accidentales.
- Alta resistencia, mayor a la de las normas.- $F_{ck} \geq 25 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al fuego.
- Absorción de agua 6% – 8%
- Aislamiento térmico y acústico
- Optimo balance de humedad y temperatura (la cerámica respira).
- Alta trabajabilidad.

18 Huecos		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	25 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,7 Kg.	
51 piezas por m ²		

Mitades		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	12,5 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	1,35 Kg.	
13 piezas por ml		

18 Huecos Boleado		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	25 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,5 Kg.	
13 piezas por ml		

18 Huecos Angular		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	25 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,5 Kg.	
13 piezas por ml		

18 Huecos Botaguas		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	25 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,5 Kg.	
13 piezas por ml		

18 Huecos Luis XV		
Ancho:	12 cm.	
Largo:	25 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,5 Kg.	
13 piezas por ml		

Figura 3.12: Ladrillos 18H con sus diferentes medidas y pesos.

Estándar		
Ancho:	10 cm.	
Largo:	20 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	2,9 Kg.	
50 piezas por m ²		

Tabaco		
Ancho:	5 cm.	
Largo:	20 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	1,5 Kg.	
100 piezas por m ²		

Square		
Ancho:	10 cm.	
Largo:	10 cm.	
Alto:	6,5 cm.	
Peso:	1,5 Kg.	
100 piezas por m ²		

Figura 3.13: Ladrillos macizos con sus diferentes medidas y pesos.

Este tipo de ladrillo es muy utilizado para las edificaciones, en el pavimento y en el recubrimiento de suelos. El ladrillo se considera como una pieza de arcilla o tierra arcillosa moldeada tanto a mano como mecánicamente, la cual es cocida, en forma de un paralelepípedo o prisma regular, empleado en albañilería.

En la elaboración se puede adicionar otros materiales de suficiente plasticidad o consistencia, que puedan tomar formas permanentes y al secarse no presenten grietas, nódulos o deformaciones. Para considerarlo como ladrillo macizo, éste no tendrá perforaciones en su interior que pasen del 20 % de su volumen. Se puede decir que son prensados con arcilla cocida, en forma de paralelepípedo rectangular, en el cual se pueden realizar perforaciones paralelas a una arista. Con este tipo de ladrillos se pueden fabricar arcos, bóvedas, chimeneas, pilares, cúpulas, etc.

Ahora bien, este ladrillo es muy utilizado, ya que es económico y gracias a su formato modular su colocación se puede realizar armoniosamente, está constituido de materia

primas las cuales son extraídas de la tierra, (un ejemplo de estas se puede mencionar la arcilla), cemento Pórtland y agua.

Los ladrillos macizos son homogéneos, de textura compacta y de grano fino y uniforme, su resistencia es muy mínima a compresión de 200 Kg./cm².

Ahora bien estos ladrillos se pueden clasificar, de acuerdo a su calidad en tres tipos que son: A, B, C o sea; Tipo A, será representado, este será de ángulos y aristas rectas, sin manchas, eflorescencias, quemados o desconchados aparentes. La resistencia mínima a la compresión será de 200 kg. /cm². La absorción máxima de humedad será de 16%. Tipo B, será fabricado mecánicamente, este será de ángulos y aristas rectas, pudiendo presentar pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, y variación de rectitud en sus aristas de hasta 5mm. La mínima resistencia a la compresión será de 140 kg. /cm². La absorción máxima de humedad será de 18%. Tipo C, puede ser fabricado a mano, este es el ladrillo común. Podrá presentar imperfecciones en sus caras exteriores, y variación de rectitud en sus aristas de hasta 8mm. La mínima resistencia a la compresión será de 60kg/cm².

3.2.1.4 Tipos de ladrillo

En nuestro país los principales tipos de ladrillo que se fabrican son:

Ladrillo gambote (macizo).

Ladrillo hueco de diferentes números de huecos.

Ladrillo visto, sea gambote o hueco. Caras bien terminadas y lisas.

Ladrillo refractario, de gran resistencia a elevadas temperaturas, más de 1600 °C

El más común es el ladrillo macizo tipo M, cuya medida varía según los países. No tiene orificios. También hay ladrillos macizos con depresión o cazoleta, esto es, un hundimiento en una de las caras, que sirve para rellenar con mortero.

El ladrillo macizo perforado (tipo P) presenta perforaciones circulares o romboidales en una de sus caras, a intervalos regulares. Como el mortero penetra en los huecos, el uso de este ladrillo asegura la resistencia y estanqueidad del muro. Los ladrillos de cara vista (cuyas características explicamos más abajo) suelen ser de este tipo.

El ladrillo hueco (tipo H) presenta perforaciones pasantes, dobles o simples, en las caras laterales. Se usa para tabiques que no deban soportar grandes cargas, o para muros dobles, que llevan material aislante entre ambas caras.

El ladrillo refractario es un tipo de ladrillo especial, que se usa para cuando es necesario que el muro soporte altas temperaturas. Es el que se usa en hornos y chimeneas. Los materiales básicos pueden ser los mismos que en el ladrillo común, pero en distintas proporciones: generalmente presentan un alto contenido de sílice y/o alúmina.

El ladrillo llamado “cara vista” (tipo V) es un ladrillo que se usa para fachadas, debido a su excelente terminación y su resistencia al agua. Se trata de ladrillos fabricados a máquina, con arcillas especiales, y a una temperatura tal que elimina prácticamente toda porosidad, por lo tanto, son más densos, y más resistentes a la compresión. Debido a su falta de absorción, el mortero que se usa para su colocación también es especial. Se les conoce también como ladrillo clinker o ladrillo gresificado. Pueden tener distintas terminaciones: gres, esmaltado, rústico

Los ladrillos también pueden clasificarse según su capacidad para soportar condiciones extremas: los MW soportan condiciones climáticas adversas moderadas, como escarcha y heladas. Los ladrillos SW soportan condiciones adversas extremas, como la congelación. Los ladrillos NW se usan sólo para interiores porque no están preparados para los cambios climáticos bruscos.

3.2.1.5 Usos del ladrillo en obras de drenaje

Los usos que se le daría al ladrillo dependería de acuerdo al tipo de estructura o aplicación que se le quiera dar, claro que lo que al ser una alternativa de solución de los materiales naturales en este caso los ladrillos macizos y huecos de alta resistencia trataría de suplir de alguna manera a la piedra en sus diferentes aplicaciones como ser en los zampeados que comúnmente son de piedra, en los hormigones ciclópeos donde llevan un porcentaje de piedra desplazadora entre otras posibles aplicaciones.

3.2.2 Cascajo cerámico de ladrillo

El cascajo cerámico de ladrillo es un residuo con un potencial importante para ser reciclado, en comparación con otros tipos de residuos que no podríamos aprovechar, debido a que los residuos cerámicos del ladrillo permiten la obtención de un material que puede llegar a ser utilizado como agregado reciclado en la industria de la construcción.

El aprovechamiento de estos residuos constituye un aspecto importante no solo a nivel local ya que representa un beneficio económico y representa una contribución significativa a la preservación del medio ambiente que es un tema de interés mundial.

3.2.2.1 Características

Dentro de algunas de las características tenemos:

Porosidad: Su porosidad depende de las tierras utilizadas en el proceso de elaboración. Los más porosos son aquellos ladrillos extraídos del centro del horno. Los poros pequeños aumentan la resistencia a la conductibilidad térmica.

Peso específico: oscilante entre 900 y 1200 kg./m³, aunque es menor que el de los agregados normales, es mayor que otros agregados livianos, aumentando la densidad del hormigón de la que será parte.

Resistencia: tiene una resistencia a la compresión aproximada comprendida entre los 100 y 300 kg/cm², y si estos son de Clinker, resisten hasta 500 kg/cm².

Superficies: ásperas y rugosas.

Color: la coloración se determina a partir de la cantidad de óxido constitutivo. Según donde fueron cocidos.

Forma: por su origen son irregulares y con aristas angulosas, aunque en hornos rotatorios pueden conseguirse granos redondeados.

Absorción: por su estructura porosa son muy absorbentes, a tener en cuenta al momento de proyectar las mezclas.

Granulometría: puede ser de gran variabilidad, debido a que esta puede ser manipulada por el hombre, extrayendo las inferiores a 3mm, por contener mayor grado de impurezas. Es preciso disminuir el tamaño de los agregados mayores para aumentar la baja resistencia, elasticidad y densidad que por su misma estructura tiene.

3.2.3 Polvo de ladrillo

El polvo de ladrillo no es más que cascajo cerámico de ladrillo sometido a un proceso de trituración que pasa por una selección para ser clasificado de acuerdo al tamaño de sus granos. Comúnmente lo conocemos por su utilización en canchas de tenis es un material de sublimado color propio de la molienda del ladrillo proveniente de las cerámicas que tenemos en nuestra ciudad que por cierto son de excelente calidad donde las arcillas tienen gran contenido de óxido de hierro.

El aprovechamiento de estos residuos tanto el cascote como el polvo de ladrillo representa una contribución significativa a la preservación del medio ambiente.

3.2.3.1 Características

Polvo de ladrillo

En la construcción se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, en este caso particular el polvo del ladrillo al igual que la arena también proviene del ladrillo o cascajo triturado siendo de dimensiones reducidas que no supera los 9.5 mm de diámetro para cumplir con las normas. Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; a diferencia del polvo de ladrillo que tendría que sufrir una desintegración manipulada por máquinas para su desintegración.

Otra de las características del polvo de ladrillo es que son más absorbentes que las arenas que utilizamos normalmente, así que por lo tanto se requiere mayor cantidad de agua para el amasado, por hacer una comparación en lo que son las arenas podemos mencionar que las arenas de procedencia caliza siempre resultan más absorbentes y requieren más agua de amasado que las silíceas.

Si tendríamos que separar el polvo de ladrillo para que tuviese similitud con la arena lo podríamos hacer de la siguiente manera:

Polvo de ladrillo fino: Sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

Polvo de ladrillo medio: Cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

Polvo de ladrillo grueso: Sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm.

Al igual que las arenas de granos gruesos el polvo de ladrillo grueso da, por lo general, morteros más resistentes que los polvos de ladrillo fino.

Composición

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento.

Calidad

En general, el agregado fino en este caso polvo de ladrillo deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales, estas características las podemos encontrar en las tablas anteriormente citadas como ser la tabla 3.8.

Módulo de fineza o finura

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino deberá tener un módulo de finura que no sea menor de 2,7 ni mayor de 3.5. Se utilizan cernidores calibrados para medir el grado de granulometría. En términos de mecánica de suelos, ambas palabras son sinónimas para indicar este valor.

3.2.4 Usos del cascajo y el polvo de ladrillo en obras de drenaje

Los usos que se le daría al cascajo de ladrillo y al polvo de ladrillo, son de tratarlos de igual manera que el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena) para la fabricación de hormigones que con una resistencia adecuada sean indicados para el uso en obras de construcción en este caso específico en obras de arte o drenaje que

son las que cumplen con la función de drenar las aguas que puedan producir daños al camino, claro que al ser una alternativa de solución de los materiales naturales en este caso el cascajo de ladrillo y al polvo de ladrillo trataría de suplir de alguna manera a los agregados naturales comúnmente utilizados, en los hormigones estos agregados acompañan en cierto porcentaje aproximadamente entre un 73 a 75 % y el cemento y el agua que son parte del hormigón van desde un 23 a un 25 %.

En lo que son otros posibles usos podemos mencionar la utilización del polvo de ladrillo en mezclas para la fabricación de morteros que vendría a suplir en parte al agregado fino (arena) que en mescla con el cemento y agua forman un mortero.

3.3 Red vial municipal de Tarija

La red de carreteras, de la República de Bolivia, tiene una longitud de 60.796 kilómetros como se indica en la tabla 3.15 siguiente:

- Sistema vial carretero de Bolivia

REDES	LONGITUD (km.)	PORCENTAJE
Fundamental	14,594	24,0%
Departamental	11,885	19,5%
Municipal	34,317	56,4%
Total	60,796	100%

Tabla 3.15: Sistema vial carretero de Bolivia.

Fuente: Viceministerio de Transporte (PMTS 2005).

El sistema vial carretero en el Departamento de Tarija totaliza una longitud de 5,486 kilómetros como se indica en la tabla 3.16 siguiente:

- Sistema vial carretero departamento de Tarija

RED	LONGITUD (km.)	PORCENTAJE
Fundamental	960	17,50%
Departamental	1,106	20,17%
Municipal	3,419	62,32%
Total	5,486	100%

Tabla 3.16: Sistema vial carretero del departamento de Tarija.

Fuente: Plan Vial - SEDECA.

- Red Fundamental

El mantenimiento y la ejecución de la Red Fundamental están a cargo del Gobierno Boliviano a través del Servicio Nacional de Caminos, actual (ABC)

Los requisitos necesarios para que una ruta forme parte de la red fundamental son los siguientes:

- Vincular las capitales políticas de dos departamentos.
- Permitir la vinculación de carácter internacional conectándose con las carreteras principales existentes de los países limítrofes.
- Conectar en los puntos adecuados dos o más carreteras de la red fundamental.
- Cumplir con las condiciones de protección ambiental.

- Red Departamental

La red Vial Departamental de Caminos, es responsabilidad del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

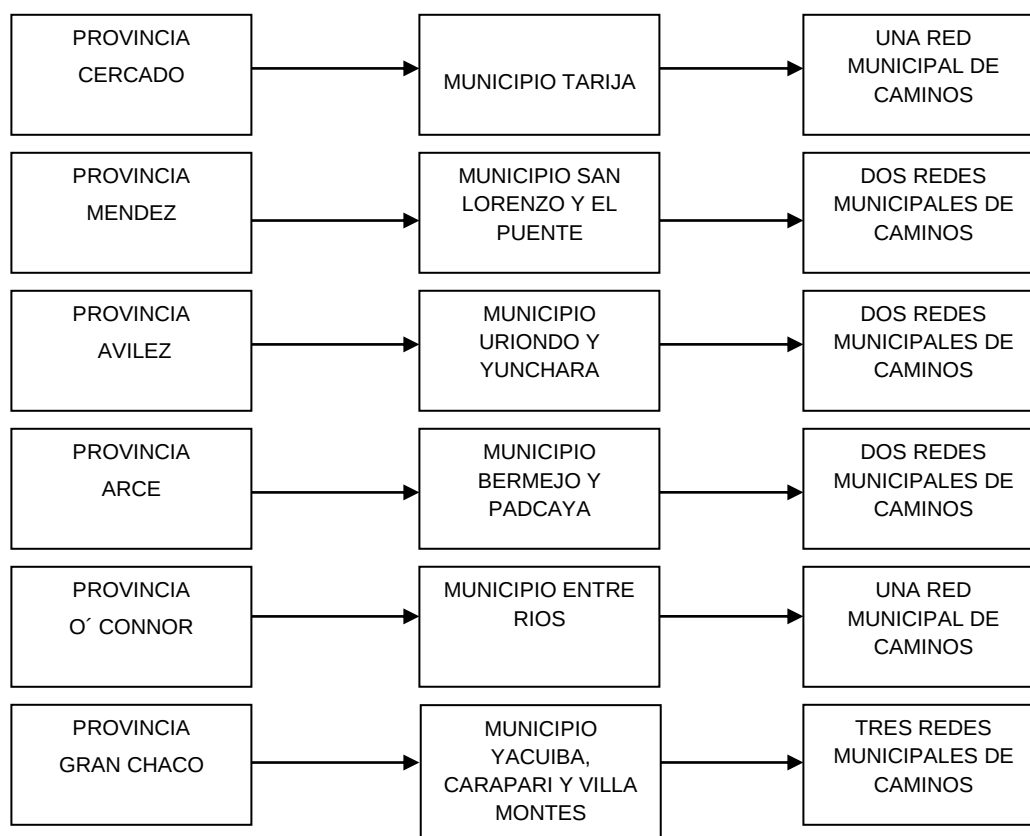
Los requisitos para que una ruta forme parte de la red departamental son los siguientes.

- Integración departamental.
- Conexión con la red fundamental.
- Caminos colectores que pasando cerca de las zonas productivas permitan una conexión corta a través de caminos municipales, llevando la producción de los centros de consumo.
- Vinculación de capitales de provincia con la capital del departamento, directamente o a través de una ruta fundamental.
- Conexión con sistemas de transporte intermodal de importancia departamental.
- Acceso a polos de desarrollo de carácter departamental.
- Que cumpla normas y requerimientos de protección ambiental.

- Red Municipal

La red Municipal de Caminos, es responsabilidad de los Municipios en sus respectivos territorios, cabe denotar que el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) por convenios con Prefectura y las Alcaldías debido a los escasos recursos de los últimos.

Haciendo un análisis similar a las anteriores redes, implica que cada sección municipal o municipio, tiene su propia red Municipal que corresponde a su territorio, y en nuestro departamento las redes municipales que se conectan a una ruta departamental o fundamental se dividen de la siguiente forma:



De lo anterior se deduce, que tenemos en el departamento 11 redes municipales de caminos, con once municipios responsables de su mantenimiento, mejoramiento y/o construcción.

Los requisitos para formar parte de la red municipal son:

- Ser caminos alimentadores de la red departamental y/o fundamental,
- Vinculación de las poblaciones rurales, comunidades o centros de producción, entre capitales de provincias o de capital de provincia con capital de departamento.
- Que cumpla normas y requerimientos de protección ambiental.

Para que sea más fácil de entender el sistema vial carretero del departamento de Tarija es que ponemos un plano completo con todas las redes viales que tiene el departamento y por su puesto la red vial municipal que es la que nos interesa en este estudio de investigación, este plano se encuentra en el anexo VIII.

3.3.1 Inventario Vial del Departamento

El Departamento de Tarija cuenta con una red vial de 5485,811 km, contando con algunas de las obras de arte menor dentro de su constitución vial, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

- Resumen de obras de arte menor de Tarija

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Cunetas	Cuneta revestida (der.)	32,65	15,23	4,357	0,306	0,12	52,67
	Cuneta revestida (izq.)	74,98	19,28	18,025	0,293	0,21	112,78
	Cuneta tierra (der)	0,0	2,95	334,14	86,14	1779,95	2203,18
	Cuneta tierra (izq)	0,0	0,0	348,57	76,38	1430,24	1855,20
	Total (km.)	107,63	37,46	705,10	163,12	3210,53	4223,85
Alcantarillas	Cajón de Hº	42	492	77	35	31	677
	Cajón de Madera	0	23	31	17	41	112
	Cajón de Piedra	22	135	68	31	29	285
	Tubo de Hormigón	138	687	201	80	71	1177
	Tubo de PVC	6	39	2	7	2	56
	Tubo Metálico	91	1149	336	117	101	1794
	Tubo Mixto Metálico y Hº	1	13	1	0	1	16
	Bóveda Múltiple	0	41	2	0	0	43
	Bóveda de Piedra	0	19	6	0	0	25
	Bóveda Mixta	0	41	6	0	0	47
	Total (N°)	300	2639	730	287	276	4232
Muros	Muro de Gaviones (Der)	1074,5	497	1125	158	65	2919,5
	Muro de Gaviones (Izq)	82,6	2770	379	73	307	3611,6
	Muro de Mamp. de Piedra (Der)	267,06	17899	2471	46	1306	21989,06
	Muro de Mamp. de Piedra (Izq)	5514,07	6153,45	328,8	1192,5	197,1	13385,92
	Seco Mamp. de Piedra (Der)	23,2	660	1015	1193,9	3866	6758,1
	Seco Mamp. de Piedra (Izq)	0	285,9	2083	732	50097,9	53198,8
	Total (m.)	6961,43	28265,35	7401,8	3395,4	55839	101863

Tabla 3.17: Resumen de obras de arte menor de Tarija.

Fuente: Plan Vial – SEDECA

3.3.2 Inventario Vial de las Redes Viales

En el Departamento de Tarija la estructura vial se encuentra conformada por tres redes, las cuales están constituidas por:

- **Red Fundamental** que cuenta de una longitud de **960,123 Km**,
- **Red Departamental** que cuenta de una longitud de **1106,647 Km**.
- **Red Municipal** que cuenta con una longitud de **3419,041 Km**.

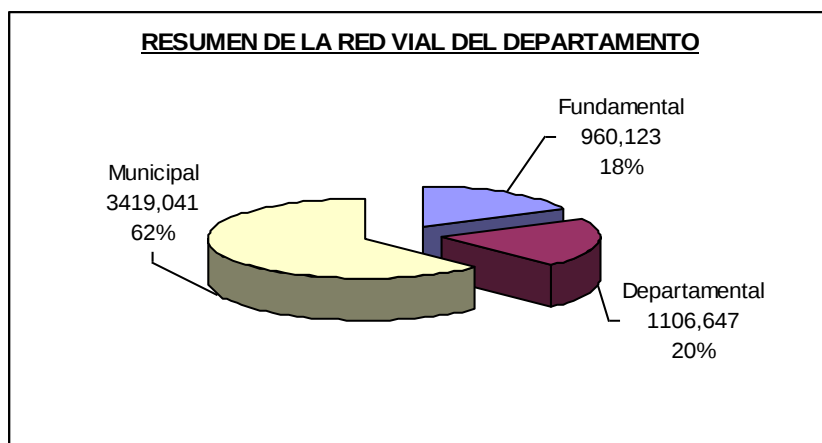


Figura 3.14: Resumen de la red vial del departamento de Tarija.

Estas redes se encuentran distribuidas dentro del departamento de la siguiente forma:

- **Distribución de longitud por tipo de red en cada provincia.**

Provincia	Fundamental		Departamental		Municipal		Total general (Km)
	Km	%	Km	%	Km	%	
Arce	186,41	19%	113,74	10%	412,25	12%	712,40
Avilez	42,29	4%	103,91	9%	485,84	14%	632,05
Méndez	101,40	11%	131,17	12%	688,04	20%	920,61
Cercado	80,33	8%	72,16	7%	241,83	7%	394,33
O'Connor	155,07	16%	248,60	22%	434,31	13%	837,99
Gran Chaco	394,6	42%	437,04	39%	1156,74	34%	1988,39
Total general	960,12	100%	1106,64	100%	3419,04	100%	5485,81

Tabla 3.18: Distribución de longitud por tipo de red en cada provincia.

Fuente: Plan Vial – SEDECA

Del total de la red Municipal, por la provincia Arce pasan el 12% de las rutas Municipales, por la provincia Avilez el 14%, por la provincia Méndez el 20%, por la provincia Cercado el 7%, por la provincia O'Connor el 13% y finalmente por la provincia Gran Chaco pasa el 34% de las rutas municipales.

Cada provincia del Departamento cuenta con tramos y rutas pertenecientes a dichas redes, de las cuales se puede decir que su composición provincial se encuentra desarrollada según el siguiente gráfico:

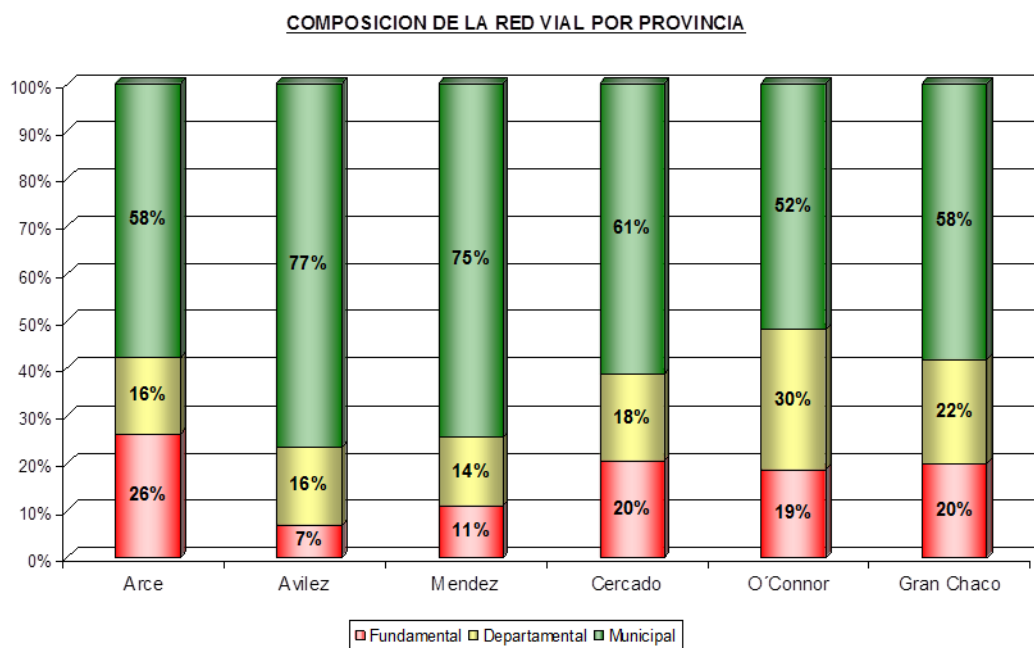


Figura 3.15: Composición de la red vial por provincia.

Fuente: Plan Vial – SEDECA

La distribución de las redes en los municipios se detalla en el siguiente cuadro, de las cuales se puede decir:

Red Municipal: del total de la red el 4% pasa por el municipio de Bermejo, 8% por Padcaya, 5% por Uriondo, 9% por Yunchara, 10% por San Lorenzo, 10% por El Puente, 7% por Cercado, 13% por O'Connor, 14% por Yacuiba, 8% por Carapari y finalmente el 11% por el municipio de Villamontes

- **Resumen de la distribución de las redes en los municipios**

Provincia	Municipio	Fundamental		Departamental		Municipal		Total general (Km)
		Km	%	Km	%	Km	%	
Arce	Bermejo	20,89	2%	41,28	4%	143,88	4%	206,05
	Padcaya	165,52	17%	72,46	7%	268,36	8%	506,35
Avilez	Uriondo	42,29	4%	37,76	3%	170,80	5%	250,86
	Yunchara	0	0%	66,15	6%	315,08	9%	381,23
Méndez	El Puente	68,99	7%	16,06	1%	356,79	10%	441,85
	San Lorenzo	32,41	3%	115,10	10%	331,24	10%	478,76
Cercado	Cercado	80,33	8%	72,16	7%	241,83	7%	394,33
O'Connor	O'Connor	139,3	15%	248,60	22%	434,31	13%	822,22
Gran Chaco	Caraparí	119,43	12%	106,90	10%	282,02	8%	508,36
	Villamontes	228,52	24%	228,01	21%	379,72	11%	836,25
	Yacuiba	62,42	7%	102,12	9%	495,00	14%	659,54
Total general (Km)		960,12	100%	1106,64	100%	3419,08	100%	5485,85

Tabla 3.19: Resumen de la distribución de las redes en los municipios.

Fuente: Plan Vial – SEDECA

- **Cuantificación de elementos viales en la red municipal**

Red	Elemento	Unidad	Total
Municipal	Superficie	km	3419,041
	Cunetas	km	2291,312
	Alcantarillas	Nº	1260
	Badenes	Nº	448
	Muros	m	76053
	Puentes	ml	701,4

Tabla 3.20: Cuantificación de elementos viales en la red municipal.

Fuente: Plan Vial – SEDECA

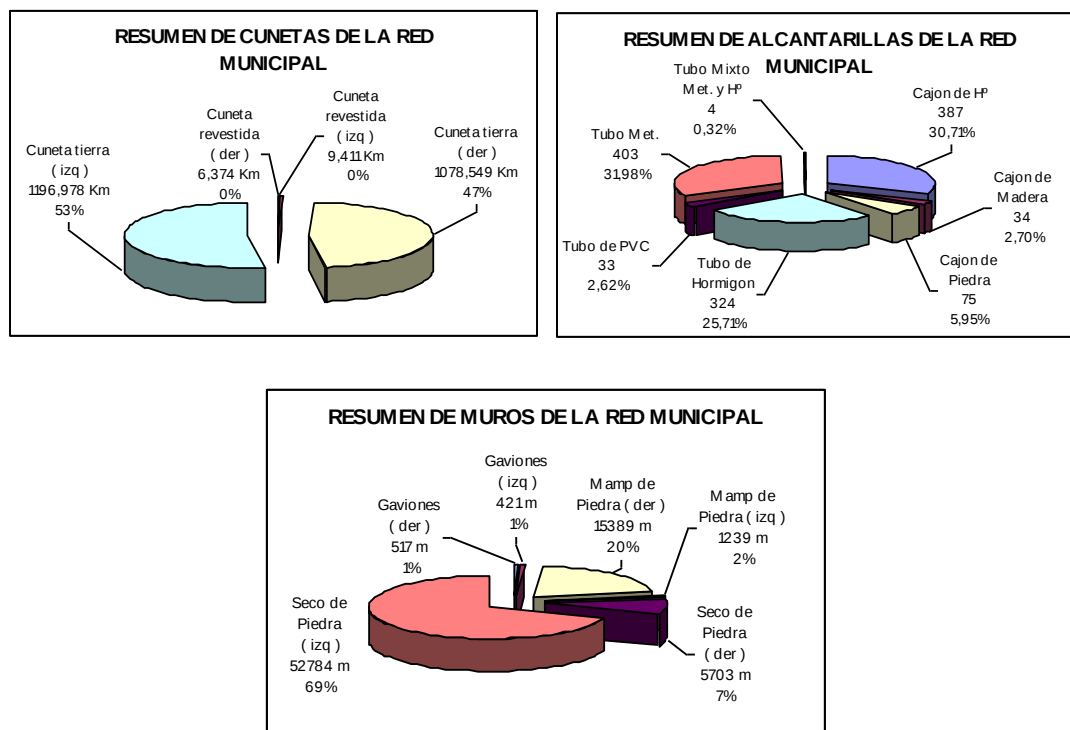


Figura 3.16: Resumen de algunas obras de arte menor de la red municipal.

- Relación de porcentual de circulación vehicular por tipo de red

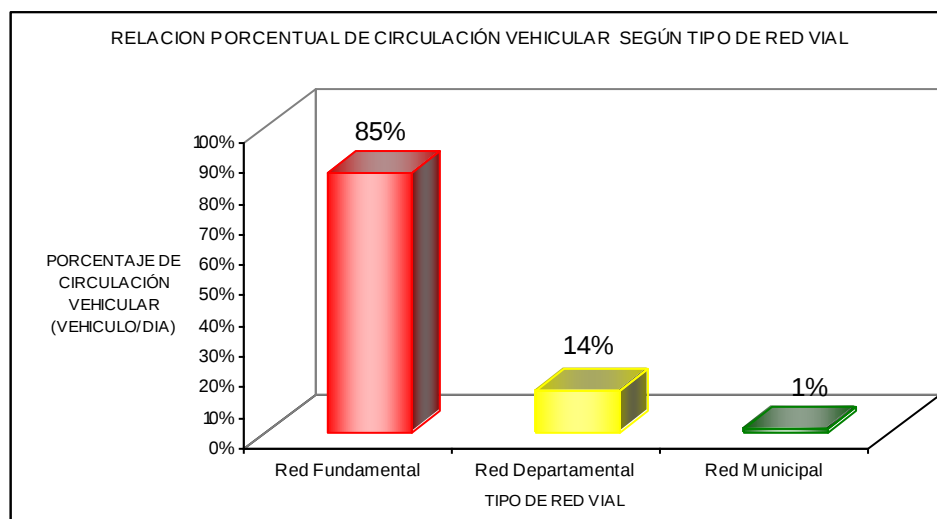


Figura 3.17: Relación porcentual .de circulación vehicular por tipo de red.

CAPÍTULO IV

	Página
APLICACIÓN PRÁCTICA	93
4.1 Desarrollo del proceso de investigación.....	93
4.2 Ubicación de la procedencia de los materiales artificiales.....	93
4.3 Características de las zonas de procedencia.....	94
4.4 Toma de muestras de los materiales.....	96
4.5 Caracterización de los materiales.....	97
4.5.1 Análisis granulométrico de los materiales.....	98
4.5.2 Determinación del peso específico y absorción de los agregados.....	112
4.5.3 Determinación del peso unitario de los agregados.....	122
4.6 Ensayo de desgaste de “los ángeles”.....	130
4.7 Preparación y usos de materiales artificiales del ladrillo	140
4.7.1 Usos directos de los materiales	140
4.7.2 Dosificación y usos en mezclas de los materiales	140
4.7.2.1 Hormigones	141
4.7.2.2.1 Variaciones porcentuales a la dosificación para los agregados.....	143
4.7.2.2 Morteros	147
4.8 Elaboración de las muestras	147
4.8.1 Hormigón simple.....	149
4.8.2 Hormigón a base de residuos cerámicos de ladrillo	153
4.8.3 Hormigón ciclópeo.....	164
4.8.4 Mortero normal.	169
4.9 Curado de las probetas.	175
4.10 Pruebas aplicadas	176
4.10.1 Densidad (peso por unidad de volumen).....	176
4.10.2 Resistencia a la compresión.	177

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 Desarrollo del proceso de investigación

En este capítulo se describe el proceso experimental que se llevó a cabo para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto de investigación.

Primero se explica la ubicación de los materiales artificiales, como también las características de las zonas de procedencia de estos materiales, se explica también el procedimiento de la toma de muestras para luego ver el proceso de preparación de la materia prima utilizada, sobre todo en el diseño de mezclas, se describe el proceso que se siguió para llegar a la definición de las mezclas con que se trabajaría, también se llevó a cabo una caracterización de la materia prima y se la explica en el sub capítulo 4.5 correspondiente a este capítulo, en la parte de elaboración de las mezclas el proceso y observaciones que también se explican 4.6 delante de este mismo capítulo, en la parte de pruebas aplicadas se describe el proceso que se siguió para cada tipo de muestra, de manera que los datos y resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en el capítulo V.

4.2 Ubicación de la procedencia de los materiales artificiales

Lo primero que se ha hecho para realizar este trabajo de investigación en su parte práctica es la ubicación de la procedencia de los materiales artificiales para poderlos llevar a distintas pruebas y ver con los resultados obtenidos si logramos llegar a los objetivos deseados.

Estos materiales los ubicamos generalmente en las mismas fábricas, donde estas tienen en su mayoría grandes cantidades de material almacenado para su

comercialización como el ladrillo y sus diferentes productos así como también tienen grandes depósitos de almacenamiento de los residuos cerámicos que en proceso después de la cocción y antes de su comercialización sufrió algún daño.



Figura 4.1: Almacenamiento de los productos cerámicos y sus residuos.

4.3 Características de las zonas de procedencia

En la ciudad de Tarija tenemos un sin número de fábricas cerámicas industriales, como también tenemos las fábricas que lo hacen de manera artesanal o no industrializada.

Dentro de las denominadas industriales tenemos entre 5 a 7 fábricas dentro de la ciudad de Tarija que son las que por ser industrias grandes de la fabricación de cerámica roja aportan la mayor cantidad de ladrillo y sus residuos cerámicos que es lo que en este estudio de investigación nos interesa y se está llevando a cabo.

Por ser fábricas que tienen la necesidad de entregar sus productos para que estos sean comercializados al mercado de la construcción civil todas estas fábricas tienen los accesos en buenas condiciones.

En la imagen que a continuación se muestra se ve la cercanía de estas fábricas de la industria cerámica que mencionamos.



Figura 4.2: Cerámica Guadalquivir ubicada a 1.5 Km del centro de la ciudad.



Figura 4.3: Algunas de las cerámicas ubicadas a 9 Km del centro de la ciudad.

4.4 Toma de muestras de los materiales

Para la toma de muestras de los materiales artificiales nos dirigimos a las distintas fábricas cerámicas de las más grandes de la zona porque son las que más material proporcionan.

Como anteriormente mencionamos los ladrillos y sus residuos cerámicos los tienen en las mismas fábricas en grandes depósitos cercanos a las zonas donde los fabrican, luego se procedió a realizar una toma de las muestras tanto de ladrillos como de los residuos cerámicos de este, todas las muestras las tomamos al azar, para poderlas someter a los distintos ensayos y estudios necesarios para poder lograr los objetivos trazados.



Figura 4.4: Toma de muestras de residuos cerámicos de ladrillo.



Figura 4.5: Toma de muestras del polvo de ladrillo de las canchas de tenis municipal.

En lo que se refiere a los materiales naturales que utilizamos para los usos en mezclas y otros ensayos, son materiales extraídos del río Guadalquivir de la ciudad de Tarija y que en plantas separadoras cercanas a la zona los comercializan, y las muestras tales como la grava y la arena se las extrajeron de estas plantas separadoras.

4.5 Caracterización de los materiales

Para determinar la caracterización de los agregados a utilizar (grava, arena, cascajo de ladrillo y polvo de ladrillo), se realizaron los ensayos estándar para agregados en hormigones y morteros, basadas en las normas ASTM C33. Los ensayos mencionados a continuación fueron ejecutados en el “Laboratorio de suelos y hormigones” de la carrera de ingeniería civil, de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)”, que lo tenemos ubicado en el mismo campus universitario en la zona el tejero de la ciudad de Tarija, siendo estos ensayos los mínimos requeridos para poder dosificar mediante la norma de dosificación ACI – 211.

4.5.1 Análisis granulométrico de los materiales

- Granulometría del agregado grueso (Grava y Cascajo de ladrillo)

Para su realización se utilizó el siguiente equipo y material:

Material:

- Muestra representativa obtenida por cuarteo.

Equipo:

- Balanza sensible al 0.1 gr.
- Juego de Tamices (2 ½, 2, 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, N° 4, Tapa y Base).
- Horno de temperatura constante (105° C).
- Brocha de limpieza.
- Bandejas de secado y pesado.

La preparación de la muestra representativa del agregado grueso natural, obtenida por cuarteo, comenzó 24Hrs. antes de realizar el ensayo granulométrico, fue necesario introducir la muestra al horno de temperatura constante, porque la misma contenía cierto grado de humedad y en esas condiciones es muy difícil poder obtener datos confiables por la propiedad de adherencia que tienen las partículas en estado húmedo, además de preparar la muestra para la granulometría se aprovechó de realizar el ensayo correspondiente al contenido de humedad de la muestra.

Una vez seca la muestra natural y a temperatura ambiente, se procedió con el ensayo apartando 11000 gr. peso correspondiente al tamaño máximo del agregado, para introducirlo al juego de tamices ordenados de abertura mayor a menor, en el orden que indica la tabla 4.1, en cuanto al agregado artificial (Cascajo del ladrillo) se apartó también 11000 gr. se trató de imitar semejante al del agregado grueso natural para

introducirlo al juego de tamices, la preparación de las muestras del cascajo de ladrillo se la muestra en las imágenes de los anexos:

Tamaño máximo de las partículas (plg)	Peso mínimo de la muestra (gr)
3/8	1000
1/2	2500
3/4	5000
1	10000
1 1/2	15000
2	20000
2 1/2	25000
3	30000
3 1/2	35000

Tabla 4.1: Peso de la muestra necesaria según tamaño máximo nominal.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón.

Tamices	Abertura (mm)
2 1/2	63
2	50.8
1 1/2	38.10
1	25.40
3/4	19.05
1/2	12.50
3/8	9.50
Nº 4	4.80
BASE	-

Tabla 4.2: Granulometría del agregado grueso.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón.

Se procedió con el tamizado respectivo para cada uno de los agregados (natural – artificial), agitado de las mallas, con movimientos rotativos en forma horizontal y golpes en forma vertical aproximadamente por 15 minutos, luego de ese lapso se procedió a retirar los tamices de mayor abertura, pesando las partículas retenidas en cada una de las mallas, cuyos datos fueron registrados cuidadosamente.

Para el procesamiento de datos fue necesario aplicar las siguientes fórmulas que nos permitieron generar su respectiva curva granulométrica, su módulo de finura y el contenido de humedad de la muestra:

$$Ret.acum = \Sigma \text{Peso Ret } (2 \frac{1}{2} \text{ “+” } + BASE) \quad (4.1)$$

$$\%Ret = \left(\frac{Ret. acum}{WM} \right) \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Dónde:

% Ret: Porcentaje de retención

Ret. acum: Retenido acumulado

WM: Peso total de la muestra

$$\% Pasa = \% Ret - 100 \% \quad (4.3)$$

Dónde:

% Pasa: Porcentaje que llega a pasar por cada uno de los tamices del total

$$MF = \Sigma \% \frac{Ret(2\frac{1}{2}, 2, 1\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ} 4)}{100} \quad (4.4)$$

Dónde:

MF: Módulo de finura

Σ (% Ret): Sumatoria de los porcentajes retenidos en las mallas (2 ½, 2, 1 ½, 1, ¾, ½, ⅜, N° 4).

$$\%Humedad = \left(\frac{W_h - W_s}{W_s} \right) \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Dónde:

%Humedad: Contenido de agua en porcentaje.

Wh: Peso húmedo de la muestra (humedad de banco)

Ws: Peso seco de la muestra (secado en horno a 105° C)

- Análisis granulométrico

Agregado grueso natural (grava)

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Peso Total (gr.) =		11000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
2 1/2"	63	0,00
2	50,8	0,00
1 1/2	38,10	88,20
1	25,40	4127,80
3/4	19,05	2124,50
1/2	12,50	1776,10
3/8	9,50	1272,20
Nº4	4,80	1610,40
BASE	0	0,00
SUMA =		10999,20
PÉRDIDAS =		0,80
MODULO DE FINURA (MF) =		7,44
TAMAÑO MAX =		2"
% DE HUMEDAD =		0.93

Tabla 4.3: Datos granulométricos del agregado grueso natural (Grava).

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo éste igual a 7.44, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 2" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos, los mismos cumplen la granulometría ideal propuesta por la norma ASTM C33.

La humedad obtenida es igual al 0.93% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

Agregado grueso artificial (Cascajo de ladrillo)

La granulometría del agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) dada las condiciones es un material de fácil manejo en cuestiones de tamaño de sus partículas se pudo forzar la granulometría, tratando siempre de imitar la granulometría del agregado grueso (Grava).

- Muestra extraída: CERÁMICA GUADALQUIVIR.
- B° German Busch.

Peso Total (gr.) =		11000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
2 1/2"	63	0,00
2	50,8	0,00
1 1/2	38,10	224,20
1	25,40	2743,90
3/4	19,05	2743,60
1/2	12,50	2425,00
3/8	9,50	1437,60
Nº4	4,80	1425,00
BASE	0	0,00
SUMA =		10999,30
PÉRDIDAS =		0,70
MODULO DE FINURA (MF) =		7,41
TAMAÑO MAX =		2"
% DE HUMEDAD =		0.05

Tabla 4.4: Datos granulométricos del agregado grueso artificial (Cerámica Guadalquivir).

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo éste igual a 7.41, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 2" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos.

La humedad obtenida es igual al 0.05% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

- Muestra extraída: CERÁMICA SICOMAC.
- Zona el Portillo.

Peso Total (gr.) =		11000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
2 1/2"	63	0,00
2	50,8	0,00
1 1/2	38,10	117,20
1	25,40	3305,00
3/4	19,05	2553,40
1/2	12,50	2458,70
3/8	9,50	1262,30
Nº4	4,80	1302,60
BASE	0	0,00
SUMA =		10999,20
PÉRDIDAS =		0,80
MODULO DE FINURA (MF) =		7,44
TAMAÑO MAX =		2"
% DE HUMEDAD =		0.11

Tabla 4.5: Datos granulométricos del agregado grueso artificial (Cerámica SICOMAC).

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo esté igual a 7.44, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 2" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos.

La humedad obtenida es igual al 0.11% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

- Muestra extraída: CERÁMICA SAN LUIS.
- B° San Luis.

Peso Total (gr.) =		11000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
2 1/2"	63	0,00
2	50,8	0,00
1 1/2	38,10	215,80
1	25,40	2954,30
3/4	19,05	2619,50
1/2	12,50	2476,70
3/8	9,50	1348,90
Nº4	4,80	1384,00
BASE	0	0,00
SUMA =		10999,20
PÉRDIDAS =		0,80
MODULO DE FINURA (MF) =		7,42
TAMAÑO MAX =		2"
% DE HUMEDAD =		0.06

Tabla 4.6: Datos granulométricos del agregado grueso artificial (Cerámica San Luis).

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo éste igual a 7.42, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 2" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos.

La humedad obtenida es igual al 0.06% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

De acuerdo a los resultados obtenidos del agregado grueso natural (grava) y de los agregados gruesos artificiales (cascajo de ladrillo) de las distintas cerámicas analizadas se puede observar que el módulo de finura, el tamaño máximo y el porcentaje de humedad presenta una variación mínima por lo que se considera que se cumplió con el objetivo de asemejarse a la granulometría del agregado grueso natural.

- Granulometría del agregado fino (Arena y polvo de ladrillo)

Para su realización se recurrió al siguiente material y equipo:

Material:

- Muestra representativa.

Equipo:

- Balanza sensible al 0.1 gr.
- Juego de Tamices (3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, Tapa y Base).
- Horno de temperatura constante (105° C).
- Brocha de limpieza.
- Bandejas de secado y pesado.

La preparación de la muestra representativa del agregado fino obtenida por cuarteo, comenzó 24 Hrs. antes de realizar el ensayo granulométrico, fue necesario introducir la muestra al horno de temperatura constante, porque la misma contenía cierto grado de humedad y en esas condiciones es muy difícil poder obtener datos confiables por la propiedad de adherencia que tienen estos materiales en estado húmedo, además de preparar la muestra para la granulometría se aprovechó de realizar el ensayo correspondiente al contenido de humedad de la muestra. Una vez seca la muestra y a temperatura ambiente, se procedió con el ensayo apartando en este caso 1830 gr. del material para introducirlo al juego de tamices ordenados de abertura mayor a menor,

en el siguiente orden mostrado en la tabla que viene a continuación, este material también al tratarse de residuo cerámico del ladrillo para convertirlo en polvo de ladrillo se necesita de una máquina trituradora la cual existe en las canchas de tenis municipal así que extrajimos este material de ese lugar.



Figura 4.6: Máquina trituradora para la fabricación de polvo de ladrillo.

Tamices	Abertura (mm)
3/8	9.50
Nº4	4.75
Nº8	2.36
Nº16	1.18
Nº30	0.60
Nº50	0.30
Nº100	0.15
BASE	-

Tabla 4.7: Granulometría del agregado fino.

Fuente: Manual de agregados para el hormigón.

Posteriormente se procedió con el tamizado o agitado de las mallas, con movimientos rotativos en forma horizontal y golpes en forma vertical aproximadamente por 15 minutos, luego de ese lapso se procedió a retirar los tamices de mayor abertura, pesando las partículas retenidas en cada una de las mallas, cuyos datos fueron registrados cuidadosamente.



Figura 4.7: Juego de tamices para el agregado grueso y fino.

Para el procesamiento de datos fue necesario aplicar las siguientes fórmulas: (que nos permitieron generar su respectiva curva granulométrica, su módulo de finura y el contenido de humedad de la muestra).

$$Ret.acum = \sum \text{Peso Ret (3/8 + N}^{\circ}4 + \dots + BASE) \quad (4.6)$$

$$\%Ret = \left(\frac{Ret. acum}{WM} \right) \cdot 100\% \quad (4.7)$$

Dónde:

% Ret: Porcentaje de retención

Ret. acum: Retenido acumulado

WM: Peso total de la muestra

$$\% Pasa = \% Ret - 100 \% \quad (4.8)$$

Dónde:

% Pasa: Porcentaje que llega a pasar por cada uno de los tamices del total

$$MF = \Sigma \% \frac{\text{Ret}(N^{\circ}4,8,16,30,50,100)}{100} \quad (4.9)$$

Dónde:

MF: Módulo de finura

Σ (% Ret): Sumatoria de los porcentajes retenidos en las mallas (N°4, 8, 16, 30, 50, 100).

$$\% \text{Humedad} = \left(\frac{W_h - W_s}{W_s} \right) \cdot 100\% \quad (4.10)$$

Dónde:

%Humedad: Contenido de agua en porcentaje.

Wh: Peso húmedo de la muestra (humedad de banco)

Ws: Peso seco de la muestra (secado en horno a 105° C)

Agregado fino natural (Arena)

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Peso Total (gr.) =		1830
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
3/8	9,50	0,00
Nº4	4,75	136,80
Nº8	2,36	328,90
Nº16	1,18	295,10
Nº30	0,60	308,10
Nº50	0,30	380,00
Nº100	0,15	301,10
BASE		79,10
SUMA =		1829,1
PÉRDIDAS =		0,9
MODULO DE FINURA (MF) =		3,08
TAMAÑO MAX =		3/8"
% DE HUMEDAD =		1.53

Tabla 4.8: Datos granulométricos del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo éste igual a 3.08, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 3/8" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos, los mismos cumplen dentro de la granulometría ideal propuesta por la norma ASTM C33.

La humedad obtenida es igual al 1.53% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

Agregado fino artificial (Polvo de ladrillo)

La granulometría del agregado fino artificial (polvo de ladrillo) dada las condiciones que es un material de fácil manejo en cuestiones de tamaño de sus partículas y que en este lugar cuentan con una trituradora pequeña para el mantenimiento de las canchas de tenis municipal de Tarija se recogió el material con el permiso necesario, no alterando de ninguna forma ya que este material ya se encontraba triturado en partículas similares al del agregado fino (Arena).

- Muestra extraída: Canchas de Tenis del Gobierno Municipal.
- Zona García Agreda.

Peso Total (gr.) =		1670
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)
3/8	9,50	0,00
Nº4	4,75	131,50
Nº8	2,36	312,70
Nº16	1,18	435,60
Nº30	0,60	387,70
Nº50	0,30	271,30
Nº100	0,15	82,30
BASE		48,00
SUMA =		1669,1
PÉRDIDAS =		0,9
MODULO DE FINURA (MF) =		3,52
TAMAÑO MAX =		3/8"
% DE HUMEDAD =		1.94

Tabla 4.9: Datos granulométricos del agregado fino artificial (Canchas de Tenis).

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de ello el módulo de finura siendo éste igual a 3.52, el tamaño máximo nominal de los agregados igual a 3/8" de pulgada y los demás datos y resultados se encuentran en los anexos.

La humedad obtenida es igual al 1.94% misma corresponde a la humedad del agregado en estado de almacenamiento en el ambiente donde se encontraba la muestra.

De acuerdo a los resultados obtenidos del agregado fino se puede observar que el módulo de finura del agregado fino natural (arena) de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C-33 corresponde a un módulo de finura ideal, y el agregado fino artificial (polvo de ladrillo) pertenece a un módulo de finura tolerable, encontrándose en el límite superior de lo que indica dicha norma, el tamaño máximo y el porcentaje de humedad del agregado fino natural con el agregado fino artificial no tiene gran variación por lo que se considera que se cumplió con el objetivo de asemejarse a la granulometría del agregado fino natural.

4.5.2 Determinación del peso específico y absorción de los agregados

- Peso específico y absorción del agregado grueso (Grava y Cascajo de ladrillo)

Para su realización se utilizó el siguiente equipo y material:

Material:

- Muestra representativa obtenida por cuarteo.
- Agua

Equipo:

- Balanza sensible al 0.1gr.

- Cesto cilíndrico de malla metálica N°4 (h:20; D:20)
- Toalla
- Bandeja de saturación y secado
- Turril apara sumergir el cesto

El agregado grueso fue sometido a saturación 24 Hrs. antes de ejecutar el ensayo, la cantidad necesaria de dicha muestra representativa fue equivalente a 10000 gr.

24 Hrs. después, se procedió al secado de las partículas con la ayuda de una toalla, dejando la superficie de cada una de ellas completamente secas y saturadas interiormente, habiendo registrado el peso de la muestra en esas condiciones, fue introducida al cesto metálico y sumergida al turril, y así de esa forma haber conocido el peso de la muestra saturada dentro del agua, a dicho peso fue descontado el peso del cesto metálico, y se procedió a introducir la muestra al horno en un recipiente, se repitió el proceso para un total de dos mediciones. Para el procesamiento de datos fue necesario aplicar las siguientes fórmulas que nos permitieron generar su peso específico a granel, saturado con superficie seca, aparente y el porcentaje de absorción como muestran las imágenes:

$$PEg = \frac{A}{B-C} \quad (4.11)$$

$$PEss = \frac{B}{B-C} \quad (4.12)$$

$$PEA = \frac{A}{A-C} \quad (4.13)$$

$$\%Ab = \left(\frac{B-A}{A} \right) \cdot 100 \quad (4.14)$$

Dónde:

PEg: Peso específico a granel.

PEss: Peso específico saturado pero con superficie seca.

PEA: Peso específico aparente.

%Ab: Porcentaje de absorción.

A: Peso de la muestra secada en el horno, en gr.

B: Peso de la muestra saturada pero con superficie seca, en gr.

C: Peso de muestra saturada dentro del agua.

- Peso específico y absorción

Agregado grueso natural (grava)

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Peso muestra Secada "a" (gr)	Peso muestra Saturada con Sup. Seca "b" (gr)	Peso muestra Saturada dentro Del agua "c" (gr)	Peso específico Aparente (gr/cm3)	% De absorción
4985,20	5048,60	3120,00	2,67	1,27
4976,00	5044,30	3116,00	2,68	1,37
PROMEDIO			2,67	1,32

Tabla 4.10: Datos del peso específico del agregado grueso natural.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 10.000gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar dos ensayos con aproximadamente 5.000gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.67 (gr/cm3), y un porcentaje de absorción de 1.32%. la tablas completas se la muestra en anexos.

Agregado grueso artificial (Cascajo de ladrillo)

- Muestra extraída: CERÁMICA GUADALQUIVIR.
- B° German Busch.

Peso muestra Secada "a" (gr)	Peso muestra Saturada con Sup. Seca "b" (gr)	Peso muestra Saturada dentro Del agua "c" (gr)	Peso específico Aparente (gr/cm ³)	% De absorción
4998,30	5393,10	3030,00	2,54	7,90
4998,10	5351,00	3059,00	2,58	7,06
PROMEDIO			2,56	7,48

Tabla 4.11: Datos del peso específico del agregado grueso artificial (Cerámica Guadalquivir).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 10.000gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar dos ensayos con aproximadamente 5.000gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.56 (gr/cm³), y un porcentaje de absorción de 7.58%. la tablas completas se la muestra en anexos.

Se observa el incremento considerable en el porcentaje de absorción a comparación del agregado grueso natural, de un 6,16%, algo que era previsto ya que se trata de materiales cerámicos.

- Muestra extraída: CERÁMICA SICOMAC.
- Zona el Portillo.

Peso muestra Secada "a" (Gr)	Peso muestra Saturada con Sup. Seca "b" (gr)	Peso muestra Saturada dentro Del agua "c" (gr)	Peso específico Aparente (gr/cm ³)	% De absorción
4992,40	5489,80	3075,00	2,60	9,96
4997,20	5478,00	3071,00	2,59	9,62
PROMEDIO			2,60	9,79

Tabla 4.12: Datos del peso específico del agregado grueso artificial (Cerámica SICOMAC).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 10.000gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar dos ensayos con aproximadamente 5.000gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.60 (gr/cm³), y un porcentaje de absorción de 9.79%. la tablas completas se la muestra a continuación.

Se observa el incremento considerable en el porcentaje de absorción a comparación del agregado grueso natural, de un 8,47%, algo que era previsto ya que se trata de materiales cerámicos.

- Muestra extraída: CERÁMICA SAN LUIS.
- B° San Luis.

Peso muestra Secada "a" (Gr)	Peso muestra Saturada con Sup. Seca "b" (gr)	Peso muestra Saturada dentro Del agua "c" (gr)	Peso específico Aparente (gr/cm ³)	% De absorción
5000,20	5477,00	3090,00	2,62	9,54
4977,10	5457,50	3060,00	2,60	9,65
PROMEDIO			2,61	9,59

Tabla 4.13: Datos del peso específico del agregado grueso artificial (Cerámica San Luis).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 10.000gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar dos ensayos con aproximadamente 5.000gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.61 (gr/cm³), y un porcentaje de absorción de 9.59%. la tablas completas se la muestra a continuación.

Se observa el incremento considerable en el porcentaje de absorción a comparación del agregado grueso natural, de un 8,27% algo que era previsto ya que se trata de materiales cerámicos.

- **Peso específico y absorción del agregado fino (Arena y Polvo de ladrillo)**

Para su realización se utilizó el siguiente equipo y material:

Material:

- Muestra representativa obtenida por cuarteo.
- Agua

Equipo:

- Balanza sensible a 0.1gr.
- Matraz de 500 ml.
- Bandeja de saturación y secado
- Secadora eléctrica

La preparación del agregado fino para este ensayo, requirió de un tratamiento especial, 1500 gr de la muestra fue sometida a saturación 24Hrs. antes de la ejecución del ensayo. Pasadas las 24Hrs, se procedió al escurrimiento de la muestra saturada, con el fin de eliminar el exceso de agua y con la ayuda de una secadora eléctrica se eliminó por completo la humedad presente en la superficie, inspeccionando dicho fenómeno con la ayuda de un molde cónico y una varilla de compactación, que tuvo un proceso muy particular (repartido en tres capas a 25 golpes por capa), entonces se colocó primero el molde cónico y se procedió al llenado con la muestra, y al momento de retirarlo dicha forma cónica se desplazó libremente.

Se utilizaron 500 gr. aproximadamente de la muestra para introducirla en un matraz, el cual luego se llenaría de agua a su máxima capacidad y se registraría el peso total, (matraz + agua + muestra), posteriormente se trasladó dicha muestra en un plato para ser introducida al horno de secado y registrar su peso pasadas las 24Hrs, se repitió el proceso en un total de tres mediciones. Para el procesamiento de datos fue necesario

aplicar las siguientes fórmulas que nos permitieron generar su peso específico a granel, saturado con superficie seca, aparente y el porcentaje de absorción:



Figura 4.8: Material para el peso específico y la absorción del agregado fino.

$$PEg = \frac{A}{V-W} \quad (4.15)$$

$$PEss = \frac{PMss}{V-W} \quad (4.16)$$

$$PEA = \frac{A}{V-W-(500-A)} \quad (4.17)$$

$$\%Ab = \left(\frac{PMss-A}{A} \right) \cdot 100 \quad (4.18)$$

Dónde:

PEg: Peso específico a granel.

PEss: Peso específico saturado con superficie seca.

PEA: Peso específico aparente.

%Ab: Porcentaje de absorción

V: Volumen del matraz en ml.

W: peso en gr. o volumen en ml. de agua agregado al matraz.

PMss: Peso de la muestra saturada con superficie seca.

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno en gr.

Agregado fino natural (Arena)

- Muestra extraída: Río Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Peso Muestra (gr)	Peso De matríz (gr)	Muestra + Matraz + Agua (gr)	Peso muestra Secada "a" (gr)	P. E. Aparente (gr/cm3)	% De absorción
463,4	201	973,5	448,60	2,55	3,19
465,2	201	974,1	449,30	2,55	3,42
461,5	201	972	447,60	2,53	3,01
PROMEDIO				2,54	3,21

Tabla 4.14: Datos del peso específico del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 1500gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar tres ensayos con aproximadamente 500gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.54 (gr/cm3), y un porcentaje de absorción de 3.21%. la tablas completas se la muestra a continuación.

Agregado fino artificial (Polvo de ladrillo)

- Muestra extraída: Canchas de Tenis del Gobierno Municipal.
- Zona García Agreda.

Peso Muestra (gr)	Peso De matríz (gr)	Muestra + Matraz + Agua (gr)	Peso muestra Secada "a" (gr)	P. E. Aparente (gr/cm3)	% De absorción
368,7	201	905,8	345,20	2,46	6,37
364,8	201	904,9	343,20	2,46	5,92
365,4	201	905,1	343,90	2,46	5,88
PROMEDIO				2,46	6,06

Tabla 4.15: Datos del peso específico del agregado fino artificial (Canchas de Tenis).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Se utilizó un poco más de 1500gr. de muestra saturada con superficie seca, para realizar tres ensayos con aproximadamente 500gr. cada uno.

Obteniendo en promedio un peso específico aparente de 2.46 (gr/cm3), y un porcentaje de absorción de 6.06%. la tablas completas se la muestra a continuación.

Se observa el incremento considerable en el porcentaje de absorción a comparación del agregado fino natural, de un 2,85%, algo que era previsto ya que se trata de materiales cerámicos.

4.5.3 Determinación del peso unitario de los agregados

- **Peso unitario de los agregados (Grava y Cascajo de ladrillo – Arena y Polvo de ladrillo)**

Para su realización se utilizó el siguiente equipo y material:

Material:

- Muestra representativa obtenida por cuarteo:

Grava y cascajo de ladrillo aproximadamente 25kg.

Arena y polvo de ladrillo aproximadamente 5kg.

Equipo:

- Balanza sensible al 0.5% del peso de la muestra.
- Una varilla de 5/8” diámetro y unos 60 cm de largo.
- Cuchara
- Juego de recipientes cilíndricos de volumen:

Grava y cascajo de ladrillo – 14000 cm³.

Arena y polvo de ladrillo – 3000 cm³.

La preparación de la muestra representativa obtenida por cuarteo de cada uno de los agregados contenían humedad ambiente, es decir, no fue necesario recurrir al secado de los mismos, posterior a ello se realizó la calibración de los diferentes moldes cilíndricos con el fin de tener mayor precisión en sus proporciones volumétricas. Para cada uno de los agregados se realizó el peso unitario suelto, (acomodación natural de sus partículas) y el peso unitario compactado, (acomodación forzada por apisonamiento uniforme en 3 capas de 25 golpes). Para el primer caso (peso unitario suelto), se llenaron los moldes hasta enraizarlos, de manera que la superficie del

molde quedó al ras del agregado (Grava, Cascajo de ladrillo, Arena, Polvo de ladrillo en sus moldes respectivos), una vez conforme con el enrase se pesaron los moldes y se registraron los datos, repitiendo el mismo procedimiento, en un total de 3 mediciones para cada uno de los agregados.

Para el segundo caso (peso unitario compactado) para cualquiera de los agregados, se llenó el molde hasta una tercera parte de su capacidad y se procedió con el compactado o apisonamiento del mismo con la varilla, ejecutando 25 golpes sobre la primer capa de manera uniforme, de la misma forma en la capa correspondiente al segundo tercio y sobre una tercera capa con el molde completamente lleno, seguidamente se enrazó hasta llegar a cumplir que la superficie del molde quede al ras del agregado, pesando y registrando el dato correspondiente, repitiendo el mismo procedimiento, en un total de tres mediciones para cada uno de los agregados. Para el procesamiento de datos fue necesario aplicar las siguientes formulas: (que nos permitieron generar su respectivo peso por unidad de volumen.

$$PU_s = \frac{W_s}{Vol} \quad (4.19)$$

Dónde:

PU_s: Peso unitario suelto.

W_s: Peso de la muestra suelta.

Vol: Volumen del molde.

$$PU_c = \frac{W_c}{Vol} \quad (4.20)$$

Dónde:

PU_c: Peso unitario compactado.

W_c: Peso de la muestra compactada.

Vol: Volumen del molde.

- Peso unitario

Agregado grueso natural (Grava)

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, por ser este el aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)
8875,00	14000,00	30955,00	22080,00	1,577
8875,00	14000,00	30945,00	22070,00	1,576
8875,00	14000,00	30965,00	22090,00	1,578
PROMEDIO				1,577

Tabla 4.16: Datos del peso unitario del agregado grueso natural.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 25kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 14lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 1.577 gr/cm³ la tabla completa se la muestra en los anexos.

Agregado grueso artificial (Cascajo de ladrillo)

- Muestra extraída: CERÁMICA GUADALQUIVIR.
- B° German Busch.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, por ser este el aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm3)
8875,00	14000,00	24205,00	15330,00	1,095
8875,00	14000,00	23920,00	15045,00	1,075
8875,00	14000,00	23100,00	14225,00	1,016
PROMEDIO				1,062

Tabla 4.17: Datos del peso unitario del agregado grueso artificial (Cerámica Guadalquivir).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 25kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 14lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 1.062 gr/cm3 la tabla completa se la muestra en los anexos.

Se observa una variación entre el agregado grueso artificial y el natural del 32,66 % del peso unitario.

- Muestra extraída: CERÁMICA SICOMAC.
- Zona el Portillo.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, por ser este el aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm3)
8875,00	14000,00	22495,00	13620,00	0,973
8875,00	14000,00	22945,00	14070,00	1,005
8875,00	14000,00	22670,00	13795,00	0,985
			PROMEDIO	0,988

Tabla 4.18: Datos del peso unitario del agregado grueso artificial (Cerámica SICOMAC).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 25kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 14lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 0.988 gr/cm³ la tabla completa se la muestra en los anexos.

Se observa una variación entre el agregado grueso artificial y el natural del 37,35 % del peso unitario.

- Muestra extraída: CERÁMICA SAN LUIS.
- B° San Luis.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, por ser este el aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm3)
8875,00	14000,00	22765,00	13890,00	0,992
8875,00	14000,00	23230,00	14355,00	1,025
8875,00	14000,00	23100,00	14225,00	1,016
PROMEDIO				1,011

Tabla 4.19: Datos del peso unitario del agregado grueso artificial (Cerámica San Luis).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 25kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 14lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 1.011 gr/cm3 la tabla completa se la muestra en los anexos.

Se observa una variación entre el agregado grueso artificial y el natural del 35,89 % del peso unitario.

Agregado fino natural (Arena)

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, este dato no es aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm3)
2604,90	3000,00	7434,50	4829,60	1,610
2604,90	3000,00	7226,30	4621,40	1,540
2604,90	3000,00	7362,30	4757,40	1,586
PROMEDIO				1,579

Tabla 4.20: Datos del peso unitario del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 5kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 3lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 1.579 gr/cm3 la tabla completa se la muestra en los anexos.

Agregado fino artificial (Polvo de ladrillo)

- Muestra extraída: Canchas de Tenis del Gobierno Municipal.
- Zona García Agreda.

Para el peso unitario de los agregados se ejecutó bajo dos procedimientos: el peso unitario suelto, sin energía de compactación y el peso unitario compactado con energía de compactación repartido en tres capas con veinticinco golpes cada una, en este caso se exponen los datos del ensayo con energía de compactación, este dato no es aplicado para el cálculo de dosificación.

Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Compactada (gr)	Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)
2604,90	3000,00	7163,20	4558,30	1,519
2604,90	3000,00	7144,10	4539,20	1,513
2604,90	3000,00	7175,40	4570,50	1,524
			PROMEDIO	1,519

Tabla 4.21: Datos del peso unitario del agregado fino artificial (Canchas de Tenis).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra: Para el peso unitario de la grava, se utilizó aproximadamente 5kg. De muestra, equivalente a un molde volumétrico de 3lts.

Obteniendo en promedio un peso unitario igual al 1.519 gr/cm³ la tabla completa se la muestra en los anexos.

Se observa una variación entre el agregado fino artificial y el natural del 3,8 % del peso unitario.

4.6 Ensayo de desgaste de “los ángeles”

El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales en este caso utilizados en las mezclas para el hormigón.

Material:

- La muestra representativa se la toma de acuerdo a la gradación indicada.

Equipo:

- Máquina de los Ángeles.
- Balanza: Con una capacidad superior a 10 Kg y una precisión de 1g.
- Juego de Tamices.
- Horno.
- Esferas. (Carga abrasiva):

La muestra representativa del ensayo consiste en agregado limpio que ha sido secado en un horno a 105 °C hasta peso constante y tendrá una de las gradaciones indicada en la Tabla 4.22.

La gradación que se usa es la que tiene más proximidad a la del agregado bajo ensayo. En nuestro caso gradación “A” de acuerdo a nuestra granulometría.

Tamaño del Tamiz		Gradación y peso de la muestra de ensayo (grs.)						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 ½"					2500		
2 ½"	2					2500		
2	1 ½"					5000	5000	
1 ½"	1	1250					5000	
1	¾"	1250						
¾"	½"	1250	2500					5000
½"	3/8"	1250	2500					5000
3/8"	N° 3			2500				
N° 3	N° 4			2500				
N° 4	N° 8				5000			

Tabla 4.22: Tabla de gradaciones para los ensayos de desgastes.

Fuente: Guía de ensayos del laboratorio de hormigones.

Para determinar la resistencia se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar. La carga abrasiva la proveerán unas esferas metálicas estandarizadas que al interactuar con la muestra de material dentro de la máquina de los ángeles alterarán su composición granulométrica triturando el material, como resultado se tendrá una pérdida de material con respecto a su masa inicial que determinará la calidad del mismo ante el desgaste o la abrasión.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consiste en Un juego de 12 esferas de acero de aprox. 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g. y la cantidad de esferas está determinado por la gradación que se tenga y será:

Gradación	N° de Esferas	Peso de la carga
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15
E	12	5000+25
F	12	5000+25
G	12	5000+25

Tabla 4.23: Tabla de carga abrasiva de desgaste de acuerdo a gradación.

Fuente: Guía de ensayos del laboratorio de hormigones.

Equipo Máquina de desgaste de los Ángeles.

La máquina de Los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, que tiene un diámetro interior de $710 \pm 5\text{mm}$, y de largo tiene $510 \pm 5\text{mm}$, el cilindro está montado sobre dos soportes situados al centro de sus caras planas en los extremos, de tal manera que pueda girar alrededor de este eje en posición horizontal a una velocidad angular de 30 a 33 rpm.

Para introducir la muestra y las esferas metálicas se tiene una puerta en el cilindro, que debe tener la misma curvatura del cilindro que no provoca discontinuidades en la superficie interior del mismo, la citada puerta debe ser hermética para evitar salida de polvo.

Con el objetivo de crear impacto de las esferas metálicas (carga abrasiva) contra el material introducido en el cilindro deberá existir una placa de acero removible en el interior del cilindro y que esté proyectada radialmente a todo lo largo del mismo. La placa tendrá un espesor de 2.5 cm y se proyectará 8.9cm hacia el eje central del cilindro.

Las esferas necesarias para representar la carga abrasiva son “esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 gr. cada una”



Figura 4.8: Maquina de desgaste de “los ángeles” a punto de realizar la prueba.

Se necesitan de 6 a 12 esferas para realizar cada prueba dependiendo de la granulometría de la muestra a analizar.

Gradación	N° de Revoluciones
A	500
B	500
C	500
D	1000
E	1000
F	1000
G	1000

Tabla 4.24: Numero de Revoluciones de acuerdo a gradación.

Fuente: Guía de ensayos del laboratorio de hormigones.

Para contar el número de revoluciones que dé el cilindro se contará también con un dispositivo que registre las mismas.

La prueba consiste básicamente en tomar una muestra del material con una granulometría definida previamente a la prueba, colocar dicha muestra en un cilindro giratorio de acero totalmente cerrado y colocado horizontalmente, la muestra será impactada repetidamente por unas esferas metálicas introducidas en el cilindro que actúan como la carga abrasiva.

Después de un número de ciclos determinados se medirá la variación granulométrica del agregado como la diferencia que pasa la malla No. 12 (1.7 mm de abertura), antes y después de la prueba.

El único cálculo que se realiza en esta prueba consiste en la diferencia entre pesos.

$$P (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (4.21)$$

Dónde:

P (%): Porcentaje de desgaste.

(mi): Material inicial.

(mf): Material final.

- Ensayo de desgaste con la maquina “los ángeles”

Agregado grueso natural (grava).

- Muestra extraída: Rio Guadalquivir de la ciudad de Tarija.
- Zona entre el B° El Tejar y Zona del Colegio La Salle.

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	CANTIDAD TOMADA (gr)	
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	
Cantidad total de material tomado (mi)		5000	
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70mm) (mf)		4126,0	4135,0

Diferencia (mi - mf)	874,0	865,0
----------------------	-------	-------

PORCENTAJE DE DESGASTE P (%)	17,5	17,3
---------------------------------	------	------

PROMEDIO P (%)	17,4
----------------	------

Tabla 4.25: Datos del ensayo de desgaste “los ángeles” (Grava natural).

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que se realizaron dos ensayos de desgaste con la máquina de los ángeles los cuales dieron como resultado un porcentaje de desgaste para el agregado grueso natural (grava) del 17,4% resultado esperado ya que se trata de material natural extraído del rio Guadalquivir, observamos que el desgaste de esta muestra no supera el 40% siendo este el valor máximo admisible.

Agregado grueso artificial (Cascajo de ladrillo).

- Muestra extraída: CERÁMICA GUADALQUIVIR.
- B° German Busch.

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	CANTIDAD TOMADA (gr)	
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	
Cantidad total de material tomado (mi)		5000	
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70mm) (mf)		3489,4	3423,6

Diferencia (mi - mf)	1510,6	1576,4
----------------------	--------	--------

PORCENTAJE DE DESGASTE P (%)	30,2	31,5
---------------------------------	------	------

PROMEDIO P (%)	30,9
----------------	------

Tabla 4.26: Datos del ensayo de desgaste "los ángeles" (Cascajo cerámica Guadalquivir).

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que se realizaron dos ensayos de desgaste con la máquina de los ángeles los cuales dieron como resultado un porcentaje de desgaste para el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) del 30,9% resultado inesperado y sorpresivo ya que se trata de material residual del ladrillo extraído de la cerámica Guadalquivir, observamos que el desgaste de esta muestra no supera el 40% siendo este el valor máximo admisible.

- Muestra extraída: CERÁMICA SICOMAC.
- Zona el Portillo.

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	CANTIDAD TOMADA (gr)	
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	
Cantidad total de material tomado (mi)		5000	
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70mm) (mf)		3380,1	3378,2

Diferencia (mi - mf)	1619,9	1621,8
----------------------	--------	--------

PORCENTAJE DE DESGASTE P (%)	32,4	32,4
---------------------------------	------	------

PROMEDIO P (%)	32,4
----------------	------

Tabla 4.27: Datos del ensayo de desgaste "los ángeles" (Cascajo cerámica SICOMAC).

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que se realizaron dos ensayos de desgaste con la máquina de los ángeles los cuales dieron como resultado un porcentaje de desgaste para el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) del 32,4% resultado inesperado y sorprendente ya que se trata de material residual del ladrillo extraído de la cerámica SICOMAC, observamos que el desgaste de esta muestra no supera el 40% siendo este el valor máximo admisible.

- Muestra extraída: CERÁMICA SAN LUIS.
- B° San Luis.

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	CANTIDAD TOMADA (gr)	
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	
Cantidad total de material tomado (mi)		5000	
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70mm) (mf)		3368,7	3423,3

Diferencia (mi - mf)	1631,3	1576,7
----------------------	--------	--------

PORCENTAJE DE DESGASTE P (%)	32,6	31,5
---------------------------------	------	------

PROMEDIO P (%)	32,1
----------------	------

Tabla 4.28: Datos del ensayo de desgaste "los ángeles" (Cascajo cerámica San Luis).

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que se realizaron dos ensayos de desgaste con la máquina de los ángeles los cuales dieron como resultado un porcentaje de desgaste para el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) del 32,1% resultado inesperado y sorprendente ya que se trata de material residual del ladrillo extraído de la cerámica San Luis, observamos que el desgaste de esta muestra no supera el 40% siendo este el valor máximo admisible.

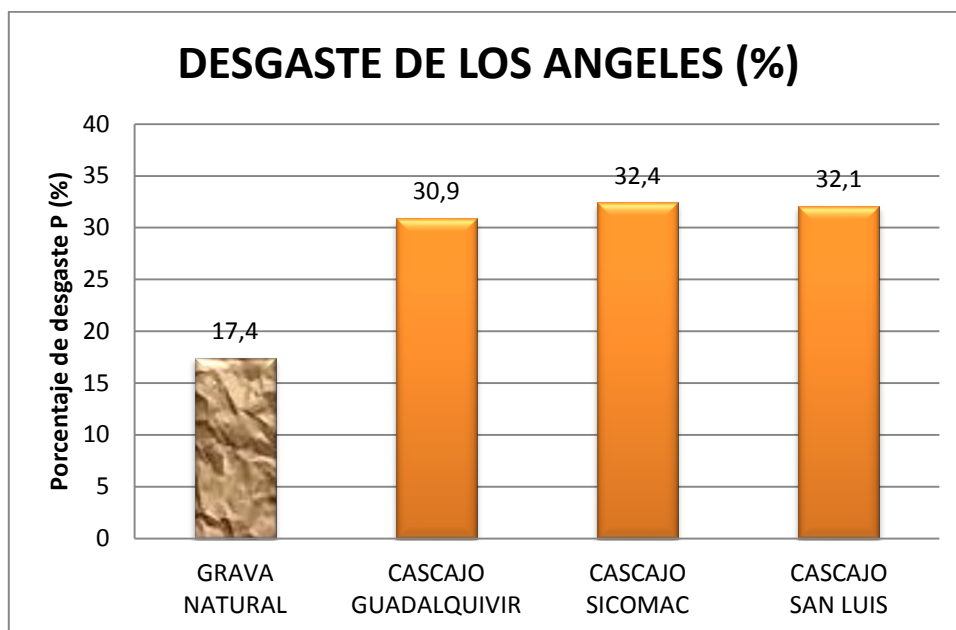


Figura 4.9: Ensayo de desgaste de los ángeles (agregado natural - artificial).

Según podemos observar ya realizados los ensayos de desgaste con la máquina de los ángeles nos dieron como resultado en lo que es el agregado natural (grava) un desgaste del 17,4% y lo que el agregado artificial (cascajo de ladrillo) un 30,9% para la cerámica Guadalquivir, 32,4 % para la cerámica SICOMAC y del 32,1 % para la cerámica San Luis, resultado inesperado y sorpresivo ya que se trata de material residual del ladrillo extraído de las cerámicas en estudio, también podemos evidenciar que el incremento del porcentaje de desgaste para los materiales artificiales aumenta un 13,5%, 15%, 14,7% respectivamente , siendo el resultado más alto para la cerámica SICOMAC con el 15% y el resultado más bajo para la cerámica Guadalquivir con el 13,5% podemos ver que las desgastes no superan el 40% siendo este el valor máximo admisible.

4.7 Preparación y usos de materiales artificiales del ladrillo

Se realizó un diseño de mezclas para hormigones normales, basado en la norma de dosificación ACI-211, a la cual se realizó alteraciones volumétricas en cuanto a las proporciones que correspondían al agregado grueso y a el agregado fino de forma porcentual, dicho proceso de cálculo se explica a continuación, también se utiliza el ladrillo en hormigón ciclópeo y el polvo de ladrillo en morteros.

4.7.1 Usos directos de los materiales

Al ladrillo macizo se le dio mismo trato que al de una piedra bola o manzana en lo que vendrían a ser los hormigones ciclópeos donde se remplaza la cantidad de piedra utilizada, por estos ladrillos que son el material artificial.

También en lo que son los zampeados de piedra natural, el mismo trato pero remplazando por material artificial como tal, por el material artificial (ladrillo).

4.7.2 Dosificación y usos en mezclas de los materiales

Como los objetivos de este trabajo de investigación eran los posibles usos de los residuos cerámicos del ladrillo como son el polvo de ladrillo y el casajo de ladrillo, es por esto que nosotros le dimos el mismo trato en mezclas para realizar hormigones y morteros.

4.7.2.1 Hormigones

Tras los ensayos de caracterización de los agregados y contando con los datos necesarios para dicho cálculo de dosificación, se procedió con el mismo siguiendo estos pasos:

1er paso: se designó la resistencia de diseño $f_c'k$, (resistencia a la que se pretende alcanzar) para este caso fue de 210 kg/cm², juntamente a ello se obtuvo la resistencia característica f_{ck} con ayuda de la tabla 6.1, resistencia que se utilizó para el proceso de cálculo.

2do paso: Se realizó la selección del asentamiento (S) con ayuda de la tabla 6.2, seleccionando así una consistencia para estructuras como losas, vigas y columnas.

3er paso: Se interpoló la relación agua cemento (a/c) de la tabla 6.3, en función a la resistencia característica (mayorada).

4to paso: De la tabla 6.4, se interpoló el factor de volumen del agregado grueso compactado (b/b_o), a través de su tamaño máximo nominal y módulo de finura del agregado fino.

5to paso: Se identificó el requerimiento de agua (A) en función al desplazamiento por asentamiento seleccionado en el segundo paso, en la tabla 6.5.

6to Paso: Se procedió a la utilización de las siguientes fórmulas, que nos ayudaron en el cálculo de esta dosificación.

$$PaG = (b/b_o) \cdot PUc \quad (4.22)$$

Dónde:

PaG: Peso del agregado grueso, en (kg/m³).

(b/b_o): Factor de volumen del agregado grueso compactado, adimensional.

PUc: Peso unitario compactado, en (kg/m³).

$$PC = \frac{A}{a/c} \quad (4.23)$$

Dónde:

PC: Peso del cemento, en (kg/m³). A:

Requerimiento de agua, en (kg/m³).

(a/c): Relación agua cemento, adimensional

$$VaG = \frac{PaG}{\gamma_{aG}} \quad (4.24)$$

Dónde:

VaG: Volumen del agregado grueso, en (lt/m³).

PaG: Peso de agregado grueso, en (kg/m³).

γ_{aG} : Peso específico del agregado grueso, en (gr/cm³).

$$VC = \frac{PC}{\gamma_C} \quad (4.25)$$

Dónde:

VC: Volumen del cemento, en (lt/m³).

PC: Peso del cemento, en (kg/m³).

γ_C : Peso específico del cemento, en (gr/cm³).

$$VaF = 1000 - VC - VaG - A \quad (4.26)$$

Dónde:

VaF: Volumen del agregado fino, en (lt/m³).

VC: Volumen del cemento, en (lt/m³).

VaG: Volumen del agregado Grueso, en (lt/m³).

A: Requerimiento de agua, en (kg/m³).

$$PaF = VaF \cdot \gamma_{aF} \quad (4.27)$$

Dónde:

PaF: Peso del agregado fino, en (kg/m³).

VaF: Volumen del agregado fino, en (lt/m³).

γ_aF : Peso específico del agregado fino, en (gr/cm³).

7mo paso: Tras haber obtenido los resultados de dosificación en peso para un metro cúbico (kg/m³) de cada uno de los agregados, se multiplicó por el volumen correspondiente a 8 probetas (m³), para obtener el resultado en peso (kg) para la misma cantidad de probetas, añadiéndole a la proporción un 20% de pérdida.

4.7.2.2.1 Variaciones porcentuales a la dosificación para los agregados

El peso total en kg. de los agregados grueso y fino obtenemos al aplicar las siguientes fórmulas:

$$PaG = (b/bo) \cdot PUc \quad (4.28)$$

Dónde:

PaG: Peso del agregado grueso, en (kg/m³).

(b/bo): Factor de volumen del agregado grueso compactado, adimensional.

PUc: Peso unitario compactado, en (kg/m³).

$$PaF = VaF \cdot \gamma_aF \quad (4.29)$$

Dónde:

PaF: Peso del agregado fino, en (kg/m³).

VaF: Volumen del agregado fino, en (lt/m³).

γ_aF : Peso específico del agregado fino, en (gr/cm³).

Donde equivalen al 100% de su peso en la mezcla, como también al 100% de su volumen, es por ello que se consideran a estos valores como punto de partida para extraer el agregado grueso (grava) y fino (arena) para poder añadir el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) y agregado fino artificial (polvo de ladrillo), con la finalidad de reponer la porción desplazada y mantener constante el volumen total de los agregados, y así no alterar el volumen total de la mezcla de hormigón.

N° de ensayos	Ingredientes						Nombre de las muestras
	Agregado grueso (%)			Agregado fino (%)			
	Grava	Cascajo	Total	Arena	Polvo	Total	
1	100	-	100	100	-	100	Patrón
2	-	100	100	-	100	100	Cerámico 100%
3	50	50	100	50	50	100	Cerámico 50%
4	-	100	100	100	-	100	Cascajo 100%
5	100	-	100	-	100	100	Cascajo 50%
6	50	50	100	100	-	100	Polvo de lad. 100%
7	100	-	100	50	50	100	Polvo de lad. 50%

Tabla 4.29: Equivalencia de agregados artificiales por volumen desplazado de agregados naturales.

Fuente: Elaboración propia.

Para poder realizar una división porcentual exacta tal como se quiere realizar en la tabla 4.4 fue necesario la aplicación de las formulas (4.22) para el agregado grueso y la (4.27) para el agregado fino tal como se muestra pasos más arriba.

- Determinación del volumen del agregado grueso y fino natural al 100%

Teniendo como datos el peso unitario compactado (PUc), y el peso del agregado grueso (PaG) para un determinado volumen expresado en peso (kg), se utilizó la

fórmula del peso unitario, teniendo como única incógnita el volumen del agregado grueso, que fue despejado como se indica a continuación.

$$VaG = \frac{PaG}{PUc} \quad (4.30)$$

Dónde:

VaG: Volumen del agregado grueso al 100%, en (m³).

PaG: Peso del agregado grueso, en (kg).

PUc: Peso unitario compactado, en (Kg/m³).

$$VaF = \frac{PaF}{\gamma_{aF}} \quad (4.31)$$

Dónde:

VaF: Volumen del agregado fino, en (lt/m³).

PaF: Peso del agregado fino, en (kg/m³).

γ_{aF} : Peso específico del agregado fino, en (gr/cm³).

- Compensación del volumen extraído de los agregados naturales por los artificiales

Si bien el volumen extraído (VE), pertenece al agregado grueso natural (grava) o al agregado fino (arena), esa porción volumétrica fue devuelta, cumpliendo la condición de “volumen extraído (VE), igual al volumen añadido (VA), teniendo así la siguiente expresión.

$$VE(\text{grava})=VA(\text{cascajo de ladrillo}) \quad (4.32)$$

$$VE(\text{arena})VA=(\text{polvo de ladrillo}) \quad (4.33)$$

Dónde:

VE: Volumen extraído, en m³.

VA: Volumen añadido, en m³.

Estos volúmenes tiene que ser devueltos a la mezcla, pero como el resto de materiales que participan en el hormigón se encuentran en proporciones de peso, se vio por conveniente añadir estos volúmenes en peso, usando nuevamente la fórmula del peso unitario, participando esta vez el peso unitario compactado (PUc) en el agregado grueso y el peso específico (γ_F) en el agregado fino, de los residuos cerámicos del ladrillo, los volúmenes añadidos (VA), y los pesos correspondientes a esos volúmenes, que serían introducidos de nuevo a la mezcla quedaron de la siguiente forma:

$$PaGA = PUcA \cdot VA \quad (4.34)$$

Dónde:

$PaGA$: Peso del agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo), en kg.

$PUcA$: Peso unitario compactado del agregado artificial, en (Kg/m³).

VA : Volumen del agregado añadido, en m³.

$$PaFA = VaF \cdot \gamma_{aFA} \quad (4.35)$$

Dónde:

$PaFA$: Peso del agregado fino artificial (polvo de ladrillo), en (kg/m³).

VA : Volumen del agregado añadido, en m³.

γ_{aFA} : Peso específico del agregado fino artificial, en (kg /cm³).

El punto de partida fue la fórmula (4.22), se vio adecuado justificar el procedimiento realizado a partir de dicha fórmula, pero en función a los datos del material artificial.

4.7.2.2 Morteros

Mezcla constituida por agregado fino, un conglomerante y agua.

Dosificación del mortero: relación entre cantidad de conglomerante y cantidad de arena.

Mortero normal: compuesto por una parte de conglomerante por cada tres de arena, de manera que aquél rellene los vacíos existentes en ésta, este es el que se utiliza generalmente en muretes y mampuestos.

Siempre tratando de llegar a una resistencia requerida.

4.8 Elaboración de las muestras

A partir de los siguientes datos obtenidos de la caracterización de los agregados y de las especificaciones de los materiales, realizamos el diseño de mezclas.

ENSAYO	UNIDAD	VALOR
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	3,08
1.- Modulo de finura del polvo de ladrillo (MF)	s/u	3,52
2.- Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1577
2.- Peso Unitario Compactado del cascajo de ladrillo Cer. Guadalquivir (PUC)	kg/m ³	1062
2.- Peso Unitario Compactado del cascajo de ladrillo Cer. SICOMAC (PUC)	kg/m ³	988
2.- Peso Unitario Compactado del cascajo de ladrillo Cer. San Luis (PUC)	kg/m ³	1011
3.- Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2,54
3.- Peso específico del polvo de ladrillo (γ_f)	gr/cm ³	2,46
4.- Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	2,67
4.- Peso específico del cascajo de ladrillo Cer. Guadalquivir (γ_g)	gr/cm ³	2,56
4.- Peso específico del cascajo de ladrillo Cer. SICOMAC (γ_g)	gr/cm ³	2,60
4.- Peso específico del cascajo de ladrillo Cer. San Luis (γ_g)	gr/cm ³	2,61
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	3,21
5.- Absorción del polvo de ladrillo (Aa)	%	6,06
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	1,32
6.- Absorción del cascajo de ladrillo Cer. Guadalquivir (Ag)	%	7,48
6.- Absorción del cascajo de ladrillo Cer. SICOMAC (Ag)	%	9,79
6.- Absorción del cascajo de ladrillo Cer. San Luis (Ag)	%	9,59
7.- Humedad de la Arena (Ha)	%	1,53
7.- Humedad del polvo de ladrillo (Ha)	%	1,94
8.- Humedad de la Grava (Hg)	%	0,93
8.- Humedad del cascajo de ladrillo Cer. Guadalquivir (Hg)	%	0,05
8.- Humedad del cascajo de ladrillo Cer. SICOMAC (Hg)	%	0,11
8.- Humedad del cascajo de ladrillo Cer. San Luis (Hg)	%	0,06
9.- Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	2"
10.- Peso específico del cemento	gr/cm ³	3,14

Tabla 4.30: Datos que se obtuvieron de la caracterización de los agregados.

En esta tabla de todos los ensayos podemos observar las variaciones en pesos, en absorción y otros que tenemos entre los agregados naturales con los agregados artificiales analizados independientemente en su respectivo análisis granulométrico

puntos más arriba, todos estos datos son los que nos sirven para el diseño de nuestras mezclas.

Aquí describimos todo el proceso que se siguió, para la elaboración de los diferentes tipos de muestras basados en ensayos de testificación de materiales (ASTM), constando de probetas cilíndricas estándar de 15cm. de diámetro y 30cm de alto.

4.8.1 Hormigón simple

Primero se hizo el vaciado de probetas (patrón) de hormigón simple, pesando los agregados, de acuerdo a las proporciones obtenidas del cálculo de dosificación correspondiente a cada agregado (cemento, arena, grava, agua), en condición seca. A continuación se introdujo a la mezcladora el agregado grueso y gran parte del agua, segundos más tarde, luego de que el agregado grueso se haya saturado, introducimos el cemento y la arena, seguido del agua restante para terminar el mezclado homogéneo.



Figura 4.10: Mezcladora en proceso de elaboración del hormigón.

Después de transcurridos unos minutos en la mezcladora, se vació la pasta de hormigón sobre un recipiente, para proceder al vaciado de las probetas y al ensayo de consistencia, a través del cono de Abrams, que nos permitió verificar que la muestra mantenga las condiciones óptimas que se establecieron en el proceso de cálculo, para ello se tomó en cono y se vació la muestra hasta una tercera parte de su altura, distribuyendo la mezcla sobre su base con 25 golpes efectuados por la varilla de compactación, repitiendo así el proceso hasta el nivel superior, y se enrazó la mezcla para contar con una superficie plana, se extrajo cuidadosamente el cono y se midió el desplazamiento, mismo se esperaba sea menor o igual al asumido en el proceso de cálculo equivalente a 3”.



Figura 4.11: Prueba realizada con el cono de Abrams en el proceso de hormigonado.

Seguido a ello, se procedió al vaciado de la mezcla en los moldes cilíndricos, usando un procedimiento similar al cono de Abrams, repartiendo la altura total del molde en tres partes aparentemente iguales y sometidas a 25 golpes sobre cada una de ellas, con la varilla de compactación



Figura 4.12: Vaciado de probetas de hormigón patrón en moldes.

Una vez las probetas llenas de mezcla, se procedió al traslado de las mismas a un lugar de superficie plana, donde se realizó el vibrado con la ayuda de un combo de goma, para eliminar las burbujas y reacomodar las partículas, luego fueron enrazadas, dándoles a las probetas un acabado fino, esto para no tener problemas en el momento de rotura, ya que la asimetría es un causante de variación en la resistencia.

Se dejó fraguar al hormigón por 24Hrs. y se procedió al desmolde para que las piezas de hormigón, sean sometidas al curado.

- Hormigón simple

Con los datos obteniendo tenemos como resultado las siguientes proporciones de mezclas para un metro cúbico de hormigón patrón. (Informe completo expuesto en anexos)

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³
Cemento	336,96	336,96
Agua	155	173,35
Grava	1088,23	1098,38
Arena	841,35	854,23

Tabla 4.31: Proporción de los agregados en peso para un metro cubico de hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

Cemento	Arena	Grava
1,0	2,5	3,2
1,0	2,0	3,0

Tabla 4.32: Relación de la proporción de los agregados del hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

En este hormigón al ser el patrón no lo hicimos sufrir ninguna variación de dosificación, así que no alteramos de ninguna manera la dosificación resultante de sus agregados tanto grueso (grava) como el agregado fino (arena).

Aquí se muestran las siguientes proporciones, equivalentes al volumen de ocho (8) probetas cilíndricas.

Ensayo patrón.

Ingredientes	(Kg) para 8 probetas SECO	(Kg) para 8 probetas HUMEDO	%
Cemento	17,9	17,9	
Agua	7,9	8,8	
Grava	55,4	55,9	100
Arena	42,8	43,4	100

Tabla 4.33: Ingredientes de agregados naturales para el hormigón patrón.**Fuente:** Elaboración propia.**4.8.2 Hormigón a base de residuos cerámicos de ladrillo**

El hormigón a base de residuos cerámicos de ladrillo, se trata de la disminución de los agregados naturales y remplazados por los agregados de los residuos cerámicos del ladrillo, en diferentes proporciones, estos hormigones recibieron el mismo trato en el proceso de mezcla.

**Figura 4.13:** Mezcladora a punto para un hormigón al 100% de residuos cerámicos.



Figura 4.14: Mezcladora en proceso de elaboración de hormigón con agregados artificiales.

Para los distintos porcentajes de residuos cerámicos en lo que son los agregados finos (polvo de ladrillo) y agregado grueso (cascajo de ladrillo). Al igual que en el hormigón simple, el agregado grueso, ya sea combinado porcentualmente con cascajo de ladrillo, estos fueron introducidos a la mezcladora junto con gran parte de agua, hasta que las partículas de agregado natural se saturaron, y de ahí en adelante el mismo procedimiento con el cemento, y el agregado fino, que también es combinado con polvo de ladrillo y la cantidad de agua restante.

Para el porcentaje correspondiente al 100% de residuos cerámicos del ladrillo (polvo y cascajo de ladrillo), se conservó la metodología de mezcla, agregando inicialmente el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo), que en este caso reemplazó por completo al agregado grueso natural (grava) con gran parte del agua, pero que en proceso nos dimos cuenta que tenía que ser mayor a la inicial, esto por el mayor porcentaje de absorción que tienen los residuos cerámicos del ladrillo, después se añadió el cemento, y posteriormente el material fino artificial (polvo de ladrillo) y la cantidad restante de agua que también no fue suficiente y se tuvo que aumentar una cantidad para que el material tenga la consistencia necesaria, todo esto bajo el mismo

procedimiento que un hormigón simple, claro está que con el aumento significativo de agua.

Para verificar que el contenido de agua fuera el necesario para los distintos porcentajes utilizados de residuos cerámicos del ladrillo, se realizó el ensayo de consistencia, demostrando así que la consistencia del hormigón era la misma para todos los casos, adquiriendo alguna variación. Para el vaciado de probetas se utilizó el mismo tratamiento, de las tres capas y 25 golpes en cada una de ellas. Luego los moldes llenos de mezcla se los llevo a una superficie plana para su vibrado y enrazado correspondiente, donde apreciamos que los agregados artificiales se comportaron de similar manera a las del hormigón patrón no teniendo ninguna complicación en el enrazado para su futura ruptura.



Figura 4.15: Vaciado, enrazado y fraguado de probetas de hormigón a base de residuos cerámicos de ladrillo.

Se dejó fraguar al hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo por lapso de 24Hrs. para luego realizar el desmolde para que las piezas de hormigón, sean sometidas al curado.

- Hormigón a base de residuos cerámicos de ladrillo

La variación de dosificación, consistió en alterar de forma volumétrica el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena), en proporciones porcentuales donde el volumen desplazado de agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena), fuera reemplazado por el agregado grueso artificial (cascajo de ladrillo) y el agregado fino artificial (polvo de ladrillo), en las siguientes proporciones, equivalentes al volumen de ocho (8) probetas cilíndricas.

Donde el agregado grueso entre natural y artificial suma un total entre ambos del 100% y un volumen de 0.03513 m³, y el agregado fino entre natural y artificial entre ambos también suman un 100 % y tienen un volumen de 0.01685 m³, manteniendo constante el volumen para cualquiera de los casos. El resto de los materiales que componen el hormigón se mantuvieron inalterados sea el caso del cemento y agua. En las tablas a continuación se muestran los ingredientes componentes del hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo con sus distintos porcentajes y de las diferentes cerámicas en estudio y el polvo de ladrillo respectivamente.

Cerámica Guadalquivir.

Ensayo N° 1

Con el 100 % de Cascajo y el 100 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	37,4	37,6	100
Arena	-	-	
Polvo	41,4	42,2	100

Ensayo N° 2

Con el 50 % de Cascajo y el 50 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	18,7	18,8	50
Arena	21,4	21,8	50
Polvo	20,7	21,1	50

Ensayo N° 3**Con el 100 % de Cascajo de ladrillo**

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	37,4	37,6	100
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Ensayo N° 4**Con el 50 % de Cascajo de ladrillo**

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	18,7	18,8	50
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Tablas 4.34: Ingredientes de agregados artificiales en diferentes porcentajes para el hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo CERAMICA GUADALQUIVIR.

Fuente: Elaboración propia.

Cerámica SICOMAC.

Ensayo N° 1

Con el 100 % de Cascajo y el 100 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	34,8	35,0	100
Arena	-	-	
Polvo	41,4	42,2	100

Ensayo N° 2

Con el 50 % de Cascajo y el 50 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	17,4	17,5	50
Arena	21,4	21,8	50
Polvo	20,7	21,1	50

Ensayo N° 3**Con el 100 % de Cascajo de ladrillo**

Ingredientes	(Kg) para 8 probetas SECO	(Kg) para 8 probetas HUMEDO	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	34,8	35,0	100
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Ensayo N° 4**CON EL 50 % DE CASCAJO DE LADRILLO**

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	17,4	17,5	50
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Tablas 4.35: Ingredientes de agregados artificiales en diferentes porcentajes para el hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo CERAMICA SICOMAC.

Fuente: Elaboración propia.

Cerámica San Luis.

Ensayo N° 1

Con el 100 % de Cascajo y el 100 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	35,6	35,8	100
Arena	-	-	
Polvo	41,4	42,2	100

Ensayo N° 2

Con el 50 % de Cascajo y el 50 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	17,8	17,9	50
Arena	21,4	21,8	50
Polvo	20,7	21,1	50

Ensayo N° 3**Con el 100 % de Cascajo de ladrillo**

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	-	-	
Cascajo	35,6	35,8	100
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Ensayo N° 4**Con el 50 % de Cascajo de ladrillo**

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas seco	(Kg) para 8 Probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	27,7	28,0	50
Cascajo	17,8	17,9	50
Arena	42,8	43,4	100
Polvo	-	-	

Tablas 4.36: Ingredientes de agregados artificiales en diferentes porcentajes para el hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo CERAMICA SAN LUIS.

Fuente: Elaboración propia.

Polvo de ladrillo (Cachas de tenis municipal)

Ensayo N° 1

Con el 100 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 probetas seco	(Kg) para 8 probetas húmedo	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	55,4	55,9	100
Cascajo	-	-	
Arena	-	-	
Polvo	41,4	42,2	100

Ensayo N° 2

Con el 50 % de Polvo de ladrillo

Ingredientes	(Kg) para 8 Probetas SECO	(Kg) para 8 Probetas HUMEDO	%
Cemento	17,1	17,1	
Agua	7,9	8,8	
Grava	55,4	55,9	100
Cascajo	-	-	
Arena	21,4	21,8	50
Polvo	20,7	21,1	50

Tablas 4.37: Ingredientes de agregados artificiales en diferentes porcentajes para el hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo (polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

4.8.3 Hormigón ciclópeo

El hormigón ciclópeo en el cual utilizamos el ladrillo, es el hormigón simple (patrón) y le añadimos porcentualmente ciertas cantidades de el elemento desplazador, en este caso el ladrillo en remplazo de la piedra que es el elemento desplazador que normalmente se utiliza, realizamos un cambio de la piedra por el ladrillo en volumen para poder realizar nuestros ensayos.



Figura 4.16: Hormigón ciclópeo con ladrillo desplazador.

- Hormigón ciclópeo.

Lo que se hizo en este caso para el hormigón ciclópeo fue partir de nuestro hormigón simple (patrón) donde no le hicimos sufrir ninguna variación de dosificación, pero si

le agregamos un cierto porcentaje de piedra desplazadora como ocurre normalmente en el hormigón ciclópeo.

Aquí se muestran las siguientes proporciones porcentuales de la inclusión de piedra desplazadora al hormigón para 1 m³ de Hormigón ciclópeo.

Ingrediente	Cantidad	Unidad
Cemento	336,96	kg/m ³
Grava	0,75	m ³ /m ³
Arena	0,60	m ³ /m ³
P.D. (-)%	1,2	m ³ /m ³

Tabla 4.38: Proporción de los insumos para un metro cubico de hormigón ciclópeo.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación mostramos las tablas de los ensayos que se realizaron para el hormigón ciclópeo con los distintos porcentajes que utilizamos para la piedra desplazadora 30%, 40%, 50%, que remplazamos por ladrillo desplazador, estas cantidades desplazadas en volumen no se modificaron tanto como para la piedra como para el ladrillo desplazador, el hormigón simple es el que utilizamos según la dosificación que obtuvimos y no le hicimos sufrir ninguna modificación, las cantidades de material son para un total de 4 probetas.

Ensayo patrón hormigón ciclópeo.

Con el 30 % de piedra desplazadora.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,7	6,3	Kg
Grava	27,7	0,7	19,39	Kg
Arena	21,4	0,7	14,98	Kg
P.D. 30%	-	0,3	1590	cm ³

Tabla 4.39: Ingredientes para el H ° C ° con P.D. 30%.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 1.

Con el 30 % de ladrillo desplazador.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,7	6,3	Kg
Grava	27,7	0,7	19,39	Kg
Arena	21,4	0,7	14,98	Kg
L.D. 30%	-	0,3	1590	cm ³

Tabla 4.40: Ingredientes para el H ° C ° con L.D. 30%.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo patrón hormigón ciclópeo.

Con el 40 % de piedra desplazadora.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,6	5,4	Kg
Grava	27,7	0,6	16,62	Kg
Arena	21,4	0,6	12,84	Kg
P.D. 40%	-	0,4	2120	cm ³

Tabla 4.41: Ingredientes para el H ° C ° con P.D. 40%.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 2.

Con el 40 % de ladrillo desplazador.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,6	5,4	Kg
Grava	27,7	0,6	16,62	Kg
Arena	21,4	0,6	12,84	Kg
L.D. 40%	-	0,4	2120	cm ³

Tabla 4.42: Ingredientes para el H ° C ° con L.D. 40%.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo patrón hormigón ciclópeo.

Con el 50 % de piedra desplazadora.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,5	4,5	Kg
Grava	27,7	0,5	13,85	Kg
Arena	21,4	0,5	10,7	Kg
P.D. 50%	-	0,5	2650	cm³

Tabla 4.43: Ingredientes para el H ° C ° con P.D. 50%.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 3.

Con el 50 % de ladrillo desplazador.

Ingredientes	(Kg) para 4 Probetas seco	Volumen Desplazado	Cantidades 4 probetas	Unidad
Cemento	9	0,5	4,5	Kg
Grava	27,7	0,5	13,85	Kg
Arena	21,4	0,5	10,7	Kg
L.D. 50%	-	0,5	2650	cm³

Tabla 4.44: Ingredientes para el H ° C ° con L.D. 50%.

Fuente: Elaboración propia.

4.8.4 Mortero normal.

El mortero no es más que una mezcla constituida por agregado fino (arena), un conglomerante (cemento) y agua.

Mortero normal: compuesto por una parte de conglomerante por cada tres de arena.

Lo que nosotros hicimos fue remplazar porcentual pero empíricamente el material fino natural (arena) que interviene en un mortero normal por el agregado fino artificial (polvo de ladrillo), manteniendo la misma cantidad de conglomerante, pero siempre teniendo en cuenta la cantidad de agua utilizada en el mezclado ya que el material artificial tiene mayor porcentaje de absorción.



Figura 4.17: Morteros a base de polvo de ladrillo.

- Mortero normal.

Se utilizó una dosificación en volumen de 1:3, cemento y arena, y también una dosificación de 1:4, cemento y arena respectivamente, con la cantidad de agua

necesaria para que la mezcla se encuentre trabajable. Dicha dosificaciones son la comúnmente utilizadas para erigir muros y mampuestos, por lo cual fueron las adoptadas para reflejar las condiciones actuales de construcción. Lo que se hizo fue mantener la cantidad de volumen de cemento e hicimos variar el volumen de arena por el polvo de ladrillo en diferentes porcentajes para nuestras prácticas, cantidades y porcentajes que los mostramos a continuación en las tablas.

Para que se haga más fácil el entender la parte de la dosificación ya que los componentes de nuestros morteros son tres utilizamos la siguiente nomenclatura indicada:

Ej. Dosificación.- 1:3:0

Dónde:

1 cemento; 3 arena; 0 polvo de ladrillo.

Ensayo patrón mortero normal 1:3.

Dosificación 1:3:0 (1 cemento; 3 arena; 0 polvo de ladrillo).

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	400	
Arena	900	100
Polvo	-	-

Tablas 4.45: Ingredientes para mortero patrón dosf. 1:3:0 (1 cemento; 3 arena; 0 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 1**Dosificación 1:0:3 (1 cemento; 0 arena; 3 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm3) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	400	
Arena	-	-
Polvo	900	100

Tablas 4.46: Ingredientes para mortero dosf. 1:0:3 (1 cemento; 0 arena; 3 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 2**Dosificación 1:1,5:1,5 (1 cemento; 1,5 arena; 1,5 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm3) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	400	
Arena	450	50
Polvo	450	50

Tablas 4.47: Ingredientes para mortero dosf. 1:1,5:1,5 (1 cemento; 1,5 arena; 1,5 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 3**Dosificación 1:1:2 (1 cemento; 1 arena; 2 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	400	
Arena	300	33
Polvo	600	67

Tablas 4.48: Ingredientes para mortero dosf. 1:1:2 (1 cemento; 1 arena; 2 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 4**Dosificación 1:2:1 (1 cemento; 2 arena; 1 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	400	
Arena	600	67
Polvo	300	33

Tablas 4.49: Ingredientes para mortero dosf. 1:2:1 (1 cemento; 2 arena; 1 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo patrón mortero normal 1:4.

Dosificación 1:4:0 (1 cemento; 4 arena; 0 polvo de ladrillo).

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	480	
Arena	1200	100
Polvo	-	-

Tablas 4.50: Ingredientes para mortero patrón dosf. 1:4:0 (1 cemento; 4 arena; 0 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 1

Dosificación 1:0:4 (1 cemento; 0 arena; 4 polvo de ladrillo).

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	480	
Arena	-	-
Polvo	1200	100

Tablas 4.51: Ingredientes para mortero dosf. 1:0:4 (1 cemento; 0 arena; 4 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 2**Dosificación 1:2:2 (1 cemento; 2 arena; 2 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	480	
Arena	600	50
Polvo	600	50

Tablas 4.52: Ingredientes para mortero dosf. 1:2:2 (1 cemento; 2 arena; 2 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 3**Dosificación 1:1:3 (1 cemento; 1 arena; 3 polvo de ladrillo).**

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	480	
Arena	400	33
Polvo	800	67

Tablas 4.53: Ingredientes para mortero dosf. 1:1:3 (1 cemento; 1 arena; 3 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo N° 4

Dosificación 1:2:1 (1 cemento; 3 arena; 1 polvo de ladrillo).

Ingredientes	(cm ³) para 6 probetas 2" x 2"	%
Cemento	300	
Agua	480	
Arena	800	67
Polvo	400	33

Tablas 4.54: Ingredientes para mortero dosf. 1:3:1 (1 cemento; 3 arena; 1 polvo de ladrillo).

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Curado de las probetas.

Luego de fraguado el hormigón, fue necesario mantenerlo saturado de agua, con el fin de terminar de hidratar las partículas del cemento y conseguir así su máxima eficiencia. Las probetas del presente estudio de investigación sobre los residuos cerámicos, recibieron un tratamiento de curado ideal, que consistió en sumergir completamente en una piscina hasta los 7 días de edad. Se retiró las probetas al séptimo día, para mantener un equilibrio de ventajas tanto para las partículas de cemento que necesitaban hidratarse y como para las agregados utilizados, todas las muestras recibieron el mismo tratamiento, tanto las probetas del hormigón patrón, como las probetas de hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo correspondiente a cada uno de los porcentajes ya conocidos.



Figura 4.18: Curado probetas sumergidas, ideal.

4.10 Pruebas aplicadas

Como parte del desarrollo del experimento, se realizaron las siguientes pruebas.

4.10.1 Densidad (peso por unidad de volumen)

Las pruebas de densidad o peso por unidad de volumen, la realizamos al hormigón simple y se las realizo utilizando muestras cilíndricas de 15cm. de diámetro y 30cm. de alto, con presencia de humedad correspondiente a la saturación del proceso de curado correspondientes al a los 7 y 28 días de edad. Se pesaron las muestras en una balanza digital de precisión (± 5 gr.) las cuales tenemos en el laboratorio de suelos y

hormigones de la Universidad, y se midió con cinta métrica sus dimensiones para determinar un promedio de su geometría.



Figura 4.19: Prueba de densidad.

4.10.2 Resistencia a la compresión.

Las pruebas de resistencia a compresión se llevaron a cabo conforme a la norma ASTM C39, sobre probetas cilíndricas estandarizadas, se utilizó una prensa digital de pruebas a compresión marca CONTROL'S, de procedencia Italiana, (sistema de pistón hidráulico, capacidad máxima de fuerza 2000 KN., velocidad nominal 0.5Mp/s, controlada electrónicamente). Para las pruebas se utilizaron muestras cilíndricas normalizadas de 15cm. de diámetro y 30cm de alto.

Para el hormigón simple haciendo un total de ciento veinte (120) probetas, correspondientes a 3 cerámicas distintas con sus residuo cerámico (cascajo de ladrillo) con 4 distintos porcentajes, los ensayos agrupados en 8 distintas pruebas, en

lo que se refiere al otro residuo cerámico (polvo de ladrillo) agrupados en 2 ensayos también agrupados en 8 probetas cada ensayo, más las 8 probetas patrón.

Para el hormigón ciclópeo haciendo un total de veinticuatro (24) probetas, correspondientes a 3 distintos porcentajes de variación, cada ensayo agrupado en 4 probetas cada uno más sus 4 probetas patrón de cada ensayo.



Figura 4.20: Rotura de probetas cilíndricas a compresión.

Para el caso de la rotura a compresión de los morteros se utiliza la misma prensa, pero a esta se le añade un suple especial y exclusivo para estas probetas cubicas de 2" x 2" tal como mostramos en la foto a continuación.

Para los morteros haciendo un total de (60) probetas, correspondientes a dos distintas dosificaciones, cada una con 4 diferentes porcentajes, agrupado en 6 distintas probetas, más las 6 probetas de una dosificación y más las 6 de la otra dosificación.



Figura 4.21: Rotura de probetas cubicas a compresión para morteros.

CAPÍTULO V

	Página
ANÁLISIS DE RESULTADOS	180
5.1 Pruebas aplicadas	180
5.2 Resultados obtenidos de las pruebas aplicadas	185
5.3 Uso de los materiales artificiales en obras de específicas de drenaje menor	226
5.4 Análisis de costos de producción y general de los residuos cerámicos del ladrillo	236
5.4 Conclusiones y recomendaciones.....	240

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los agregados y también de las diferentes pruebas realizadas a las muestras elaboradas, las cuales fueron descritas en el capítulo anterior. Los resultados son presentados por tipo de prueba realizada, donde se muestran los datos obtenidos y la información generada a partir de los mismos. Después se realiza el análisis de la información y correlaciones con la información generada.

5.1 Pruebas aplicadas

- Hormigón simple

A continuación se presentan los datos promedio que se obtuvieron en las pruebas de resistencia a compresión y densidad, misma corresponden a las pruebas planteadas en el presente estudio de investigación, habiendo desarrollado la toma de datos en dos etapas, a los 7 y 28 días, estas se aplicaron a cuatro especímenes por tipo de muestra, por lo que el cálculo real por tipo se tomó como el promedio de los cuatro, y los resultados individuales de resistencia a la compresión correspondientes a cada porcentaje se muestran en anexos.

Etapa inicial: Edad del Hormigón 7 días.

PESO Y RESISTENCIA A LOS 7 DIAS				
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso [w] (kg)	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	PATRON		12,605	156,20
2	CERAMICO 100%	GUADALQUIVIR	10,840	92,27
	CERAMICO 100%	SICOMAC	10,643	89,99
	CERAMICO 100%	SAN LUIS	10,470	90,35
3	CERAMICO 50%	GUADALQUIVIR	11,645	126,12
	CERAMICO 50%	SICOMAC	11,614	123,77
	CERAMICO 50%	SAN LUIS	11,573	125,69
4	CASCAJO 100%	GUADALQUIVIR	11,704	105,75
	CASCAJO 100%	SICOMAC	11,585	105,08
	CASCAJO 100%	SAN LUIS	11,599	104,80
5	CASCAJO 50%	GUADALQUIVIR	12,080	128,90
	CASCAJO 50%	SICOMAC	12,040	127,41
	CASCAJO 50%	SAN LUIS	12,061	126,93
6	POLVO DE LAD. 100%	CANCHAS MUN.	11,848	149,82
7	POLVO DE LAD. 50%	CANCHAS MUN.	11,868	151,81

Tablas 5.1: Datos promedio de peso y resistencia de los hormigones a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa final: Edad del Hormigón 28 días.

PESO Y RESISTENCIA A LOS 28 DIAS				
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso [w] (kg)	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	PATRON		12,659	228,4
2	CERAMICO 100%	GUADALQUIVIR	10,876	134,1
	CERAMICO 100%	SICOMAC	10,725	132,3
	CERAMICO 100%	SAN LUIS	10,918	131,4
3	CERAMICO 50%	GUADALQUIVIR	11,801	185,3
	CERAMICO 50%	SICOMAC	11,688	183,2
	CERAMICO 50%	SAN LUIS	11,555	181,3
4	CASCAJO 100%	GUADALQUIVIR	11,710	151,4
	CASCAJO 100%	SICOMAC	11,629	151,8
	CASCAJO 100%	SAN LUIS	11,713	149,8
5	CASCAJO 50%	GUADALQUIVIR	12,101	187,1
	CASCAJO 50%	SICOMAC	12,054	185,7
	CASCAJO 50%	SAN LUIS	12,079	186,1
6	POLVO DE LAD. 100%	CANCHAS MUN.	11,858	211,2
7	POLVO DE LAD. 50%	CANCHAS MUN.	11,933	215,6

Tablas 5.2: Datos promedio de peso y resistencia de los hormigones a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

- Hormigón ciclópeo

A continuación se presentan los datos promedio que se obtuvieron en las pruebas de resistencia a compresión, misma corresponden a las pruebas planteadas en el presente estudio de investigación, habiendo desarrollado la toma de datos en una etapa, a los 28 días, estas se aplicaron a cuatro especímenes por tipo de muestra, por lo que el cálculo real por tipo se tomó como el promedio de los cuatro, y los resultados individuales de resistencia a la compresión correspondientes a cada porcentaje se muestran en anexos.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS		
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón ciclópeo	Resistencia a Compresión [f_c'] (kg/cm ²)
1	H°C° 30% P. D. (Patron)	103,1
2	H°C° 30% L. D.	100,3
3	H°C° 40% P. D. (Patron)	99,1
4	H°C° 40% L. D.	93,7
5	H°C° 50% P. D. (Patron)	93,5
6	H°C° 50% L. D.	89,3

Tablas 5.3: Datos promedio de resistencia de los hormigones ciclópeos a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

- Mortero normal

A continuación se presentan los datos promedio que se obtuvieron en las pruebas de resistencia a compresión, misma corresponden a las pruebas planteadas en el presente estudio de investigación, habiendo desarrollado la toma de datos en una etapa, a los 28 días, estas se aplicaron a seis especímenes por tipo de muestra, por lo que el cálculo real por tipo se tomó como el promedio de los seis, y los resultados individuales de resistencia a la compresión correspondientes a cada porcentaje se muestran en anexos.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Identificación de la muestra	Resistencia a Compresión [f_c' k] (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
Dosificación 1:3			
1	Mortero 1:3:0 (patrón)	83,7	8,2
2	Mortero 1:0:3	78,8	7,7
3	Mortero 1:1,5:1,5	80,7	7,9
4	Mortero 1:1:2	78,7	7,7
5	Mortero 1:2:1	81,4	8
Dosificación 1:4			
6	Mortero 1:4:0 (patrón)	64,4	6,3
7	Mortero 1:0:4	59,2	5,8
8	Mortero 1:2:2	62,2	6,1
9	Mortero 1:1:3	59,8	5,9
10	Mortero 1:3:1	62,8	6,2

Tablas 5.4: Datos promedio de resistencia y esfuerzo de los morteros a los 28 días dosificación 1:3 y 1:4.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resultados obtenidos de las pruebas aplicadas

Aquí es donde mostramos la información que se generó a partir de los datos, en las tablas y gráficos sobre los resultados obtenidos.

Para el caso de la resistencia a compresión para el hormigón simple, mostramos la probeta patrón y los resultados de las distintas mezclas en diferentes proporciones de residuos cerámicos del ladrillo como agregado grueso y agregado fino en la mezcla; y los valores que indican la resistencia a compresión correspondiente a cada prueba, también mostramos a continuación de estas las figuras de la evolución del hormigón. Mientras tanto en el caso de la densidad, en el eje de las abscisas se ubican las distintas proporciones de residuos cerámicos del ladrillo como agregado grueso y fino en la mezcla; y los valores en el eje de las ordenadas, indican el peso unitario del hormigón correspondiente a cada porcentaje de residuos cerámicos del ladrillo.

- Resistencia a la compresión

Mostramos la tabla con las resistencia para los distintos porcentajes y en la gráfica los cilindros representan la resistencia a compresión de cada diferente tipo de mezcla a base de residuos cerámicos, de las distintas cerámicas en estudio y del polvo de ladrillo, el primer cilindro es el ensayo patrón.

- Resistencia a la compresión hormigón simple

Etapa inicial: Edad del Hormigón 7 días.

RESISTENCIA A COMPRESION A LOS 7 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	GUADALQUIVIR	CERAMICO 100%	92,3
2	GUADALQUIVIR	CERAMICO 50%	126,1
3	GUADALQUIVIR	CASCAJO 100%	105,8
4	GUADALQUIVIR	CASCAJO 50%	128,9

Tablas 5.5: Datos promedio resistencia a compresión 7 días cerámica GUADALQUIVIR.

Fuente: Elaboración propia.

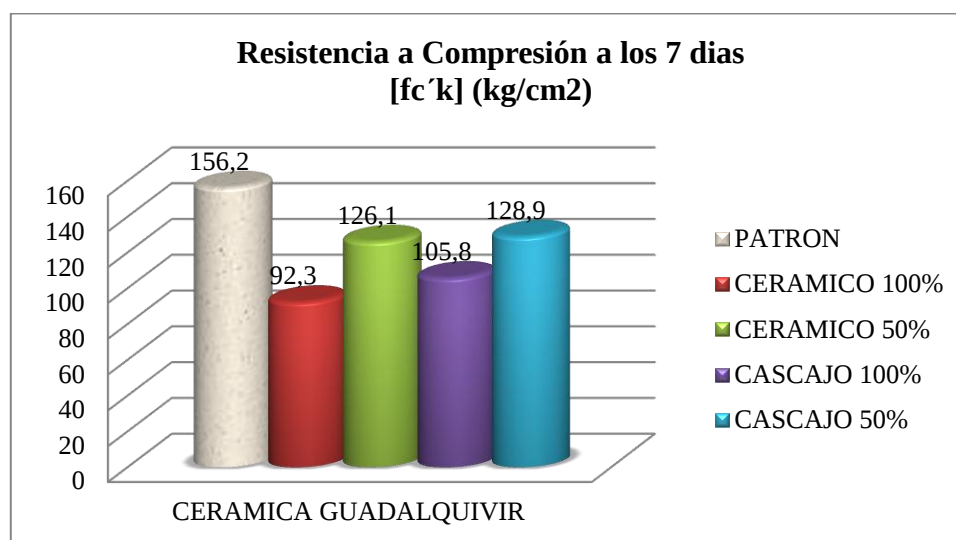


Figura 5.1: Resistencia a compresión 7 días cerámica GUADALQUIVIR.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica Guadalquivir los ensayos que mejor se comportan son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 126,1 (kg/cm²) que tiene un 19,3% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 128,9 (kg/cm²) con un 17,5% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 40,9% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 32,3%.

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	SICOMAC	CERAMICO 100%	90,0
2	SICOMAC	CERAMICO 50%	123,4
3	SICOMAC	CASCAJO 100%	105,1
4	SICOMAC	CASCAJO 50%	127,4

Tablas 5.6: Datos promedio resistencia a compresión 7 días cerámica SICOMAC.

Fuente: Elaboración propia.

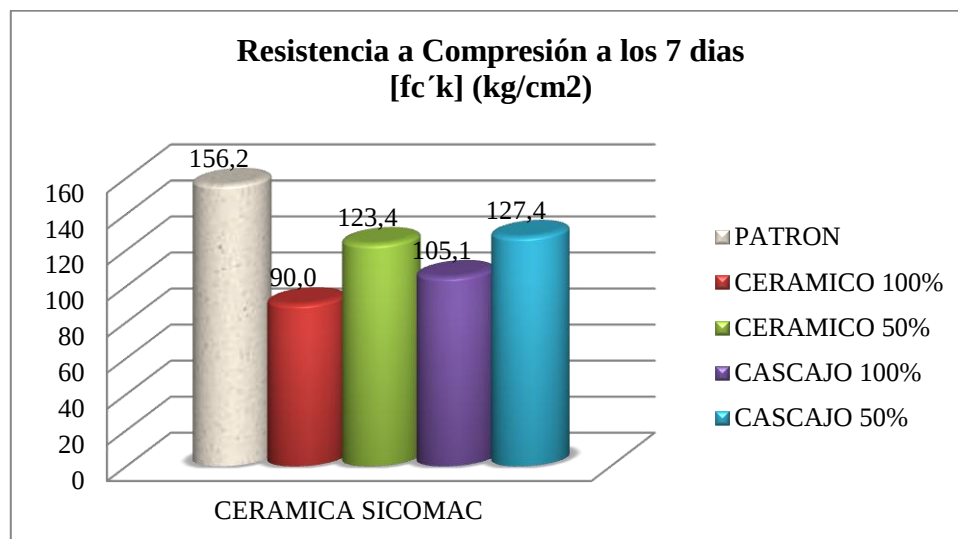


Figura 5.2: Resistencia a compresión 7 días cerámica SICOMAC.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica SICOMAC los ensayos que mejor se comportan son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 123,4 (kg/cm²) que tiene un 21% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 127,4 (kg/cm²) con un 18,4% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 42,4% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 32,7%.

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	SAN LUIS	CERAMICO 100%	90,4
2	SAN LUIS	CERAMICO 50%	125,7
3	SAN LUIS	CASCAJO 100%	104,8
4	SAN LUIS	CASCAJO 50%	126,9

Tablas 5.7: Datos promedio resistencia a compresión 7 días cerámica SAN LUIS.

Fuente: Elaboración propia.

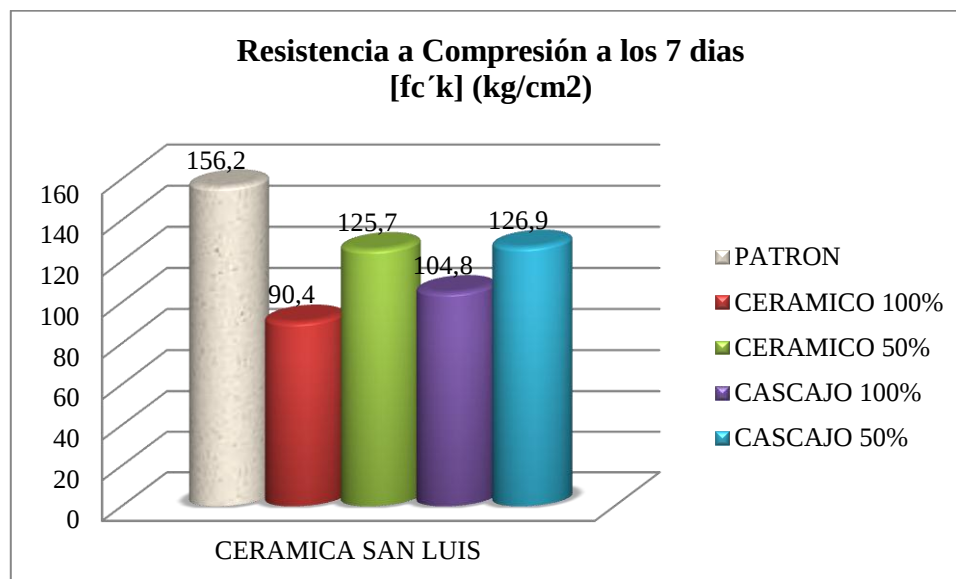


Figura 5.3: Resistencia a compresión 7 días cerámica SAN LUIS.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica San Luis los ensayos que mejor se comportan son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 125,7 (kg/cm²) que tiene un 19,5% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 126,9 (kg/cm²) con un 18,4% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 42,1% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 32,9%.

RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	CANCHAS MUN.	POLVO DE LAD. 100%	149,8
2	CANCHAS MUN.	POLVO DE LAD. 50%	151,8

Tablas 5.8: Datos promedio resistencia a compresión 7 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Fuente: Elaboración propia.

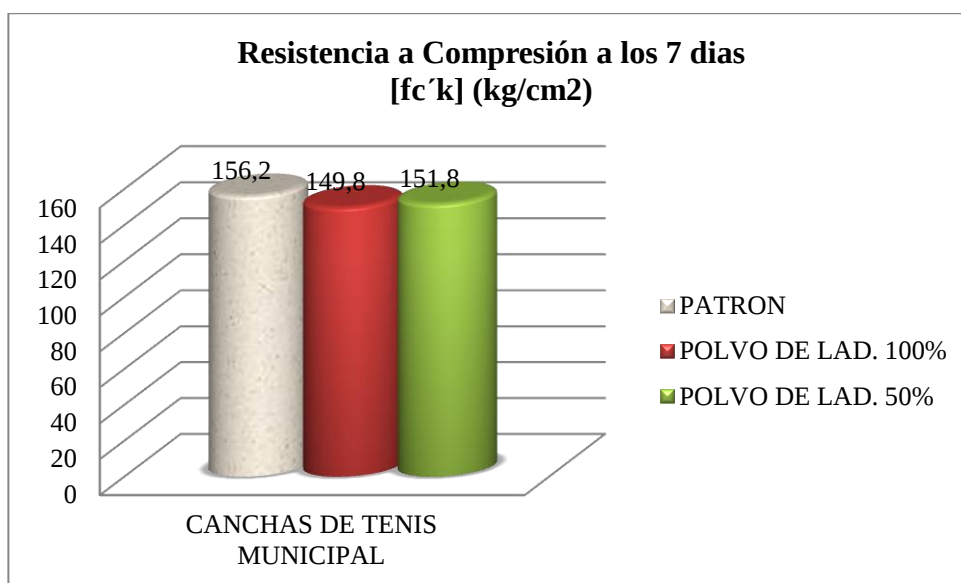


Figura 5.4: Resistencia a compresión 7 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos, en este caso el polvo de ladrillo de las canchas de tenis municipal el ensayo que mejor se comporto es el hormigón polvo de ladrillo 50% con una resistencia de 151,8 (kg/cm²) que tiene un 2.8% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón, siendo este valor bastante muy bajo, esto quiere decir que no varía mucho, y el hormigón polvo de ladrillo 100% con una resistencia de 149,8 (kg/cm²) con un 4,1% de caída, la resistencia es más baja aun, pero igual la brecha con el hormigón patrón no es grande.

Etapa final: Edad del Hormigón 28 días.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	GUADALQUIVIR	CERAMICO 100%	134,1
2	GUADALQUIVIR	CERAMICO 50%	185,3
3	GUADALQUIVIR	CASCAJO 100%	151,4
4	GUADALQUIVIR	CASCAJO 50%	187,1

Tablas 5.9: Datos promedio resistencia a compresión 28 días cerámica GUADALQUIVIR.

Fuente: Elaboración propia.

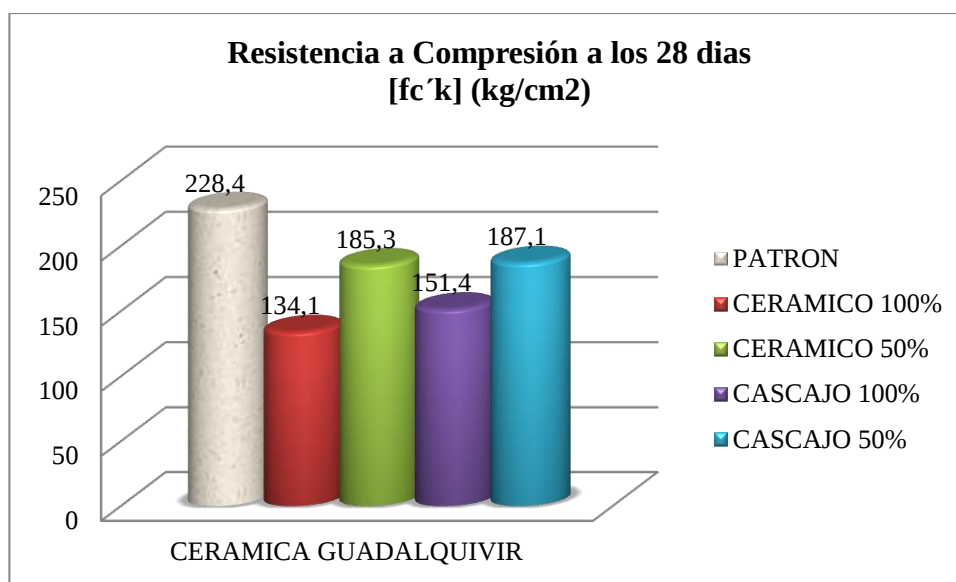


Figura 5.5: Resistencia a compresión 28 días cerámica GUADALQUIVIR.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica Guadalquivir los ensayos que mejor se comportan a los 28 días son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 185,3 (kg/cm²) que tiene un 18,9% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 187,1 (kg/cm²) con un 18,1% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 41,3% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 33,7%.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	SICOMAC	CERAMICO 100%	132,29
2	SICOMAC	CERAMICO 50%	183,20
3	SICOMAC	CASCAJO 100%	151,78
4	SICOMAC	CASCAJO 50%	185,68

Tablas 5.10: Datos promedio resistencia a compresión 28 días cerámica SICOMAC.

Fuente: Elaboración propia.

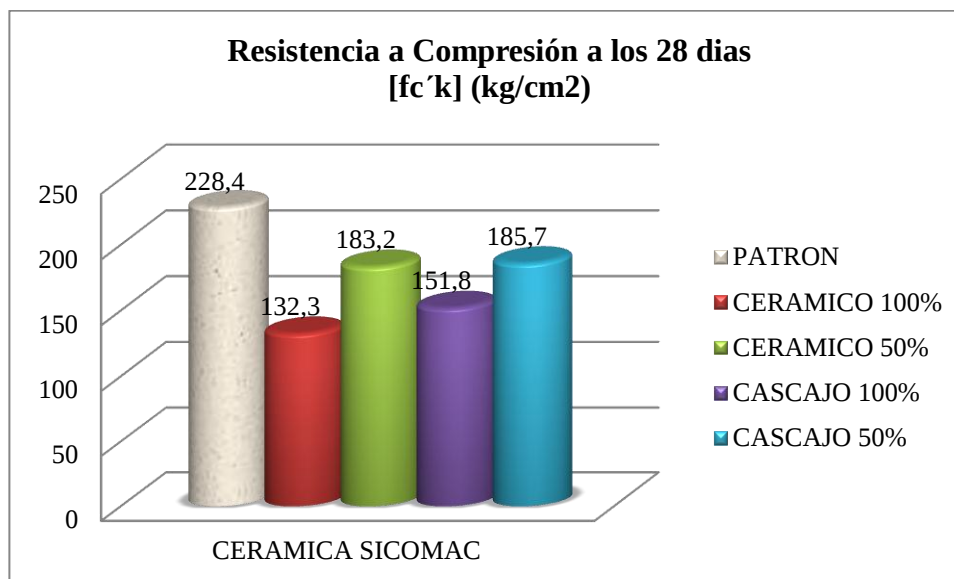


Figura 5.6: Resistencia a compresión 28 días cerámica SICOMAC.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica SICOMAC los ensayos que mejor se comportan a los 28 días son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 183,2 (kg/cm²) que tiene un 19,8% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 185,7 (kg/cm²) con un 18,7% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 42,1% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 33,5%.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	SAN LUIS	CERAMICO 100%	131,41
2	SAN LUIS	CERAMICO 50%	181,32
3	SAN LUIS	CASCAJO 100%	149,82
4	SAN LUIS	CASCAJO 50%	186,13

Tablas 5.11: Datos promedio resistencia a compresión 28 días cerámica SAN LUIS.

Fuente: Elaboración propia.

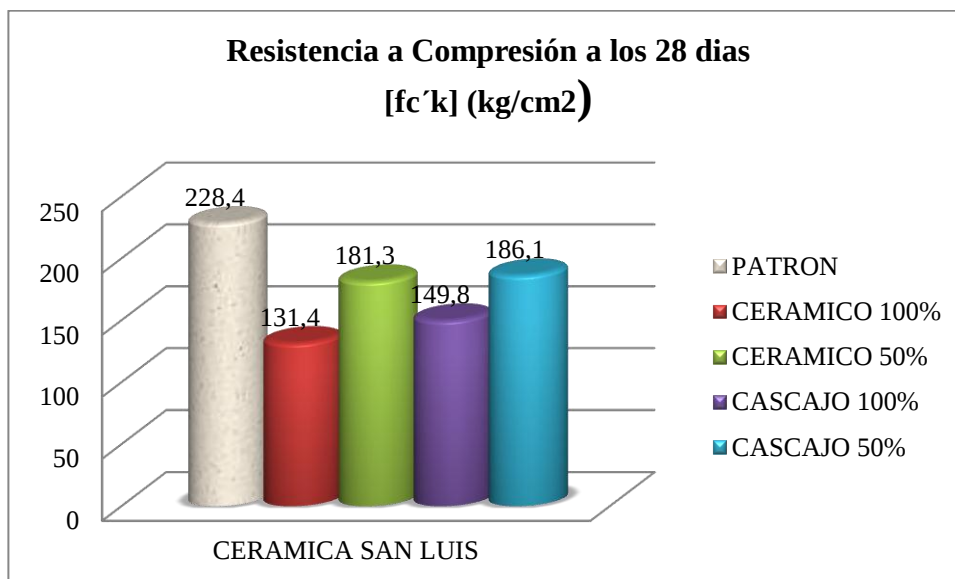


Figura 5.7: Resistencia a compresión 28 días cerámica SAN LUIS.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos de la cerámica San Luis los ensayos que mejor se comportan a los 28 días son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 181,3 (kg/cm²) que tiene un 20,6% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 186,1 (kg/cm²) con un 18,5% de caída, la resistencia más baja la tiene el hormigón cerámico 100% tiene una caída del 42,5% y el hormigón cascajo 100% con una caída del 34,4%.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Cerámica	Nombre de la muestra de Hormigón	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	CANCHAS MUN.	POLVO DE LAD. 100%	211,23
2	CANCHAS MUN.	POLVO DE LAD. 50%	215,61

Tablas 5.12: Datos promedio resistencia a compresión 28 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Fuente: Elaboración propia.

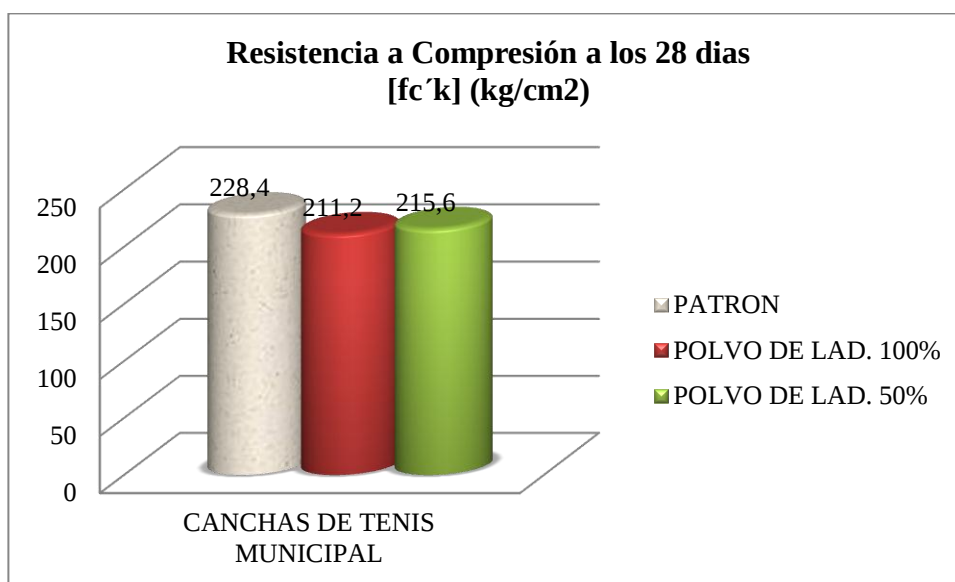


Figura 5.8: Resistencia a compresión 28 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Podemos observar que la resistencia del hormigón a base de residuos cerámicos decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, podemos observar que para los residuos cerámicos, en este caso el polvo de ladrillo de las canchas de tenis municipal el ensayo que mejor se comportó a los 28 días es el hormigón polvo de ladrillo 50% con una resistencia de 215,6 (kg/cm²) que tiene un 5,6% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón, siendo este valor bastante muy bajo, esto quiere decir que no varía mucho, y el hormigón polvo de ladrillo 100% con una resistencia de 211,2 (kg/cm²) con un 7,6% de caída, la resistencia es más baja aun, pero igual la brecha con el hormigón patrón no es grande.

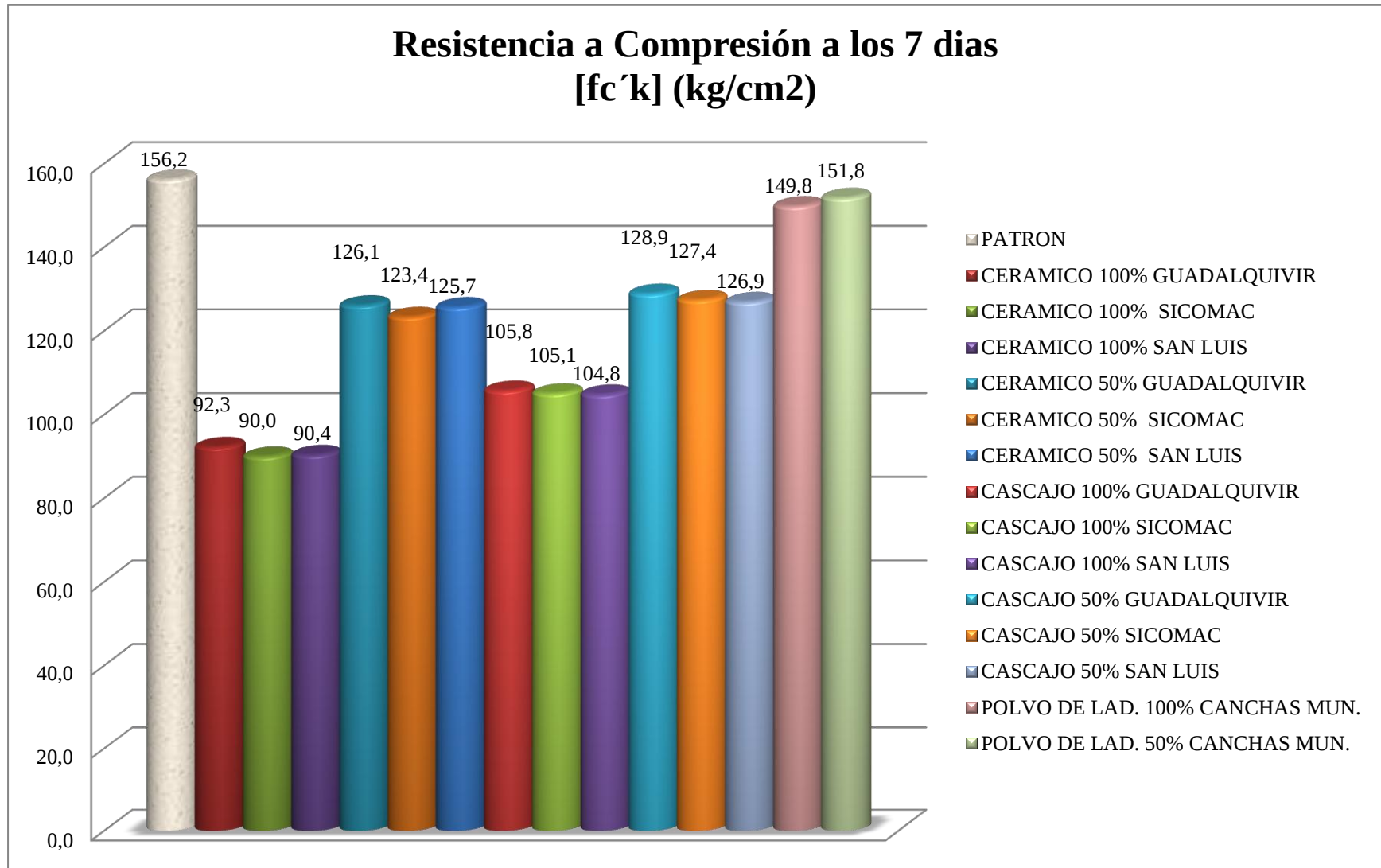


Figura 5.9: Resistencia a compresión etapa inicial a los 7 días.

Se puede observar que la resistencia del hormigón decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, (para hacer el análisis tomamos como referencia el de la resistencia más bajo de las tres cerámicas en estudio), en las figuras 5.1, 5.2, 5.3 que son las que pertenecen a las resistencias a los 7 días de edad de nuestros hormigones de las distintas cerámicas podemos observar que los ensayos que mejor se comportan son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 123,4 (kg/cm²) para la cerámica SICOMAC que tiene un 21% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón, y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 126,9 (kg/cm²) para la cerámica San Luis con un 18,8% de caída, las otras pruebas que corresponden al hormigón cerámico 100% con una resistencia de 90,0% (kg/cm²) para la cerámica SICOMAC tiene una caída del 42,4%, y el hormigón cascajo 100% con una resistencia de 105,1 (kg/cm²) para la cerámica San Lui con una caída del 32,9%.

En lo que se refiere a los hormigones con polvo de ladrillo estos no tiene una gran variación en la caída de la resistencia como se muestra en la figura 5.4, siendo esta de tan solo el 4,1% para el hormigón polvo de ladrillo 100% y de 2,8% para el hormigón polvo de ladrillo 50%.

Llama la atención que se comporten tan bien los hormigones con polvo de ladrillo por la escasa diferencia que existe en relación al hormigón patrón, y también sorprende las mezclas al 50% con residuos cerámicos que son las que mejor se comportan, dando esto ya una pauta de los hormigones que mejor comportamiento podrán tener en su etapa final a los 28 días.

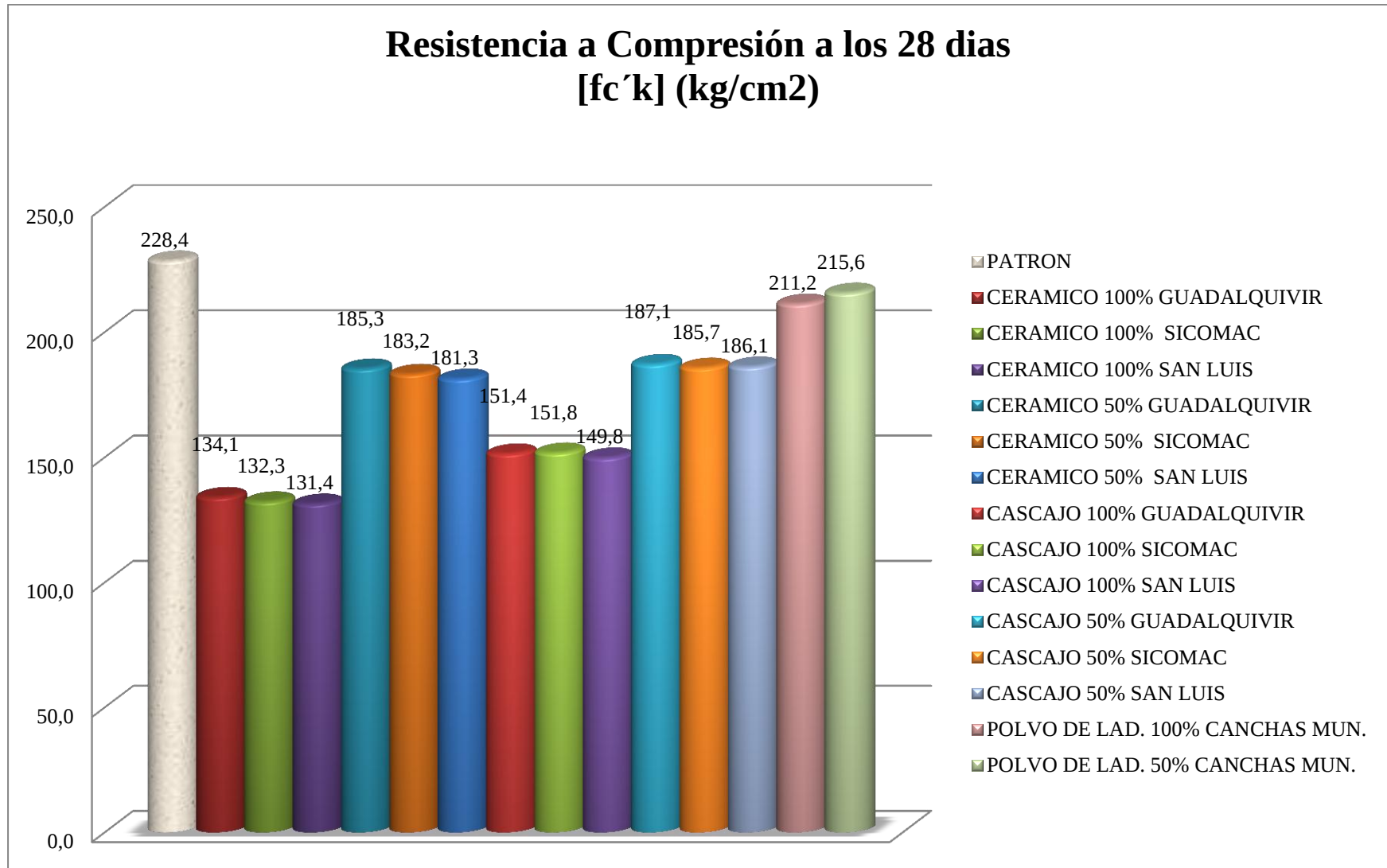


Figura 5.10: Resistencia a compresión etapa final a los 28 días.

Se puede observar que la resistencia del hormigón decrece con los distintos tipos de mezcla, en cuanto más incrementamos el porcentaje de residuo cerámico en la mezcla tenemos menos resistencia, (para hacer el análisis tomamos como referencia el de la resistencia más bajo de las tres cerámicas en estudio), en las figuras 5.5, 5.6, 5.7 que son las que pertenecen a las resistencias a los 28 días de edad de nuestros hormigones de las distintas cerámicas podemos observar que los ensayos que mejor se comportan son el hormigón cerámico 50% con una resistencia de 181,3 (kg/cm²) para la cerámica San Luis que tiene un 20,6% de caída en la resistencia a comparación del ensayo patrón, y el hormigón cascajo 50% con una resistencia de 185,7 (kg/cm²) para la cerámica SICOMAC con un 18,7% de caída, las otras pruebas que corresponden al hormigón cerámico 100% con una resistencia de 131,4 (kg/cm²) para la cerámica San Luis tiene una caída del 42,5%, y el hormigón cascajo 100% con una resistencia de 149,8 (kg/cm²) para la cerámica San Lui con una caída del 34,4%.

En lo que se refiere a los hormigones con polvo de ladrillo estos no tiene una gran variación en la caída de la resistencia como se muestra en la figura 5.8, siendo esta de tan solo el 7,6% para el hormigón polvo de ladrillo 100% y de 5,6% para el hormigón polvo de ladrillo 50%.

Llama la atención que se comporten tan bien los hormigones con polvo de ladrillo que incluso sus resistencias pertenecen a un hormigón H-21 (clase A) y también sorprende las mezclas al 50% con residuos cerámicos que son las que mejor se comportan desde el punto de vista que todavía pertenecen a hormigones estructurales H-17 (clase C y clase B), con estos análisis ya podemos ir formando una idea de sus posibles aplicaciones en las obras de arte.

A continuación mostramos la evolución de la resistencia de nuestros hormigones, del patrón y el de las distintas cerámicas en estudio y del polvo de ladrillo, cada ecuación está identificada, según el color de la curva de evolución, mismas tendrán aplicación siempre y cuando la rotura sea ejecutada a los 7 días de edad y los agregados tengan las mismas características que las del presente estudio.

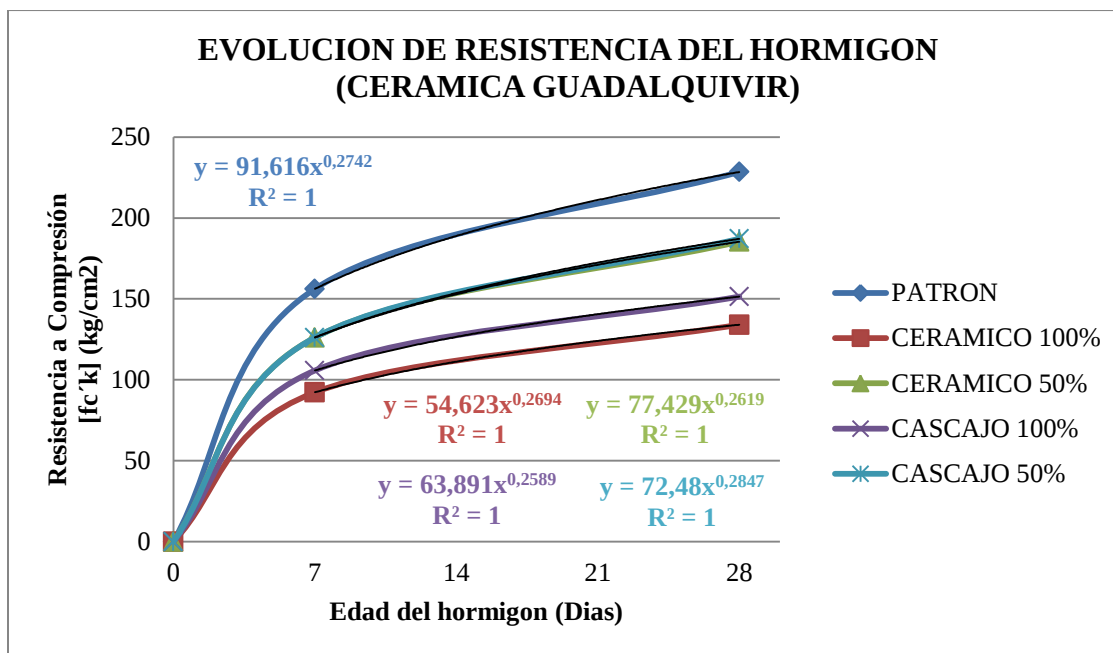


Figura 5.11: Evolución de la resistencia del hormigón cerámico 7 a 28 días cerámica GUADALQUIVIR.

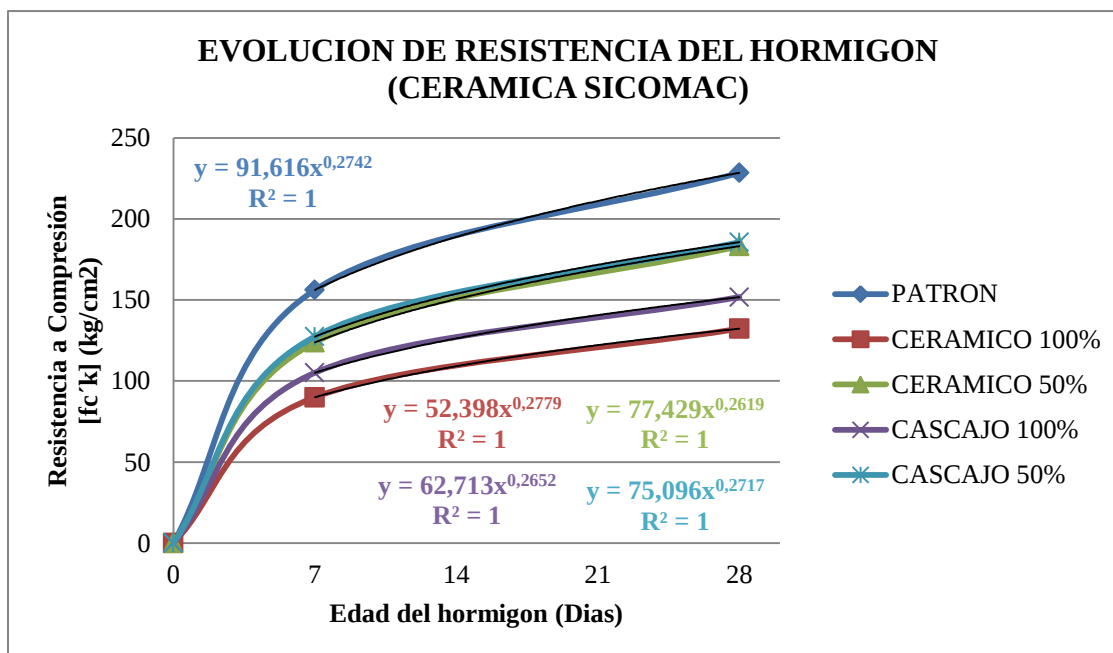


Figura 5.12: Evolución de la resistencia del hormigón cerámico 7 a 28 días cerámica SICOMAC.

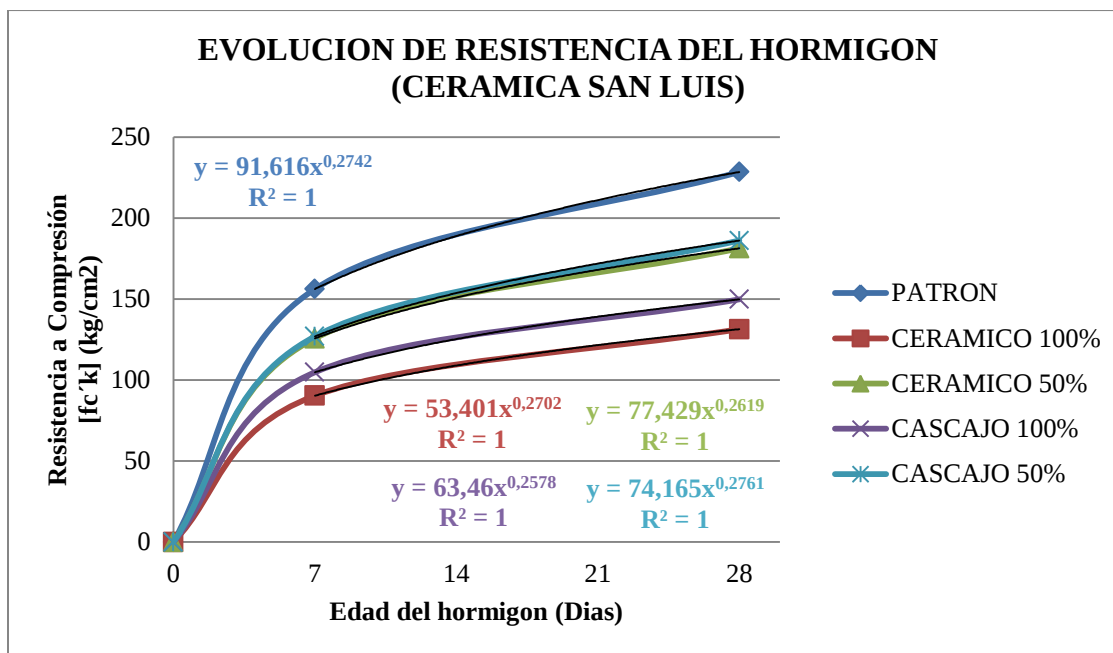


Figura 5.13: Evolución de la resistencia del hormigón cerámico 7 a 28 días cerámica SAN LUIS.

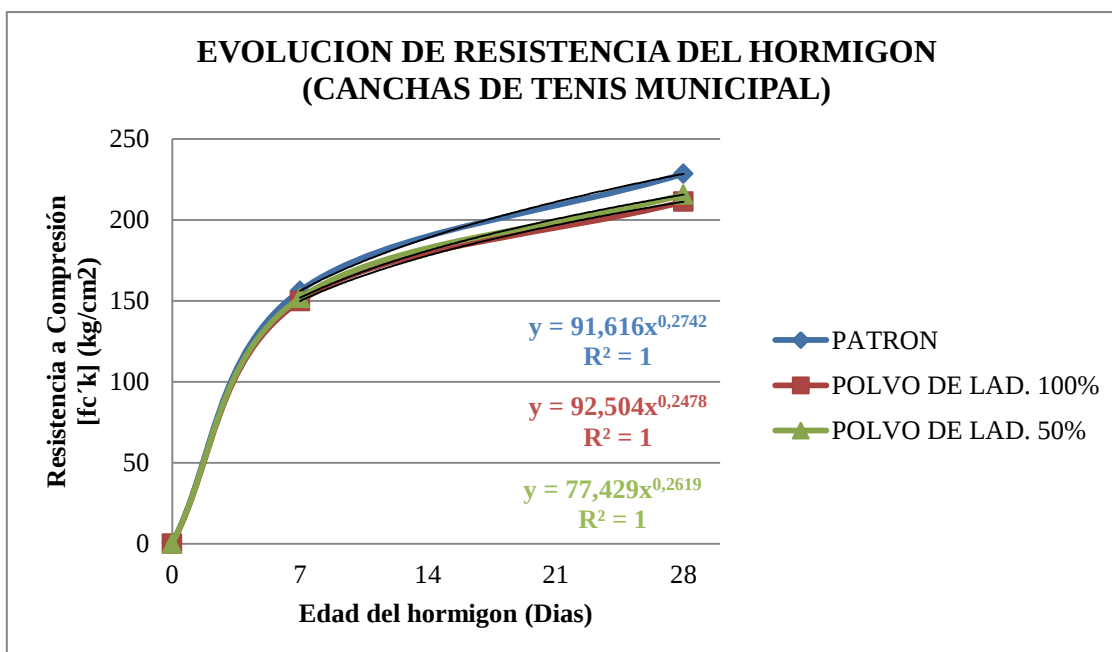


Figura 5.14: Evolución de la resistencia del hormigón polvo de ladrillo 7 a 28 días CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

- **Resistencia a la compresión hormigón ciclópeo**

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS		
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón ciclópeo	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
1	H°C° 30% P. D. (Patron)	103,1
2	H°C° 30% L. D.	100,3

Tablas 5.13: Datos promedio resistencia a compresión 28 días H°C° 30% ladrillo desplazador.

Fuente: Elaboración propia.

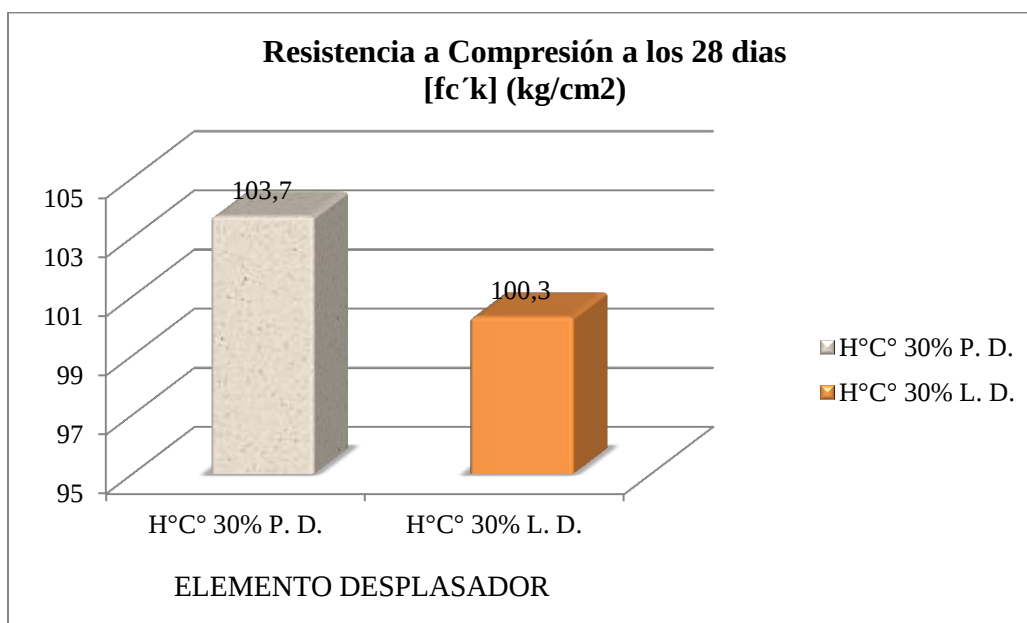


Figura 5.15: Resistencia a compresión 28 días H°C° 30% ladrillo desplazador.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS		
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón ciclópeo	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
3	H°C° 40% P. D. (Patron)	99,1
4	H°C° 40% L. D.	93,7

Tablas 5.14: Datos promedio resistencia a compresión 28 días H°C° 40% ladrillo desplazador.

Fuente: Elaboración propia.

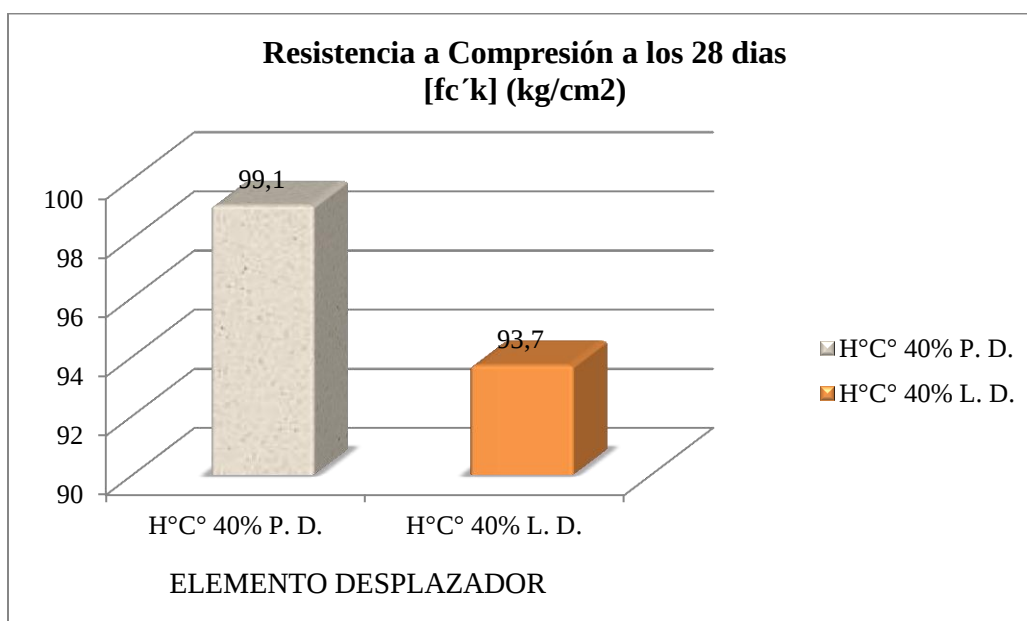


Figura 5.16: Resistencia a compresión 28 días H°C° 40% ladrillo desplazador.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS		
N° de muestra	Nombre de la muestra de Hormigón ciclópeo	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm2)
5	H°C° 50% P. D. (Patron)	93,5
6	H°C° 50% L. D.	89,3

Tablas 5.15: Datos promedio resistencia a compresión 28 días H°C° 50% ladrillo desplazador.

Fuente: Elaboración propia.

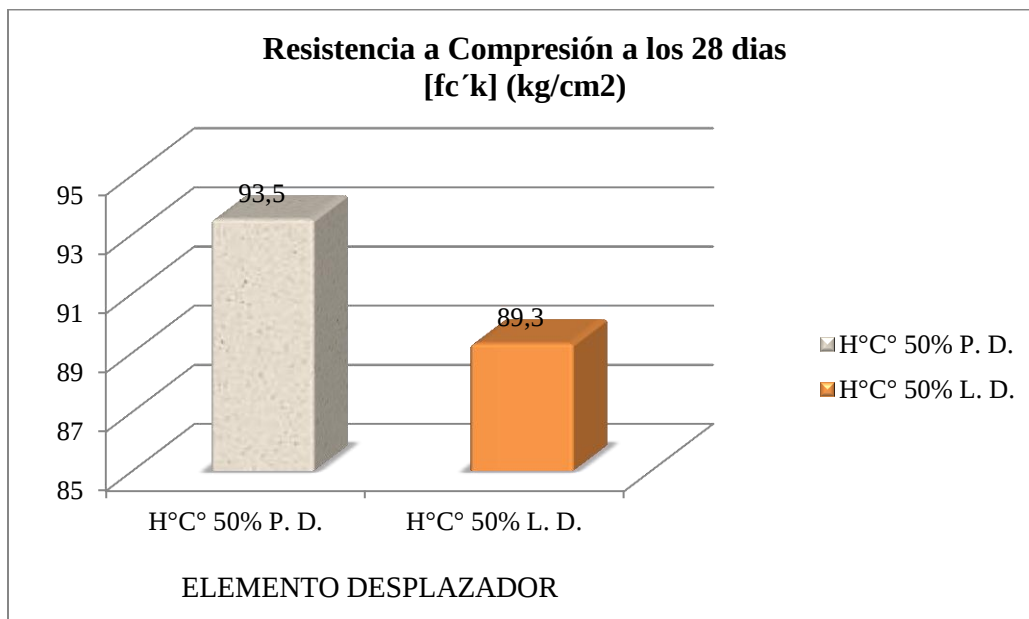


Figura 5.17: Resistencia a compresión 28 días H°C° 50% ladrillo desplazador.

Podemos observar que la resistencia del hormigón ciclópeo a los 28 días con ladrillo desplazador decrece, pero no es amplio el porcentaje que baja, aquí mostramos por ej. H°C° 30% L.D. con una resistencia de 100,3 (kg/cm2) baja 3,27% a comparación del ensayo patrón, H°C° 40% L.D. con una resistencia de 93,7 (kg/cm2) baja 5,45%, H°C° 50% L.D. con una resistencia de 89,3 (kg/cm2) baja 4,49%, como podemos observar las diferencias de resistencia son aceptables, siendo la más amplia la de 5,45%.

- **Resistencia a la compresión mortero normal**

RESISTENCIA Y ESFUERZO A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Identificación de la muestra	Resistencia a Compresión [fc'k] (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
Morteros de Dosificación 1:3			
1	Mortero 1:3:0	83,7	8,2
2	Mortero 1:0:3	78,8	7,7
3	Mortero 1:1,5:1,5	80,7	7,9
4	Mortero 1:1:2	78,7	7,7
5	Mortero 1:2:1	81,4	8

Tablas 5.16: Datos promedio de resistencia y esfuerzo de los morteros de dosificación 1:3 a los 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

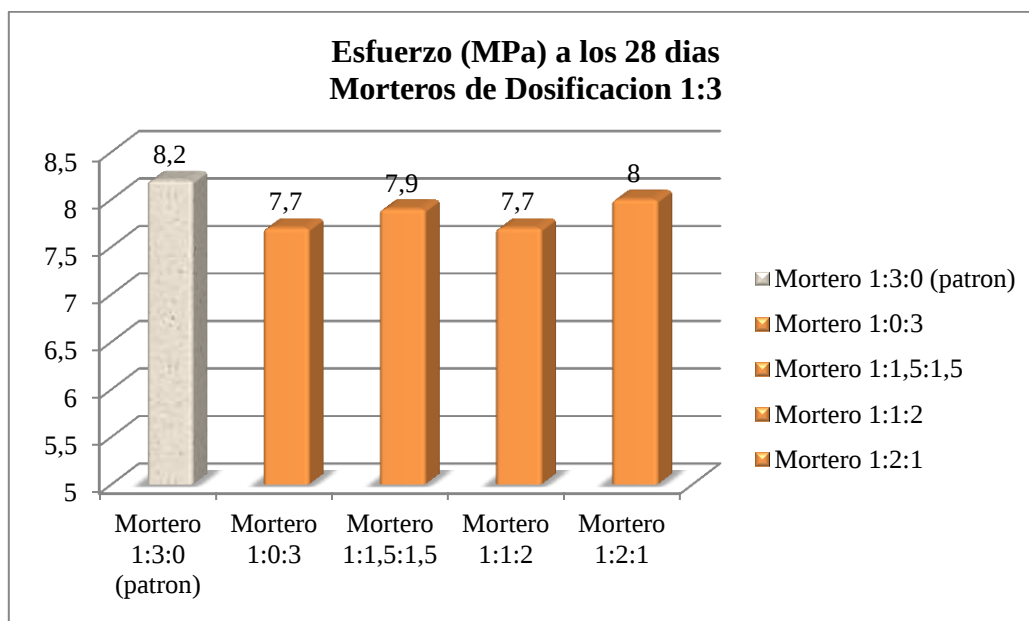


Figura 5.18: Esfuerzo de los morteros de dosificación 1:3 a los 28 días de edad.

RESISTENCIA Y ESFUERZO A LOS 28 DIAS			
N° de muestra	Identificación de la muestra	Resistencia a Compresión [f_c'] (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
Morteros de Dosificación 1:4			
6	Mortero 1:4:0	64,4	6,3
7	Mortero 1:0:4	59,2	5,8
8	Mortero 1:2:2	62,2	6,1
9	Mortero 1:1:3	59,8	5,9
10	Mortero 1:3:1	62,8	6,2

Tablas 5.17: Datos promedio de resistencia y esfuerzo de los morteros de dosificación 1:4 a los 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

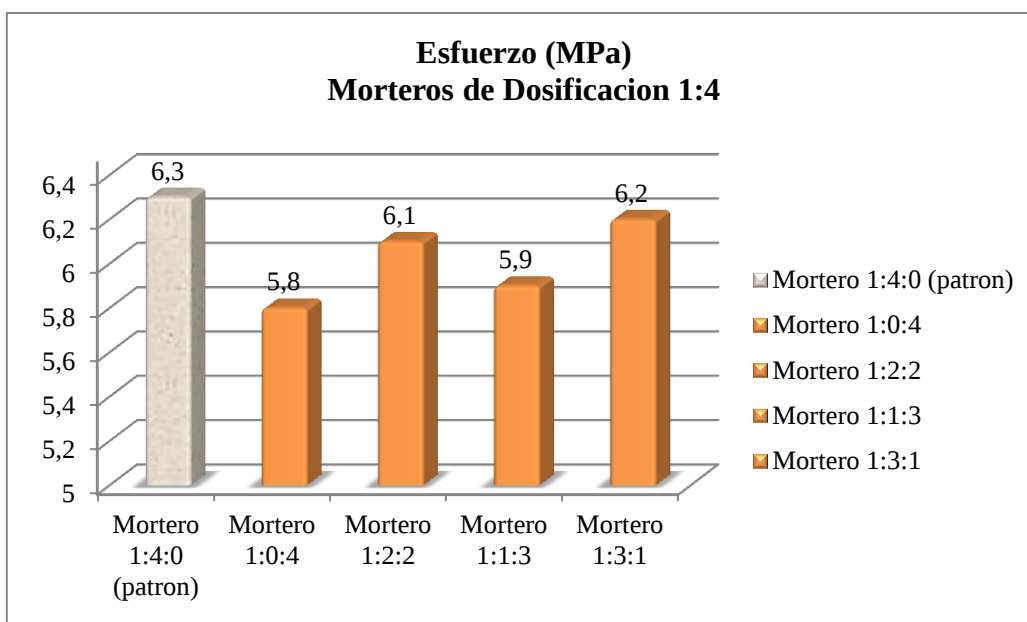


Figura 5.19: Esfuerzo de los morteros de dosificación 1:4 a los 28 días de edad.

Podemos observar que el esfuerzo de nuestros morteros con polvo de ladrillo como agregado fino cumplen con la resistencia característica (5 MPa) de un mortero normal a los 28 días, ya que se encuentra por encima de esta en todos los casos, decrece en relación al

patrón pero aun así cumple con la resistencia, en el caso de los morteros con dosificación 1:3 en el ensayo 1:3:0 la resistencia para el mortero patrón es de 8,2 MPa, y el de la resistencia más baja fue el de dosificación 1:0:3 con 7,7 MPa, resultado que era previsto ya que ese ensayo no se utilizó nada de arena solo polvo de ladrillo, pero no es amplio el porcentaje de caída siendo este de solo el 6%, para el caso de los morteros con dosificación 1:4 en el ensayo 1:4:0 la resistencia para el mortero patrón es de 6,3 MPa, y el de la resistencia más baja fue el de dosificación 1:0:4 con 5,8 MPa, resultado que era previsto ya que ese ensayo no se utilizó nada de arena solo polvo de ladrillo, pero no es amplio el porcentaje de caída siendo este de solo el 8%, 2% más que el de dosificación 1:3.

- Densidad

En el proceso de la prueba de densidad se recabaron los datos tal como se describe en el sub capítulo 4.10 pruebas aplicadas correspondientes al capítulo IV. Las dimensiones geométricas de los cilindros, corresponden a los moldes cilíndricos estándar, de manera que todas las muestras tienen las mismas dimensiones volumétricas.

GEOMETRÍA DE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN					
Diámetro [Ø]	Altura [h]	Área [A]		Volumen [Vol]	
(cm)	(cm)	(cm ²)	(m ²)	(cm ³)	(m ³)
15	30	176.72	0.0177	5301.45	0.00530

Tablas 5.18: Geometría de las probetas de hormigón estándar.

Fuente: Elaboración propia.

Obtenida la geometría de las muestras, se obtuvieron también las densidades o pesos volumétricos para cada muestra, exponiendo a continuación las densidades o pesos unitarios promedio para ambas etapas de medición y correspondiente a cada ensayo de cada cerámica distinta realizada para el hormigón simple.

Etapa inicial: Edad del Hormigón 7 días.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 7 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,605	0,00530	2378,30
CERAMICO 100%	GUADALQUIVIR	10,840	0,00530	2045,28
CERAMICO 50%	GUADALQUIVIR	11,645	0,00530	2197,17
CASCAJO 100%	GUADALQUIVIR	11,704	0,00530	2208,30
CASCAJO 50%	GUADALQUIVIR	12,080	0,00530	2279,25

Tablas 5.19: Datos promedio de pesos unitarios a los 7 días cerámica GUADALQUIVIR.

Fuente: Elaboración propia.

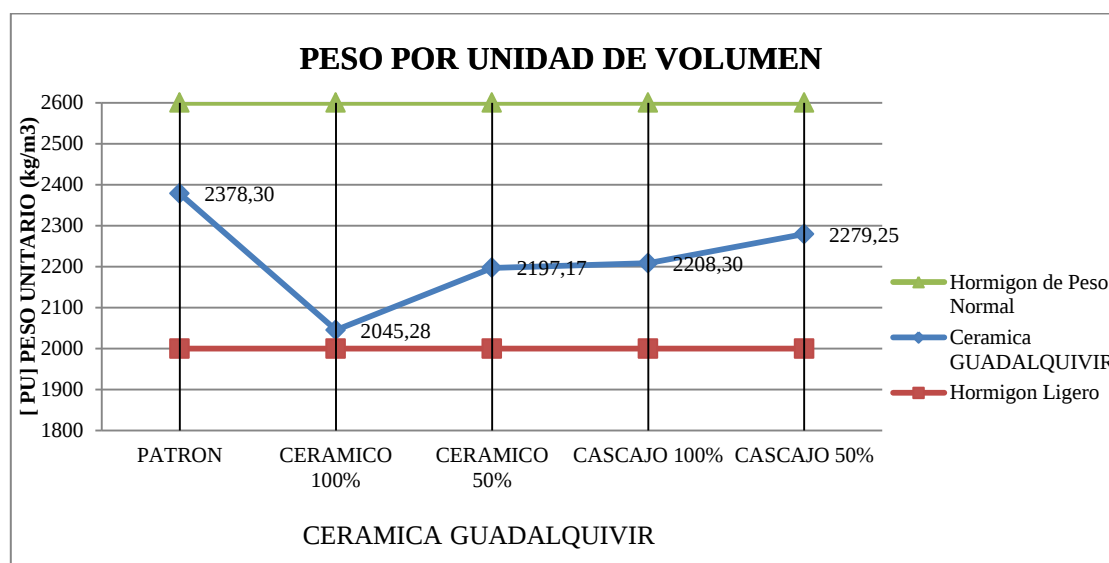


Figura 5.20: Pesos unitarios a los 7 días cerámica GUADALQUIVIR.

Al agregar los residuos cerámicos del ladrillo a la mezcla en mayor proporción se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 7,6% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 14%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 6,4%.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 7 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,605	0,00530	2378,30
CERAMICO 100%	SICOMAC	10,643	0,00530	2008,11
CERAMICO 50%	SICOMAC	11,614	0,00530	2191,32
CASCAJO 100%	SICOMAC	11,585	0,00530	2185,85
CASCAJO 50%	SICOMAC	12,040	0,00530	2271,70

Tablas 5.20: Datos promedio de pesos unitarios a los 7 días cerámica SICOMAC.

Fuente: Elaboración propia.

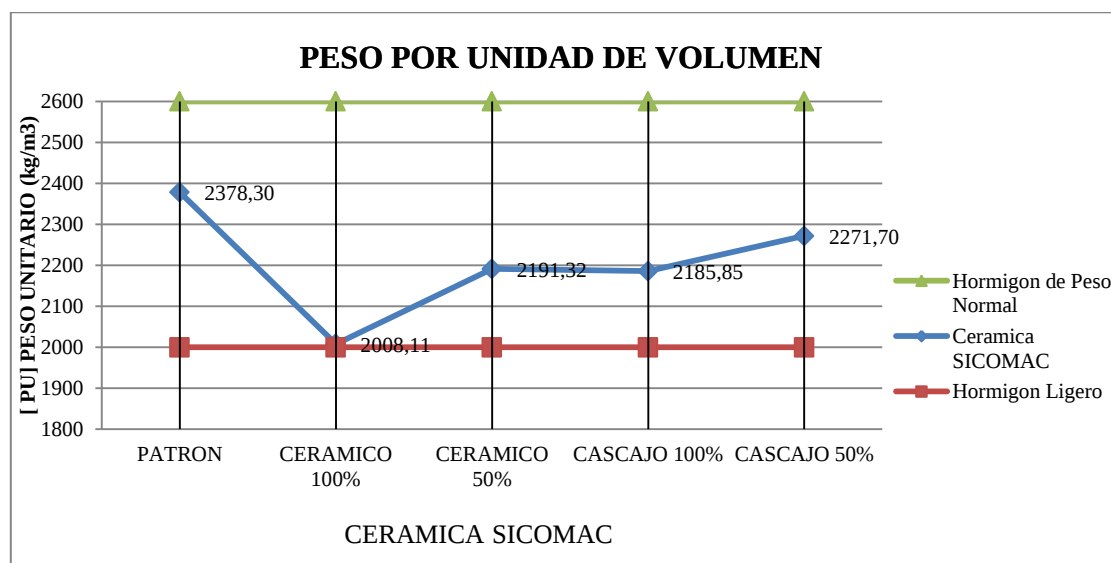


Figura 5.21: Pesos unitarios a los 7 días cerámica SICOMAC.

Al agregar los residuos cerámicos del ladrillo a la mezcla en mayor proporción se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 7,9% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 15,6%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 7,7%, estando al límite de pertenecer a un hormigón ligero.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 7 DÍAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m ³)	P.U. (kg/m ³)
PATRON		12,605	0,00530	2378,30
CERAMICO 100%	SAN LUIS	10,470	0,00530	1975,47
CERAMICO 50%	SAN LUIS	11,573	0,00530	2183,58
CASCAJO 100%	SAN LUIS	11,599	0,00530	2188,49
CASCAJO 50%	SAN LUIS	12,061	0,00530	2275,66

Tablas 5.21: Datos promedio de pesos unitarios a los 7 días cerámica SAN LUIS.

Fuente: Elaboración propia.

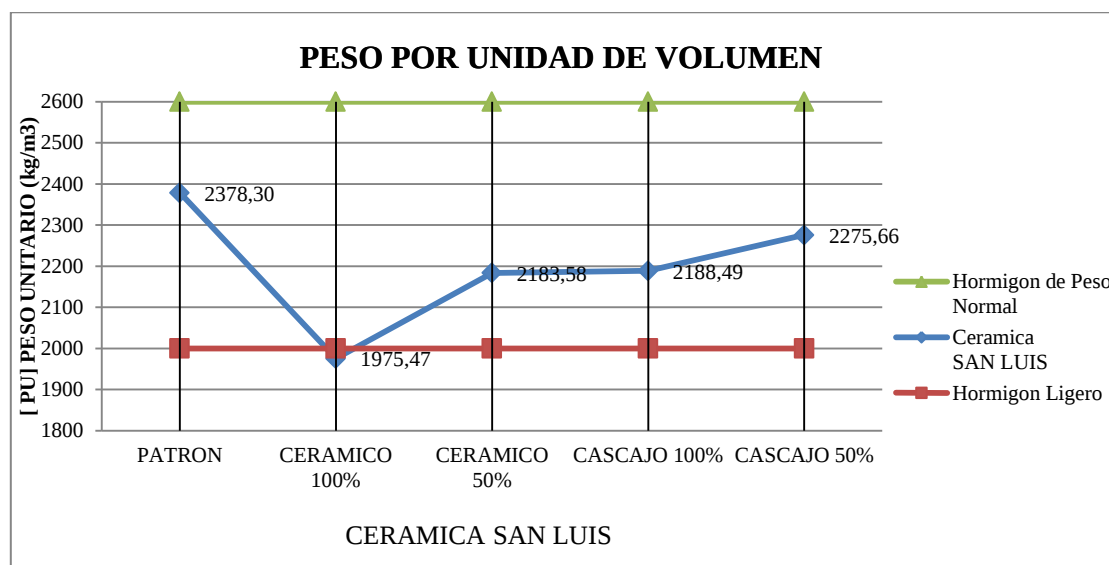


Figura 5.22: Pesos unitarios a los 7 días cerámica SAN LUIS.

Al agregar los residuos cerámicos del ladrillo a la mezcla en mayor proporción se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 8,2% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 16,9%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 8,7%, en este caso estando por debajo del límite, ósea que perteneciendo a un hormigón ligero.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 7 DÍAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,605	0,00530	2378,30
POLVO DE LAD. 100%	CANCHAS MUN.	11,848	0,00530	2235,47
POLVO DE LAD. 50%	CANCHAS MUN.	11,868	0,00530	2239,25

Tablas 5.22: Datos promedio de pesos unitarios a los 7 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Fuente: Elaboración propia.

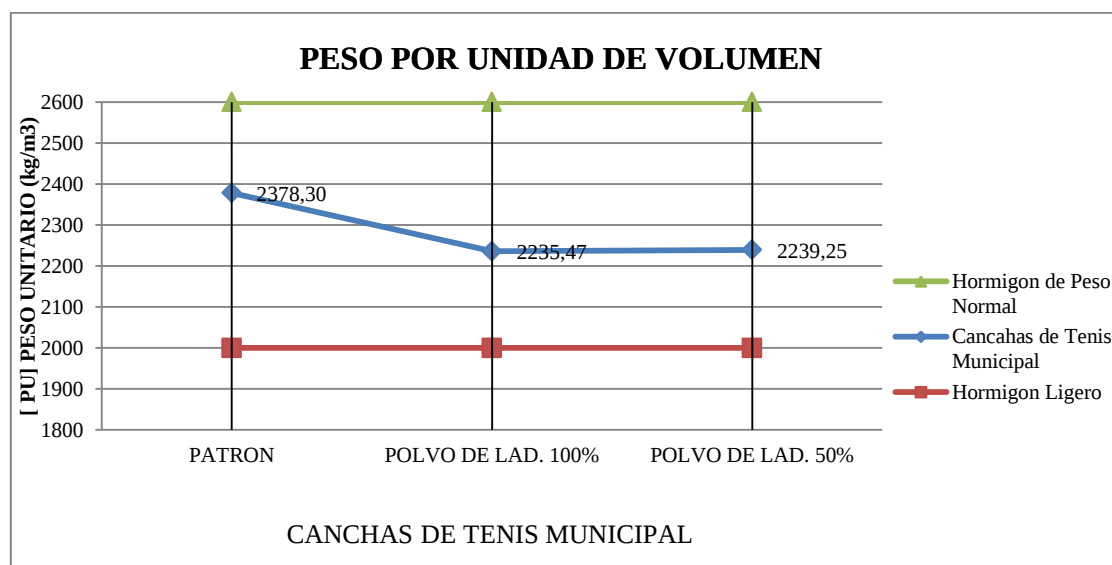


Figura 5.23: Pesos unitarios a los 7 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Al agregar el polvo de ladrillo a la mezcla se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% del agregado fino natural por el agregado fino artificial, el peso redujo hasta un 5,8% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 6%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 0.2%.

Etapa final: Edad del Hormigón 28 días.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 28 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,659	0,00530	2388,49
CERAMICO 100%	GUADALQUIVIR	10,876	0,00530	2052,08
CERAMICO 50%	GUADALQUIVIR	11,801	0,00530	2226,60
CASCAJO 100%	GUADALQUIVIR	11,710	0,00530	2209,43
CASCAJO 50%	GUADALQUIVIR	12,101	0,00530	2283,21

Tablas 5.23: Datos promedio de pesos unitarios a los 28 días cerámica GUADALQUIVIR.

Fuente: Elaboración propia.

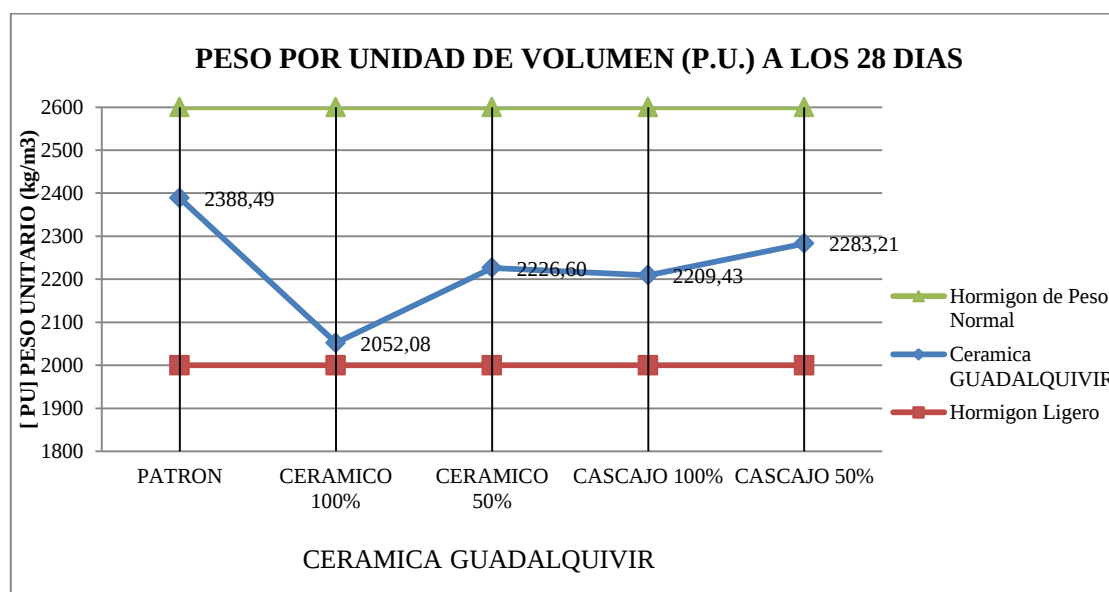


Figura 5.24: Pesos unitarios a los 28 días polvo de ladrillo cerámica GUADALQUIVIR.

En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 6,8% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 14,1%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 7,3%, estando al límite de pertenecer a un hormigón ligero.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 28 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,659	0,00530	2388,49
CERAMICO 100%	SICOMAC	10,725	0,00530	2023,58
CERAMICO 50%	SICOMAC	11,688	0,00530	2205,28
CASCAJO 100%	SICOMAC	11,629	0,00530	2194,15
CASCAJO 50%	SICOMAC	12,054	0,00530	2274,34

Tablas 5.24: Datos promedio de pesos unitarios a los 28 días cerámica SICOMAC.

Fuente: Elaboración propia.

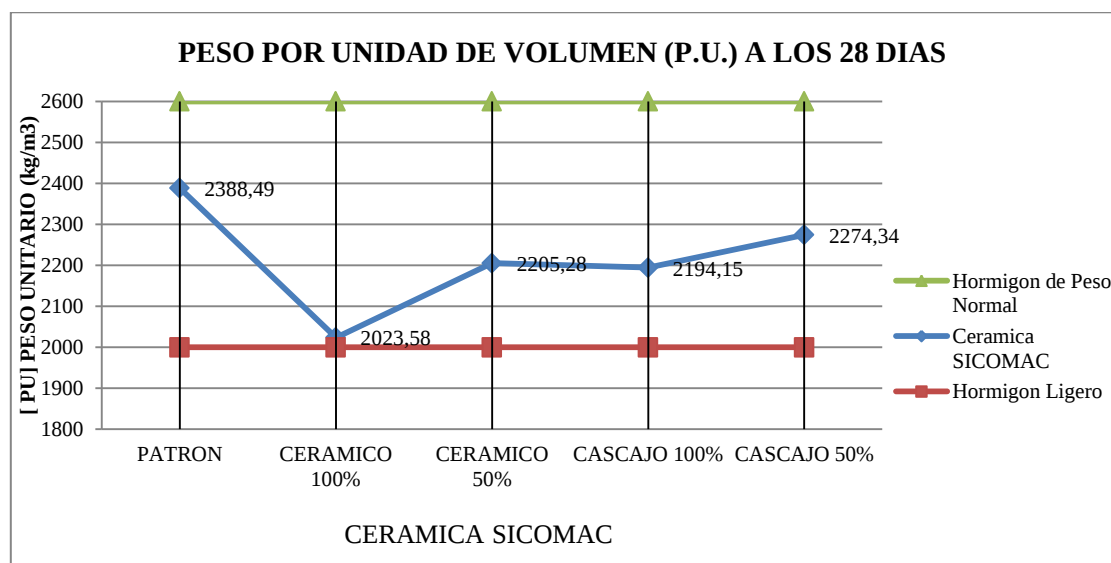


Figura 5.25: Pesos unitarios a los 28 días polvo de ladrillo cerámica SICOMAC.

En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 7,7% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 15,3%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 7,6%, estando al límite de pertenecer a un hormigón ligero.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 28 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,659	0,00530	2388,49
CERAMICO 100%	SAN LUIS	10,918	0,00530	2060,00
CERAMICO 50%	SAN LUIS	11,555	0,00530	2180,19
CASCAJO 100%	SAN LUIS	11,713	0,00530	2210,00
CASCAJO 50%	SAN LUIS	12,079	0,00530	2279,06

Tablas 5.25: Datos promedio de pesos unitarios a los 28 días cerámica SAN LUIS.

Fuente: Elaboración propia.

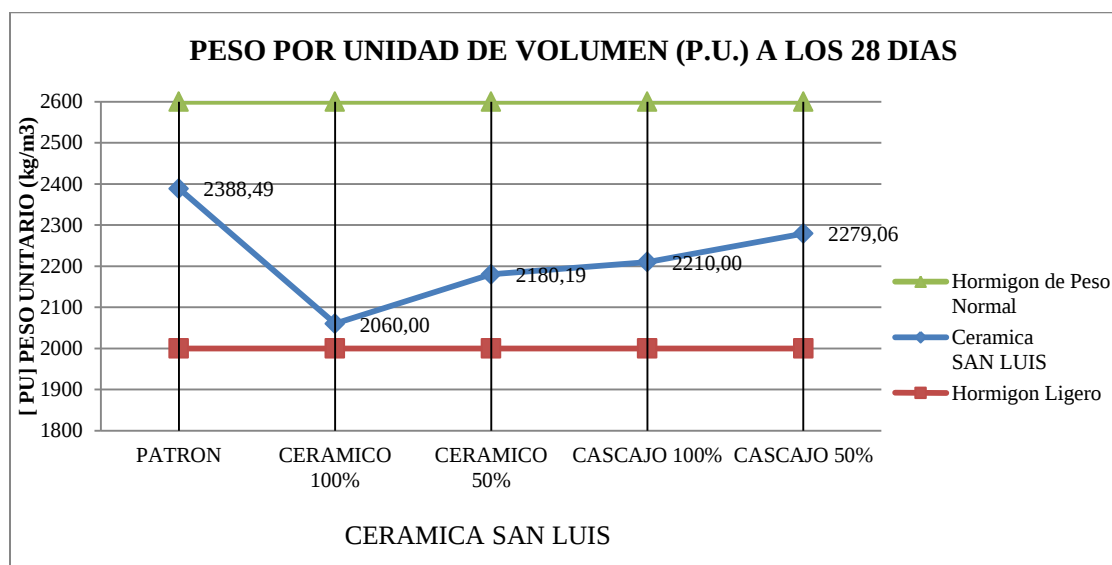


Figura 5.26: Pesos unitarios a los 28 días polvo de ladrillo cerámica SAN LUIS.

En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 8,7% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 13,7%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 5%, estando al límite de pertenecer a un hormigón ligero.

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (P.U.) A LOS 28 DIAS				
Nombre de la muestra de Hormigón	Cerámica	Peso de la probeta (kg)	Volumen del Cilindro (m3)	P.U. (kg/m3)
PATRON		12,659	0,00530	2388,49
POLVO DE LAD. 100%	CANCHAS MUN.	11,858	0,00530	2237,36
POLVO DE LAD. 50%	CANCHAS MUN.	11,933	0,00530	2251,51

Tablas 5.26: Datos promedio de pesos unitarios a los 28 días polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Fuente: Elaboración propia.

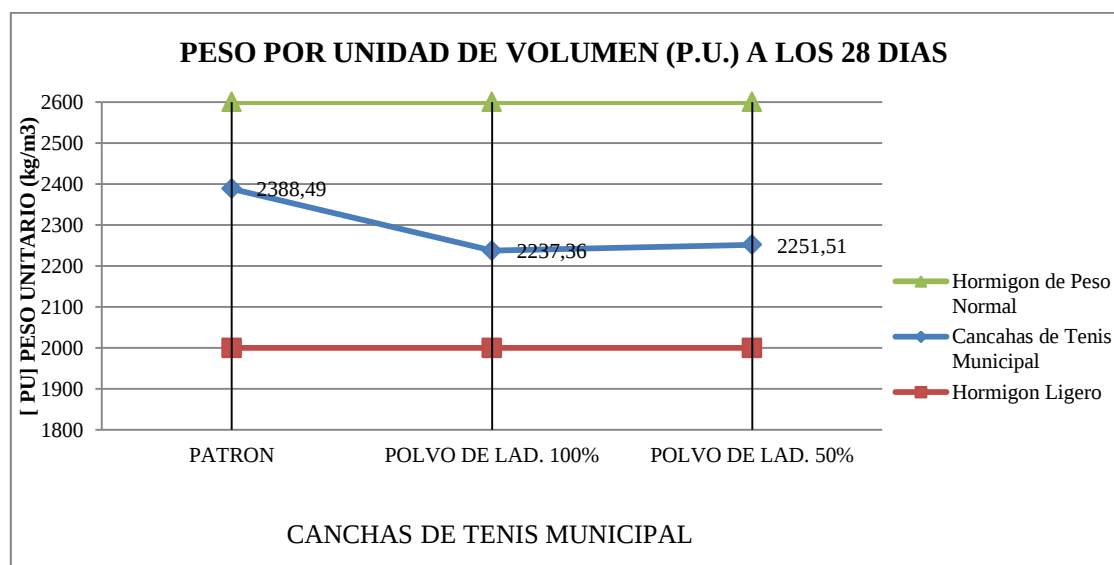


Figura 5.27: Pesos unitarios a los 28 días polvo de ladrillo polvo de ladrillo CANCHAS DE TENIS MUNICIPAL.

Al agregar el polvo de ladrillo a la mezcla se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% del agregado fino natural por el agregado fino artificial, el peso redujo hasta un 5,7% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 6,3%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 0,6%.

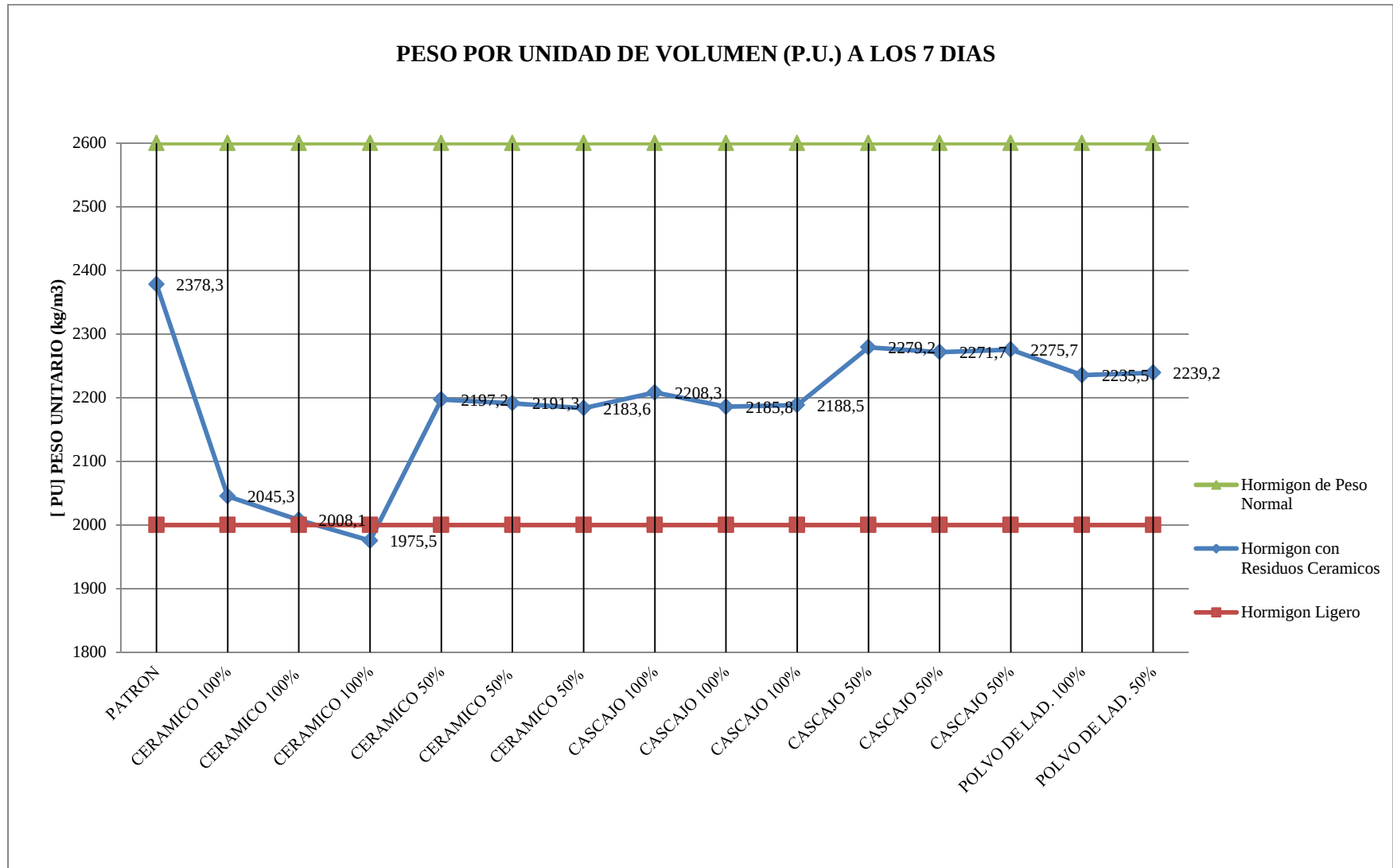


Figura 5.28: Pesos unitarios etapa inicial a los 7 días.

Aquí mostramos una tabla general del peso por unidad de volumen (P.U.) en (kg/m³) de todas las pruebas realizadas con las distintas cerámicas en estudio y el polvo de ladrillo para nuestros hormigones.

Podemos observar que al agregar los residuos cerámicos del ladrillo a la mezcla en mayor proporción se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 8,2% de su peso original, este fue el valor más alto registrado perteneciente a la cerámica San Luis, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 16,9%, este fue el valor más alto registrado perteneciente también a la cerámica San Luis obteniendo una diferencia entre ambos de un 8,7%, en este caso estando por debajo del límite, ósea que perteneciendo a un hormigón ligero, solo para esta cerámica en estudio, las otras dos cerámicas Guadalquivir y SICOMAC para el caso del hormigón cerámico 100% están por encima de un hormigón ligero pero al límite de este. Los hormigones cascajo 50% al ser los que menos residuos cerámicos contienen son los que menos redujeron su peso con un máximo de 4,5% perteneciente a la cerámica SICOMAC.

Al agregar el polvo de ladrillo a la mezcla se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la primera etapa a los 7 días de edad, al reemplazar el 50% del agregado fino natural por el agregado fino artificial, el peso redujo hasta un 5,8% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 6%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 0.2%.

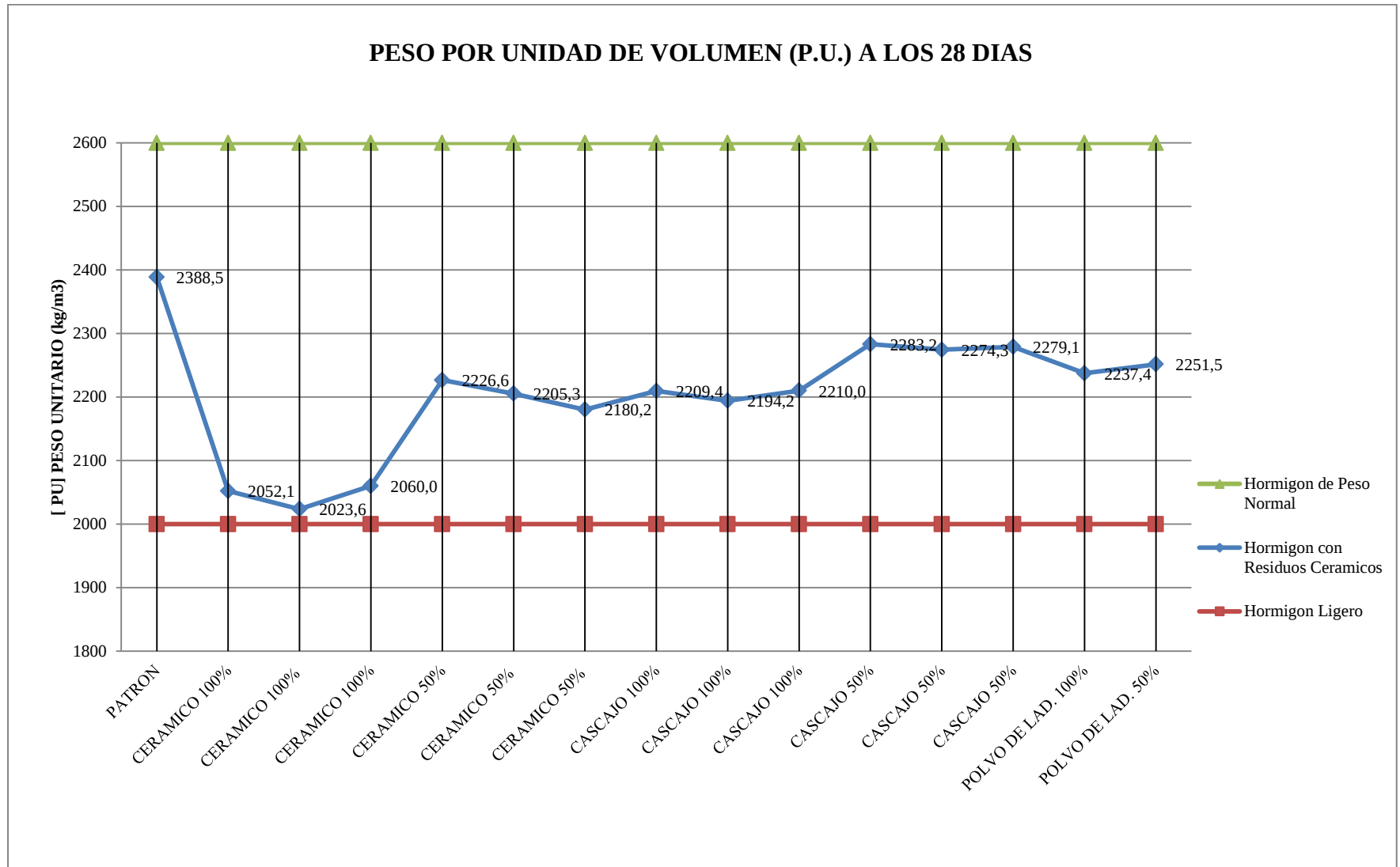


Figura 5.29: Pesos unitarios etapa final a los 28 días.

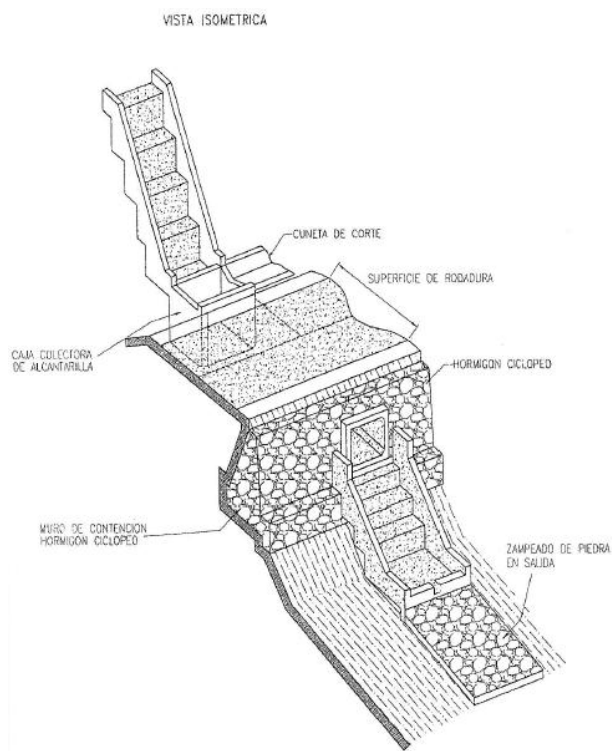
Aquí mostramos una tabla general del peso por unidad de volumen (P.U.) en (kg/m³) de todas las pruebas realizadas con las distintas cerámicas en estudio y el polvo de ladrillo para nuestros hormigones.

Podemos observar que al agregar los residuos cerámicos del ladrillo a la mezcla en mayor proporción se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% de los agregados naturales por los agregados artificiales, el peso redujo hasta un 8,7% de su peso original, este fue el valor más alto registrado perteneciente a la cerámica San Luis, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 15,3%, este fue el valor más alto registrado perteneciente a la cerámica SICOMAC obteniendo una diferencia entre ambos de un 6.6%, para las tres cerámicas en estudio Guadalquivir, SICOMAC y San Luis para el caso del hormigón cerámico 100% están por encima de un hormigón ligero pero al límite de este. Los hormigones cascajo 50% al ser los que menos residuos cerámicos contienen son los que menos redujeron su peso con un máximo de 4,8% perteneciente a la cerámica SICOMAC.

Al agregar el polvo de ladrillo a la mezcla se pudo evidenciar que la reducción de peso si existió tal como se había esperado. En la segunda etapa a los 28 días de edad, al reemplazar el 50% del agregado fino natural por el agregado fino artificial, el peso redujo hasta un 5,7% de su peso original, y al reemplazar el 50% restante redujo hasta un 6,3%, obteniendo una diferencia entre ambos de un 0.6%.

5.3 Uso de los materiales artificiales en obras de específicas de drenaje menor

5.3.1 Uso en alcantarillas



Obras de entrada y salida de alcantarillas.

Tipo 1 - En muro de hormigón ciclópeo.

Componentes:

- Bajante
- Cámara de entrada
- Aleros y embocadura
- Revestimiento $H = 0.25m$
- Zampeado de piedra en salida

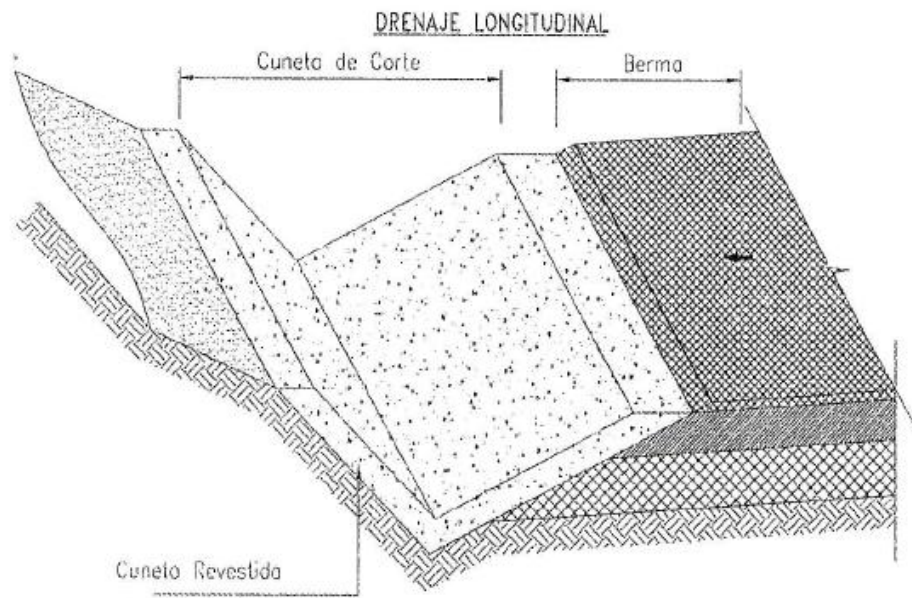
Materiales especificados:

1. Hormigón tipo “E” para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón tipo “C” con resistencia cilíndrica característica de 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.
4. Hormigón ciclópeo con hormigón tipo “C” y piedra desplazadora no mayor al 33% del volumen total.
5. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino.

Materiales propuestos:

1. Hormigón cerámico 100 % u hormigón cascajo 100 % en remplazo del hormigón tipo “E” especificado, para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.
4. Hormigón ciclópeo con hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” y piedra desplazadora o ladrillo desplazador no mayor al 33% del volumen total.
5. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino artificial (polvo de ladrillo).

5.3.2 Uso en cunetas



Cuneta de corte revestida.

Componentes:

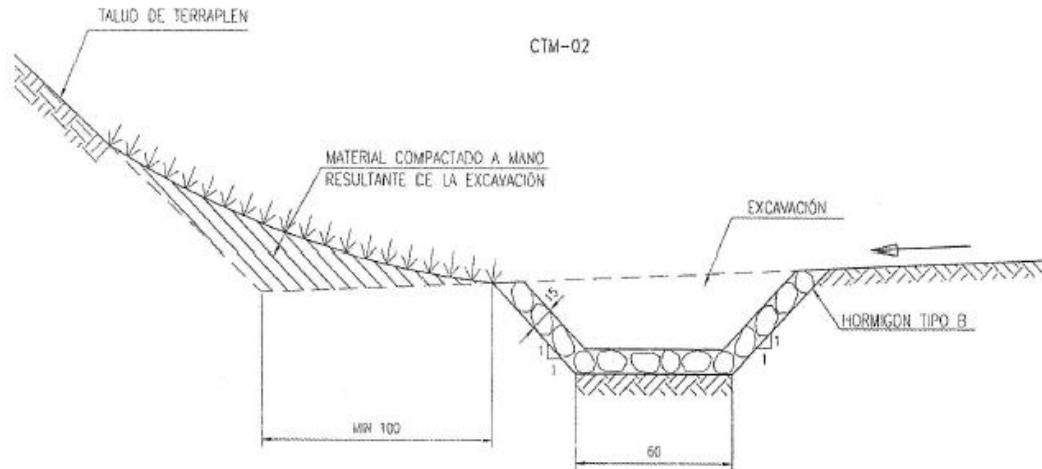
- Cuneta
- Revestimiento $H = 0.10\text{m}$

Materiales especificados:

1. Hormigón tipo “B” con resistencia cilíndrica característica de 18 MPa a los 28 días.
2. Juntas con sello de material bituminoso.

Materiales propuestos:

1. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “B” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 18 MPa a los 28 días.
2. Juntas con sello de material bituminoso.



Cuneta zampeada.

Componentes:

- Cuneta
- Revestimiento H = 0.15m

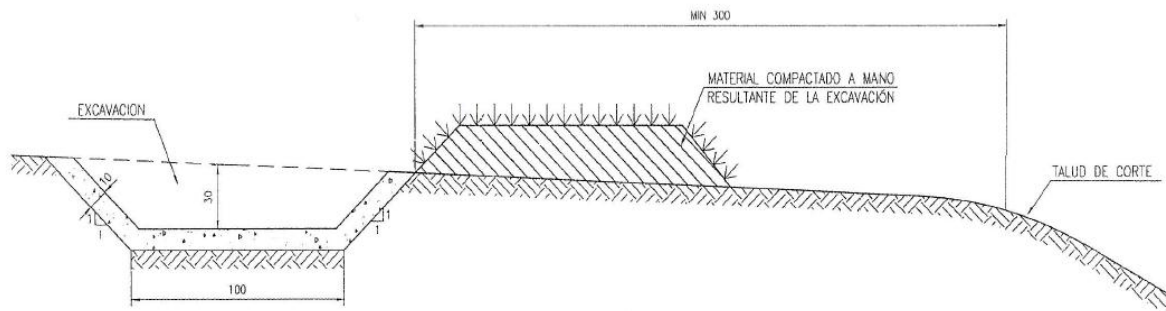
Materiales especificados:

1. Hormigón tipo “B” con resistencia cilíndrica característica de 18 MPa a los 28 días.
2. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino.

Materiales propuestos:

1. Hormigón ciclópeo con hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “B” y piedra desplazadora o ladrillo desplazador no mayor al 33% del volumen total.
2. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino artificial (polvo de ladrillo).

5.3.3 Uso en contracunetas



Cuneta revestida.

Componentes:

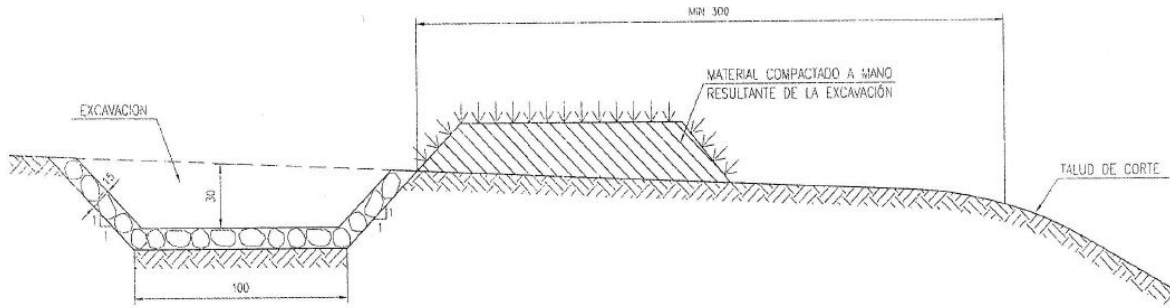
- Contracuneta
- Revestimiento $H = 0.10\text{m}$

Materiales especificados:

1. Hormigón tipo “B” con resistencia cilíndrica característica de 18 MPa a los 28 días.
2. Hormigón tipo “C” con resistencia cilíndrica característica de 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.

Materiales propuestos:

1. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “B” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 18 MPa a los 28 días.
2. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.



Contracuneta zampeada.

Componentes:

- Cuneta
- Revestimiento $H = 0.15\text{m}$

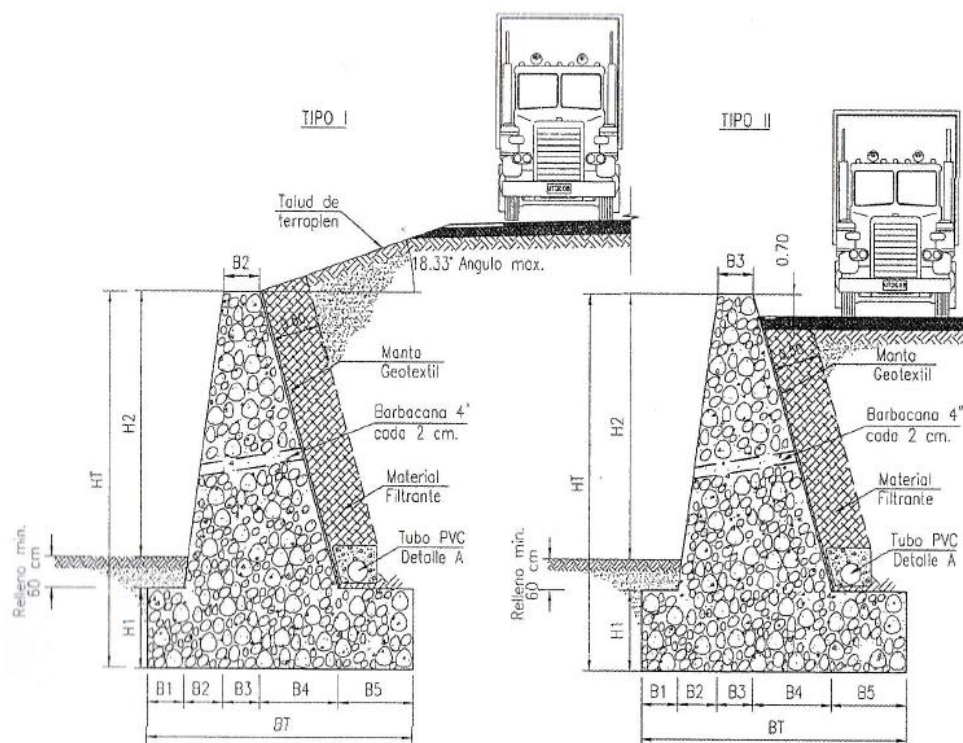
Materiales especificados:

1. Hormigón tipo "C" con resistencia cilíndrica característica de 18 MPa a los 28 días.
2. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino.

Materiales propuestos:

1. Hormigón ciclópeo con hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo "C" y piedra desplazadora o ladrillo desplazador no mayor al 33% del volumen total.
2. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino artificial (polvo de ladrillo).

5.3.4 Uso en muros zampeados



Muros de gravedad $1,5 \leq H \leq 4,5$ m .

Componentes:

- Zampeado de piedra en salida
- Hormigón ciclópeo

Materiales especificados:

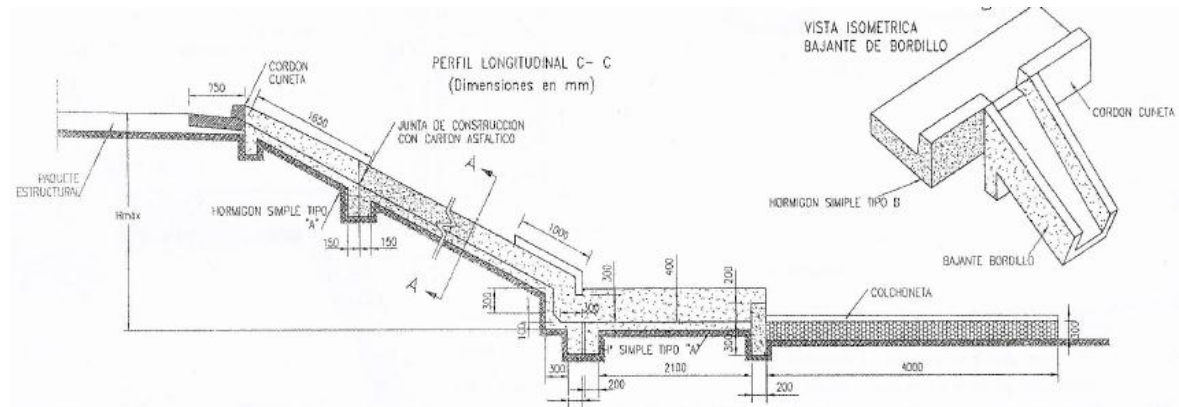
1. Hormigón tipo “E” para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón tipo “C” con resistencia cilíndrica característica de 16 MPa a los 28 días.
3. Hormigón ciclópeo con hormigón tipo “C” y piedra desplazadora no mayor al 33% del volumen total.

4. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino.

Materiales propuestos:

1. Hormigón cerámico 100 % u hormigón cascajo 100 % en remplazo del hormigón tipo “E” especificado, para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 16 MPa a los 28 días.
3. Hormigón ciclópeo con hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” y piedra desplazadora o ladrillo desplazador no mayor al 33% del volumen total.
4. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino artificial (polvo de ladrillo).

5.3.5 Uso en lavaderos y bajantes



Obras en bajantes, bordillos y lavaderos.

Componentes:

- Cordón de cuneta
- Bordillo
- Canal bajante
- Disipador
- Colchoneta
- Zampeado de piedra en salida

Materiales especificados:

1. Hormigón tipo “E” para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón tipo “C” con resistencia cilíndrica característica de 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.
4. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino.

Materiales propuestos:

1. Hormigón cerámico 100 % u hormigón cascajo 100 % en remplazo del hormigón tipo “E” especificado, para capa de nivelación con resistencia cilíndrica característica de 11 MPa a los 28 días.
2. Hormigón cerámico 50% u hormigón cascajo 50% en remplazo del hormigón tipo “C” especificado, estos hormigones tienen una resistencia cilíndrica característica mayor a 16 MPa a los 28 días.
3. Juntas con sello de material bituminoso.
4. Zampeado y/o mampostería de piedra con mortero compuesto de una parte de cemento por tres de agregado fino artificial (polvo de ladrillo).

5.4 Análisis de costos de producción y general de los residuos cerámicos del ladrillo

Para empezar con este análisis se realizó un estudio de precios que tenemos en nuestro medio actual, tanto para los agregados naturales como también para los materiales artificiales que se proponen.

Luego hacemos un análisis de costos de producción de nuestras muestras realizadas, sabiendo que el elemento conglomerante cemento utilizado en todas nuestras pruebas, en nuestro medio tiene un costo actual de 55 Bs. Por bolsa.

Agregado natural	Precio productivo (Bs)	Cantidad (m3)
Grava	155	1
Arena	155	1
Piedra	90	1

Tablas 5.27: Datos promedio de precios de agregados naturales en Tarija.

Fuente: Elaboración propia.

Agregado artificial	Precio productivo (Bs)	Cantidad (m3)
Cascajo de ladrillo	104	1
Polvo de ladrillo	83	1
Ladrillo escombros	35	1

Tablas 5.28: Datos promedio de precios de agregados artificiales en Tarija.

Fuente: Elaboración propia.

Estos precios de producción del agregado natural son los que se manejan actualmente en nuestro medio, y este material se lo recoge de las diferentes seleccionadoras del lugar, el costo de producción de estos materiales se encuentra detalladamente y se los muestra en los anexos en el anexo I.

En lo que se refiere a los agregados artificiales estos se venden como escombros de ladrillo en las distintas cerámicas, y los precios que ponemos en la tabla 5.28 son precios del material artificial preparado y listo para ser utilizado en las distintas mezclas, para esto tuvo que ser picado manualmente en el caso del cascajo y con una máquina trituradora en el caso del polvo de ladrillo, el costo de producción de estos materiales se encuentra detalladamente y se los muestra en los anexos en el anexo II.

A partir de los valores de las tablas 5.27 y 5.28 y el costo del cemento podemos realizar un costo para nuestros hormigones y su respectivo análisis.

Costo de producción Hormigón Patrón	
Hormigón	Precio (Bs/m ³)
Patrón H-21 (clase A)	795,89
Patrón H-17 (clase B y C)	735,12
Patrón H-13 (clase D y E)	699,60

Tablas 5.29: Datos de costo de producción de hormigones estructurales.

Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra dosificación realizamos para un hormigón H-21 (clase A) a base de este hicimos nuestras pruebas, como las resistencias de nuestros hormigones bajaron es que hacemos el análisis de costos para hormigones estructurales tal como se muestra en la tabla 5.29 y el detalle completo de estos costos se encuentran en los anexos, en el anexo II.

Costo de producción Hormigón H-21 (clase A)	
Hormigón	Precio (Bs/m3)
Patrón H-21 (clase A)	795,89
Polvo de lad. 50%	768,94
Polvo de lad. 100%	742,00

Tablas 5.30: Datos de costo de producción de hormigones estructurales H-21 con residuos cerámicos del ladrillo.

Fuente: Elaboración propia.

El hormigón H-21 (clase A) es el hormigón estructural comúnmente utilizado en la construcción, en este caso los hormigones Polvo de ladrillo 50% y Polvo de ladrillo 100% cumplen con esta especificación, en el hormigón polvo de ladrillo 50% su costo baja hasta un 3,4%, y en el caso del hormigón Polvo de ladrillo 100% su costo baja un 6,8%, siendo factible su posible aplicación.

Costo de producción Hormigón H-17 (clase B y C)	
Hormigón	Precio (Bs/m3)
Patrón H-17	735,12
Cerámico 50%	745,09
Cascajo 50%	772,03

Tablas 5.31: Datos de costo de producción de hormigones estructurales H-17 con residuos cerámicos del ladrillo.

Fuente: Elaboración propia.

El hormigón H-17 (clase B y C) es un hormigón estructural no es el comúnmente utilizado en la construcción, pero al ser estructural puede ser utilizado en algunas obras que así lo requieran, en este caso los hormigones Cerámico 50% y Cascajo 50% cumplen con esta especificación, en el hormigón Cerámico 50% su costo se incrementa hasta un 1,4%, y en el caso del hormigón Cascajo 50% su costo también se incrementa un 5,0%, en este caso particular los costos se incrementaron, pero estos costos pueden ser reducidos si al preparar los materiales artificiales se lo hace de una forma más industrializada.

Costo de producción Hormigón H-13 (clase D y E)	
Hormigón	Precio (Bs/m3)
Patrón H-13	699,60
Cerámico 100%	694,29
Cascajo 100%	748,17

Tablas 5.32: Datos de costo de producción de hormigones estructurales H-13 con residuos cerámicos del ladrillo.

Fuente: Elaboración propia.

El hormigón H-13 (clase D y E) es un hormigón estructural no es el comúnmente utilizado en la construcción, pero al ser estructural puede ser utilizado en algunas obras que así lo requieran, en este caso los hormigones Cerámico 100% y Cascajo 100% cumplen con esta especificación, en el hormigón Cerámico 100% su costo se incrementa hasta un 0,8%, y en el caso del hormigón Cascajo 100% su costo también se incrementa un 6,9%, en este caso particular los costos se incrementaron, pero estos costos pueden ser reducidos si al preparar los materiales artificiales se lo hace de una forma más industrializada.

5.4 Conclusiones y recomendaciones

- Con el estudio realizado se demuestra que técnicamente el uso de ladrillo y sus residuos cerámicos cumplen con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para poder ser una alternativa de solución en la construcción de obras de drenaje.
- Se logró evaluar que económicamente para los distintos usos del ladrillo y sus residuos cerámicos en un hormigón H-13 (clase D y E) estructural si bien los costos se incrementan un 0,8% y un 6,9%, para hormigones cerámico 100% y cascajo 100%, estos no son incrementos excesivos y el aporte al medio ambiente es enorme.
- Se logró evaluar que económicamente para los distintos usos del ladrillo y sus residuos cerámicos en un hormigón H-17 (clase B y C) estructural si bien los costos se incrementan un 1,4% y un 5,0%, para hormigones cerámico 50% y cascajo 50%, estos no son incrementos excesivos y el aporte al medio ambiente es enorme.
- Se logró evaluar que económicamente para los distintos usos del ladrillo y sus residuos cerámicos en un hormigón H-21 (clase A) estructural los costos se reducen un 3,4% y un 6,8%, para hormigones Polvo de ladrillo 50% y Polvo de ladrillo 100%, estos no son deferencias excesivas y el aporte al medio ambiente es enorme.
- Las obras de arte o drenaje no todas necesitan de resistencias estructurales por que no todas soportan cargas, haciendo factible el uso en algunas de ellas en las cuales no se necesitan grandes resistencias.
- En la caracterización de los agregados tanto naturales como artificiales se pudo evaluar: tamaño, peso, volumen, humedad, absorción, desgaste el cual nos permitió identificar la compatibilidad de los agregados y trabajabilidad de cada uno para que pudieran ser utilizados en obras de arte.
- Los residuos cerámicos del ladrillo, también deben ajustarse a los parámetros y tolerancias establecidos, para ello se realizó un proceso de selección de material, ya que de esto depende que los resultados sean favorables.
- Al tratarse de residuos cerámicos del ladrillo el aprovechamiento de este residuo convirtiéndolo en materia prima para elaborar agregados semejantes a los materiales naturales, dicha propuesta promueva el reciclaje.

- El proceso de semejanza de los agregados naturales a los agregados artificiales al promover el reciclaje podría pasar de manual a mecánico, para que dicho producto baje costos de producción y sea tomado en cuenta en la construcción de obras de drenaje, haciendo un gran favor a la naturaleza.
- Se analizó la incidencia de los residuos cerámicos del ladrillo en el peso y en la resistencia mecánica a compresión del hormigón, sobre un diseño de mezcla con una resistencia f'_{ck} de 210 kg/cm², mediante los ensayos ASTM-C39, cuya incidencia fue la reducción de peso en función a los porcentajes utilizados dentro de la mezcla y reducción de la resistencia f'_{ck} .
- También se analizó la incidencia del polvo de ladrillo en la resistencia característica para los morteros basados en la normativa ASTM-C109 con una resistencia de 5 MPa, cuya incidencia fue que reduce la resistencia pero mínimamente.
- Se ha comparado las mezclas de hormigón alterado con “Residuos cerámicos de ladrillo” Vs. hormigón convencional, verificando que los agregados naturales (grava-arena) incide en la resistencia a compresión, otorgándole características positivas, en cambio los agregados grueso artificial (cascajo de ladrillo-polvo de ladrillo) le otorga resistencia decreciente.
- También se ha comparado las mezclas de mortero alterado con “Polvo de ladrillo de ladrillo” Vs. Mortero normal, verificando que el agregado fino (arena) al ser alterado por el agregado artificial (polvo de ladrillo) no tiene gran incidencia en la resistencia a compresión.
- Habiendo realizado la comparación del hormigón con residuos cerámicos del ladrillo con un hormigón convencional, observamos que si bien no presenta una resistencia a compresión como un hormigón H-21 (clase A), pueden considerarse de tipo estructural ya que tenemos hormigones cerámicos H-13 y H-17 (clase B, C, D y E).
- Se identificó las aplicaciones del hormigón basado en residuos cerámicos del ladrillo sujeto a estudio, en función a sus características físicas y mecánicas, para su uso en elementos que comprenden las obras de arte son limitados como ser: cunetas, contracunetas, elementos de una alcantarillas, zampeados, zanjias drenantes, capas drenantes y en elementos estructurales sin requerimiento de carga.

- En lo que se refiere a la prueba de densidad los hormigones con residuos cerámicos del ladrillo están dentro de los límites establecidos como hormigones de peso normal, pero si en los hormigones cerámicos al 100% es donde más se aproximan a hormigones ligeros, solo en un caso para el hormigón cerámico al 100% de la cerámica San Luis pasa a ser un hormigón liviano.
- Las ventajas que presenta el hormigón a base de residuos cerámicos del ladrillo tales como reducción de peso, reducción de costos y resistencia admisible, podrán ser aprovechadas siguiendo el proceso de elaboración adecuado.
- Después de realizados los ensayos a compresión el tipo de rotura que presentaron nuestras probetas a base de residuos cerámicos observamos que estas presentan fisuras muy similares a las probetas de hormigón convencional.
- El procedimiento empleado para la elaboración de nuestros hormigones y morteros es sencillo y no necesita de alta tecnología para su ejecución, los materiales residuos cerámicos del ladrillo se encuentran en nuestro medio, así que ponerlo en práctica es muy posible.
- Cuando se utilizan los agregados para las mezclas siempre hay que tratar de que estas cumplan con las normas establecidas para así garantizar la calidad requerida.
- En lo posible se debe tratar de realizar la mayor cantidad de pruebas para cada ensayo.
- Tratar de reducir lo más que se pueda los posibles errores accidentales en el laboratorio, para que así no exista variación en nuestros resultados.
- Se debe utilizar agua potable sin impurezas para la elaboración de nuestras pruebas.
- Se recomienda respetar las proporciones de cálculo que se tiene, ya que estas son determinadas bajo las características de los agregados.
- Las probetas tienen que ser almacenadas en lugares apropiados, libre de movimientos o golpes y con esto dejar que cumpla con el ciclo de fraguado deseado.