

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 El problema

La construcción se caracteriza por una estructura vertical a base de muros de grandes dimensiones con materiales de una densidad elevada y una estructura horizontal formada con materiales trabajando a compresión y bien aparejados entre ellos.

Con este tipo de construcción, el aumento de la masa de los elementos estructurales favorece requerimientos:

- La resistencia especialmente a compresión aumenta con la masa.
- Con el espesor y la densidad del material aumenta el aislamiento térmico.
- El aislamiento acústico mejora con la masa.
- La impermeabilización aumenta con la masa.
- Con una mayor masa los edificios son más durables.

Es por todo ello que esta tipología constructiva de construcción masiva, que ha llegado hasta nuestros días ha generado una tendencia a identificar que la masividad es favorable y de esta forma, aún hoy en día, está bastante extendido identificar la densidad de los materiales con la solidez y calidad constructiva o estructural. Curiosamente esto no pasa en todos los países donde se ha desarrollado una tipología constructiva ligera.

Aunque nuestra tradición constructiva se caracteriza por la masividad y la densidad de los materiales y las grandes dimensiones; no es menos cierto que el espíritu de superación del hombre y la ambición de crear cada vez edificios mayores, han hecho pensar en aligerarlas estructuras, especialmente los elementos horizontales, para cubrir edificios con luces cada vez mayores.

1.1.1.1 Planteamiento

El hormigón es en la actualidad el material más usado en la industria de la construcción, sin embargo la alta densidad o peso volumétrico de los hormigones convencionales (igual o mayor a 2400 kg/m^3), ha sido un inconveniente donde la carga muerta es un factor importante, generado principalmente por el tipo de agregado que se utiliza para su elaboración.

Es muy pesado para ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, ya que éstas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario),

dichas cargas se transmiten a las uniones, éstas a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno; los efectos son construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas. Todo esto debido al excesivo peso muerto de las losas de hormigón convencional, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra.

Con el fin corregir algunas insuficientes cualidades del hormigón y dificultades que se tiene en el ámbito de la construcción, es que se ve necesario estudiar a los hormigones ligeros:

- Hormigones celulares, (aireados, espumosos o gaseosos)
- Hormigones reforzados con fibras
- Los hormigones con agregados ligeros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar las características físicas y mecánicas del hormigón con cascote de ladrillo y su aplicación como alternativa del hormigón convencional.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características de los agregados para la elaboración de mezclas, mediante ensayos de laboratorio para grava y arena, estableciendo la calidad de los mismos.
- Aplicar los análisis de agregado grueso al cascote de ladrillo, adaptando al material a normas estándar (ASTM).
- Elaborar una dosificación patrón con el método ACI-211.
- Aplicar la dosificación patrón a las mezclas de hormigón con ladrillo, reemplazando el agregado grueso en diferentes porcentajes.
- Evaluar las propiedades de resistencia, densidad y absorción de cada mezcla, con métodos normales, para observar la variación entre las mismas.
- Analizar, mostrar y comparar los resultados para cada mezcla realizada, de forma gráfica y analítica.
- Determinar la mezcla que se ajusta más a los parámetros establecidos y sujetos a comprobación.

- Plantear una metodología del reciclado y obtención del cascote de ladrillo para su uso como árido en construcción y aplicación en la región.
- Identificar las posibles aplicaciones que tiene el hormigón con ladrillo en elementos estructurales.
- Establecer los costos de producción de las mezclas.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

El estudio pretende, comprobar y verificar la validez de modelos teóricos, además de la introducción de conceptos conocidos pero no aplicados en la construcción de elementos estructurales, buscar respuestas respecto a la aplicación de nuevas alternativas en construcción, para disminuir el peso muerto del hormigón convencional y los potenciales efectos que pueden ocasionar.

1.3.2 Justificación metodológica

Para poder cumplir los objetivos, se ve necesario realizar un análisis comparativo de las soluciones planteadas en base la información recopilada, para determinar la hipótesis de estudio.

Analizando materiales del medio local como cemento y agregados, caracterizándolos en primera instancia por medio de análisis de laboratorio, determinando similitudes, diferencias, ventajas y desventajas de los materiales estudiados, análisis de dosificaciones e implementar el agregado ligero que otorgue propiedades necesarias a las que se requiere para poder obtener hormigones ligeros en construcción.

Se contrastará en el desarrollo de la investigación, las propiedades físico – mecánicas del hormigón convencional con la alternativa elegida.

1.3.3 Justificación práctica

La investigación propuesta permitirá comprobar soluciones viables al problema, que cumpla con los objetivos, en lo que se refiere a la posibilidad de obtención, aplicación e introducción de hormigones ligeros en la construcción local, aplicación de los métodos

elegidos, a fin de comparar técnicas actuales con otras diferentes que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad, resistencia y otras propiedades elementales que sean exigidas, permitiendo la explicación y validación de conocimientos teóricos.

1.4 Alcance del estudio

1.4.1 Consideraciones generales

Para las soluciones planteadas se ensayará:

Para el cemento: determinación de la finura, peso específico.

Para los agregados: análisis granulométrico, determinación de los pesos específicos, absorción, pesos unitarios.

Dosificación de mezclas: relación agua cemento, asentamiento, correcciones, introducción del cascote de ladrillo.

Rotura de probetas: determinación de la resistencia a compresión.

Comparación: hormigón con ladrillo y hormigón convencional.

1.4.2 Análisis de alternativas

- **Hormigones aireados**

En cuanto a las características físicas y mecánicas podemos decir que el concreto aireado:

Puede llegar a ser 4 veces más aislante del sonido (insonoro) que el concreto convencional.

El hormigón aireado puede llegar a ser 6 veces más aislante térmico que el concreto normal.

El hormigón aireado tiene una vejez igual al concreto normal.

El hormigón aireado es igual de resistente a los sulfatos que el concreto normal.

El hormigón aireado puede llegar a pesar hasta la quinta parte de un concreto convencional.

Un obrero rinde más colocando unidades grandes de hormigón aireado que colocando unidades pequeñas fabricadas con concretos normales.

Un obrero utiliza menor mortero de pega colocando unidades de hormigón aireado que cualquier otro sistema.

La reducción de carga muerta es considerable, en un edificio de 5 pisos cada piso con un área de 200m^2 , se ha demostrado que la cimentación podría reducirse en un 25%, representando esto en un ahorro total de la construcción hasta de un 35%.

Tratándose de un concepto “nuevo” de aplicaciones y mezclas de concretos no tradicionales; deberá considerarse que en la producción de un m^3 deberá tenerse en cuenta el importantísimo factor de densidad por kg/m^3 de masa al final de la mezcla. Las miles de burbujas incluidas, no solamente expanden la mezcla sino que también cambia las densidades radicalmente. Esto es en la densidad de $1600 \text{ k}/\text{m}^3$.

Usos y aplicaciones

Elementos de requerimientos estructurales bajos (Resistencia a Compresión $f'c = 100, 140$ y $180 \text{ kg.}/\text{cm}^2$, equivalentes a $1,400, 2,000$ y $2,500 \text{ psi}$), como son:

Divisiones para todo tipo de edificaciones, capas de nivelación en pisos o losas, aligerar las cargas muertas en las estructuras, construcción de viviendas en serie o de tipo monolítico, protección de estructuras contra el fuego, elementos que no estén sujetos a ataques químicos y/o ambientales severos.

- **Hormigones con fibras de refuerzo**

Usadas las fibras inicialmente para reducir el agrietamiento por contracción plástica del concreto, el mercado consistía principalmente en la presencia de fibras sintéticas de polipropileno y nylon.

El uso de fibras se hizo imprescindible en el concreto celular, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias al uso de la fibra de polipropileno.

De estas fibras deben usarse las del tipo de segunda generación, es decir las que forman una malla tridimensional de refuerzo con el fin de evitar los problemas de curado, por otro lado, los productos de concreto celular prefabricados son más susceptibles mientras ganan buena parte de su resistencia, por lo que al moverlos entre el tercero y sexto días son susceptibles a despiques, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes.

El concreto con fibras es apropiado para superficies grandes que tiendan a fracturarse precisamente por su longitud muros, losas, pavimentos y pisos industriales.

Como se mencionó, la adición de fibras de diversas clases y tipos al concreto celular, puede reducir la desfavorable contracción.

Los beneficios de la adición de fibras al concreto celular de baja densidad son considerables, estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementan la resistencia a la flexión y a la tensión.

La fibra debe ser resistente al álcali; puede tratarse de resinas sintéticas o de fibra de vidrio, fibras de polietileno, polipropileno o acero según las necesidades del proyecto. La cantidad utilizada está determinada por la trabajabilidad del concreto y el costo.

- **Hormigones con Cascote de Ladrillo**

Como su nombre lo indica, es ladrillo triturado. Éste está conformado por un 80% de arcilla, con el agregado del material ligante, más impurezas. Químicamente la arcilla está compuesta por: 45% a 70% de sílice, 10% a 40% de alúmina y 10% a 20% de agua.

Es un material proveniente de los hornos de ladrillos, residuos de la fabricación de baldosas o recuperación de escombros, que previa limpieza de impurezas, trituración y cribado pueden ser usados como agregados.

El material puede ser obtenido por machaqueo de piezas de ladrillo o a partir de escombros de construcción, en este caso se deberá tener cuidado de que se reduzca al mínimo el contenido de impurezas o mezclas con otro material.

Constituye un agregado liviano de mayor peso específico aparente que los descriptos anteriormente (peso específico del material suelto y seco: 900 a 1200 kg/m³). Su porosidad depende de la naturaleza de las tierras utilizadas y del proceso de elaboración.

- **Hormigones con arcilla expansiva**

Las propiedades más sobresalientes que se puedan obtener son:

Reducción aproximada de un 30% del peso total de la estructura sin afectar la resistencia.

Permite cálculos de secciones estructurales que con áridos pesados, ahorrando materia prima.

Facilidad de acarreo en obra, tanto del agregado como de hormigones frescos. Ahorro de tiempos y jornales.

- **Hormigones con poliestireno expandido**

Densidad - peso específico: Las distintas densidades que se encuentran son:(200 – 250 – 300 – 350) kg/m³

Características de bombeo: Dada la forma esférica del agregado (en el caso de la perlita) el hormigón una vez preparado adquiere una movilidad increíble, permitiéndole el bombeo hasta una altura mayor que 60m.

Trabajabilidad: Gracias también a la forma esférica y a la granulometría de la perlita, se obtiene un hormigón de muy buena trabajabilidad debido a que la trabazón entre perlitas es mínima.

El hormigón realizado con poliestireno posee muy baja retracción y no produce grietas durante el fraguado, es por esto que puede aplicarse en grandes superficies sin necesidad de juntas de dilatación.

Los elementos constructivos elaborados con este material muestran un excelente comportamiento en caso de incendio, siendo muy aptos para muros contrafuego.

Cuadro Resumen:

TABLA 1.4.2-1: CUADRO RESUMEN PARA DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS

	Dosificaciones	Prop. Mecánicas	Aplicabilidad	Densidad
Hormigón Aireado	✓	✗	✗	✓
Hormigón Con Fibras	✓	✓	✗	✓
Con Agregados Ligeros	✓	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración Propia

Por lo observado y lo expuesto con anterioridad en el perfil de proyecto podemos realizar el estudio comparativo del hormigón ligero con cascote de ladrillo.

1.4.3 Resultados a lograr

Obtención y generación de información necesaria para el desarrollo del estudio y del informe final.

Análisis de laboratorio para los materiales componentes de la mezclas.

Caracterización de las muestras de materiales, comparación de similitudes y diferencias entre ambas mezclas en dosificación.

Comparación de la reducción porcentual de la densidad del hormigón convencional.

Elaboración y rotura de una muestra de probetas para cada caso, donde por lo menos el 90% sean resultados muy semejantes.

Comparación de las características mecánicas del hormigón ligero a estudiar.

Comparaciones entre las resistencias obtenidas de ambos ensayos.

Comprobación de la hipótesis planteada en la propuesta.

1.4.4 Hipótesis

Con la elaboración de hormigón con cascote de ladrillo se reducirá porcentualmente la densidad de la masa de hormigón convencional (como mínimo se establece un 15%) y la resistencia a compresión será superior a la mínima que establece el Código Boliviano de Hormigón para hormigones estructurales (150 kg/cm^2), identificando su utilidad para elementos estructurales y ventajas técnicas y económicas.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón con cascote de ladrillo

2.1.1 Antecedentes

El reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos.

Para esto es posible sustituir el agregado natural grueso por triturado de ladrillo en diferentes proporciones, analizando las propiedades físico-mecánicas del ladrillo reciclado o triturado, así como las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.

Los resultados de los distintos ensayos podrán indicar la viabilidad de utilizar triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de un tipo de hormigón más liviano.

Durante las últimas décadas se han incrementado no sólo los residuos de ladrillos provenientes de una fabricación defectuosa, sino también los residuos del sector de la construcción y demolición. En la actualidad, estos residuos no reciben ninguna clase de tratamiento por lo cual son utilizados para rellenar huecos presentes en los caminos cercanos a la fuente de generación o simplemente son arrojados a predios baldíos, creando un gran impacto visual y paisajístico. En el mundo la utilización de concreto elaborado con agregado de ladrillo reciclado es aun escasa; sin embargo, en varios países se han llevado a cabo proyectos ingenieriles; como en Holanda, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos y España.

2.1.2 Hormigones de agregados livianos

La denominación de “Hormigones Livianos” cubre toda una gama de materiales de construcción de muy variadas características, cuya principal propiedad es su reducido peso específico, y que sólo tienen de común, en lo que se refiere a su composición, el empleo de cemento portland en su elaboración.

Desde el punto de vista de sus elementos componentes algunos de estos materiales no son, en realidad, hormigones, si se reserva esta denominación a los productos constituidos por cemento, agregados gruesos y agregados finos de origen mineral.

Los hormigones livianos aprovechan esencialmente la elevada resistencia que ofrece el aire confinado en pequeñas celdas al paso del calor.

En términos generales los hormigones livianos pueden ser considerados como el resultado de la tendencia generalizada de obtener un material de construcción que, con las características de los hormigones tradicionales, reúna en grado apreciable cualidades de liviandad, capacidad aislante, resistente y economía.

Si nos referimos específicamente al hormigón elaborado a base de cascote de ladrillo, éste se encuentra dentro del grupo de los hormigones con agregados livianos inorgánicos artificiales, considerado como un subproducto, ya que proviene de la trituración o reducción del producto original que es el ladrillo.

2.1.2.1 Propiedades

a) Peso específico aparente:

Con los agregados livianos se podrá lograr diferentes tipos de hormigón con diferentes pesos específicos o densidades y esto dependerá de la naturaleza y composición de los agregados, la adición y la proporción de arena, cemento, los procedimientos de compactación, la cantidad de agua. Las características de los hormigones de agregados livianos variaran consecuentemente.

b) Resistencia

La resistencia de los hormigones de agregados livianos varía entre límites muy amplios con los mismos componentes y, además, varía con la resistencia propia del agregado. Por lo tanto, es posible considerar el problema desde dos puntos de vista diferentes según se busque obtener hormigones resistentes y, en consecuencia, de peso específico medio, o que se desee hormigones de reducido peso específico pero de menor resistencia.

Cuando se trata de ejecutar elementos de construcción armados (columnas, losas, vigas, etc.) la condición fundamental a cumplir es la resistencia del material. Existe el problema de la protección y adherencia de la armadura, lo que podrá exigir un aumento de la cantidad de cemento y de compacidad.

A mayor cantidad de cemento, los hormigones más resistentes serán los más compactos o, por lo menos, los de textura menos abierta. Es así que los hormigones de agregados con granulometría variada sin discriminación tienen, en general, una resistencia menor que

aquellos que resultan de una proporción racional de elementos gruesos y finos en el agregado.

Por el contrario, cuando se desea un hormigón de muy bajo peso específico, siendo suficiente una reducida resistencia, deberán utilizarse los menos compactos, que se logran mediante una compactación incompleta, con una posible incorporación de aire.

c) Aislación térmica.

El coeficiente de conductibilidad térmica de los hormigones de agregados livianos varía en relación directa con su peso específico.

d) Retracción.

En términos generales puede decirse que la retracción de los hormigones de agregados livianos es dos veces superior a la de los hormigones ordinarios. Se atribuye el hecho a la mayor cantidad de agua de mezclado, a la mayor porosidad de estos hormigones y, en parte, a la mayor deformabilidad de los agregados bajo el efecto de las tensiones internas debidas a la retracción de la lechada de cemento.

d) Absorción de agua.

El peso específico de los hormigones de agregados livianos varía entre límites tan amplios que es necesario, para poder comparar capacidades de absorción, expresar éstas en porcentajes de agua con relación al volumen aparente del hormigón y no con respecto al peso del mismo. Dichos valores oscilan entre 18 y 30% y, excepcionalmente, 40%. En los hormigones ordinarios varían entre 7,5 y 23%.

f) Resistencia al fuego

De una manera general puede decirse que todos los hormigones de agregados livianos ofrecen una buena resistencia al fuego, muy superior a la de los hormigones ordinarios de agregados silíceos. Dentro de ellos se destaca especialmente el hormigón de vermiculita que constituye uno de los mejores materiales de protección contra la propagación del fuego.

2.1.2.2 Aplicaciones

A) Agregados inorgánicos.

Monolítico (moldeado en el sitio): muros y tabiques; contrapisos y revestimientos aislantes; revoques refractarios (hormigón de vermiculita).

Elementos premoldeados: bloques y placas para muros y tabiques; ladrillos para entrepisos y techos; revestimiento de conductos de humo (hormigón de puzolanas).

B) Agregados orgánicos.

Monolítico: Aislación bajo pisos

Elementos premoldeados: placas aislantes para tabiques, techos y entrepiso; bloques para muros; ladrillones para techos.

A continuación se muestra un resumen en tablas de los distintos tipos de hormigones livianos:

FIGURA 2.1.2.2-1 RESUMEN TIPOS DE HORMIGONES LIVIANOS

<u>HORMIGONES LIVIANOS</u>		
I) HORMIGONES CELULARES	(A) Hormigón gaseoso	(1) Dos productos químicos que reaccionan entre sí (Acid. clorhíd. y bicarb. de sodio (Cloruro de cal y agua oxigenada (Carburo de calcio y agua
		(2) Un producto químico que reacciona c/el cemento (Polvos metálicos (aluminio, zinc (magnesio, calcio, bario, litio) (Sales (carbonatos, bicarbonatos)
		(3) Un produc. que sufre proceso de fermentación (Levaduras orgánicas (Fermentaciones lácticas
	(B) Hormigón de espuma	(a) Rocas sedimentarias (a1) Tierras diatomáceas (a2) Conchillas calcáreas
		(1) Naturales (b1) Piedra pómez (b) Rocas ígneas (b2) Escorias volcánicas (Puzoz) (b3) Tobas (caliza porosa)
	(A) Hormigón de agregados livianos inorgánicos.	(a) Especialm. fabricad. (a1) Arcillas y pizarras expans. (a2) Silicatos expand. (Perlita extra livianos (Vermiculita
		(2) Artificiales (b1) Escorias (b2) Escorias granuladas de altos hornos (b3) Escorias expandidas (b4) Cascotes de ladrillos
		(1) Madera (a) Aserrín (b) Virutas (c) Fibras
	(B) Hormigones de agregados livianos orgánicos	(2) Otros agregados: Paja; desechos de cáñamo lino, etc.; cáscara de arroz; cáscara de papas; vainas de porotos; corcho granulado, etc.
	III) HORMIGONES CAVERNOSOS O "SIN FINOS"	

2.1.3 Cascotes de ladrillo

Este residuo tiene un potencial importante para ser reciclado en comparación con otros tipos de residuos inertes, debido a que los residuos de ladrillo permiten la obtención de un material fragmentado que puede ser utilizado como agregado reciclado en la industria de la construcción.

El aprovechamiento de estos residuos constituye un aspecto importante a nivel mundial ya que esto representa un beneficio económico, debido a la incorporación de materiales de desecho al proceso de construcción y a su vez ayuda a la preservación de los recursos naturales y a la reducción del peso en mezclas de hormigón.

2.1.3.1 Procedencia

Material proveniente de los hornos de ladrillos o de la recuperación de escombros. Constituye un agregado liviano de mayor peso específico aparente que los distintos otros que se pudieran encontrar, su porosidad depende de la naturaleza de las tierras utilizadas y del proceso de elaboración.

Si proviene de escombros, éstos serán triturados, cribados y clasificados en dos o tres grupos de acuerdo al tamaño de los granos.

Composición: Como su nombre lo indica, es ladrillo triturado. Éste está conformado por un 80% de arcilla, con el agregado del material ligante, como estiércol cascarillas de cereales entre otros, más impurezas. Químicamente la arcilla está compuesta por: 45% a 70% de sílice, 10% a 40% de alúmina y 10% a 20% de agua.

2.1.3.2 Características del agregado

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

Dureza

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

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

Superficie: ásperas y rugosas.

Color: La coloración se determina a partir de la cantidad de óxido constitutivo. Según donde fueron cocidos: son casi negros o vitrificados si se hicieron sobre el fuego, rojizos en el centro del horno, y rojo amarillento si fueron cocidos en la periferia.

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

Absorción: Por su estructura porosa (cámaras de aire comunicadas entre sí y con el exterior), son muy absorbentes, a tener en cuenta en el momento de proyectar las mezclas.

Granulometría: gran variabilidad, debido que está dada 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.

2.1.4 Hormigón con cascote

2.1.4.1 Características del hormigón que forma

Dosificación: De acuerdo a estudios realizados por el Dpto. de Mecánica Aplicada y Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura de la U.N.R. se hicieron ciertas mezclas que se muestran a continuación:

Según la finalidad del hormigón estas son (para 1 m³)

FIGURA 2.1.4.1-1: MEZCLAS DE PRUEBA APROXIMADAS PARA ALGUNOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

	Proporciones volumen			Materiales para 1 m ³						
	Cem	cal	aren gr.	Polvo de Ladrillo	cascote	Cem .	cal	aren gr.	porland	cascote
						kg.	kg.	m ³	m ³	m ³
1- contrapisos	¼	1	3	2	10	35	65	0,26	0,175	0,88
2- base de cordones, conductos, fundaciones, etc.	½	1	4		8	17	51	0,391		0,782
3-relleno de pozos, fondo de tanques	¼	1	3	1	6	60		0,342	0,114	0,684
4- fondo de cámaras		1	3		5		73	0,42		0,7

Fuente: Dpto. de Mecánica Aplicada U.N.R.

De acuerdo a estos estudios se tienen los siguientes parámetros:

Resistencia: Partiendo de la arena y el cascote de ladrillo pueden confeccionarse dos tipos de hormigón:

- Hormigón de estructura compacta, que para pesos por unidad de volumen comprendidos entre 1,5 y 2,1 kg/dm³ y dosis de cemento desde 130 a 350 kg/m³ tienen una resistencia a la compresión de 70 a 320 kg/cm², la resistencia a la flexotracción es de 60 kg/cm².

- Hormigón de estructura porosa, que alcanza para pesos por unidad de volumen comprendidos entre 1 y 1,5 kg/dm³ y para dosis en cemento de 150 a 350 kg/ m³, unas resistencias a la compresión de 20 a 70 kg/ cm².

Como se trata de datos experimentales, éstos variarán de acuerdo a la cantidad y al procedimiento que se emplee en la elaboración de mezclas de hormigón.

Los hormigones de cascote de ladrillo son relativamente elásticos, de mediana o pequeña retracción, se dilatan pocos y presentan coeficientes de dilatación térmica reducidos.

Pesos específicos: caen entre 1,250 kg/dm³ y 1,350 kg/m³.

Trabajabilidad: debido a su variada granulometría, y sus lados angulosos, no permiten una gran trabajabilidad, así también el bombeo

2.1.4.2 Usos

Son utilizados en: cimientos, suelos, divisiones horizontales, paredes. Por lo general son utilizados como hormigones de relleno. Por ejemplo en bases de columnas, es utilizado, ya que aunque tiene menor resistencia, al aumentar su área soporta la misma tensión, y favoreciendo económicamente la estructura.

2.1.4.3 Características sujetas a comparación en el desarrollo de la investigación

- De acuerdo con la forma y tamaño del agregado el hormigón será más o menos trabajable.
- La resistencia mecánica está principalmente condicionada por las propiedades mecánicas de los agregados.
- A medida que reduce la densidad, reduce la resistencia del hormigón.
- Aumento de la capacidad de absorción en relación con otro tipo de hormigón, debido a la conexión capilar entre sí en su interior.
- Según la densidad y la distribución de los poros se establece la aislación térmica. A menor densidad y distribución uniforme, mayor aislación. A mayor peso, mayor inercia térmica, lo que implica menor aislación.
- De lo analizado también podrá surgir que dada la procedencia del cascote de ladrillo, de las demoliciones, éste puede contener cal y otras impurezas que imposibilitan el trabajo con hormigones armados. Para evitar estos perjuicios es importante realizar un análisis previo del agregado.

2.2 Materiales componentes del hormigón

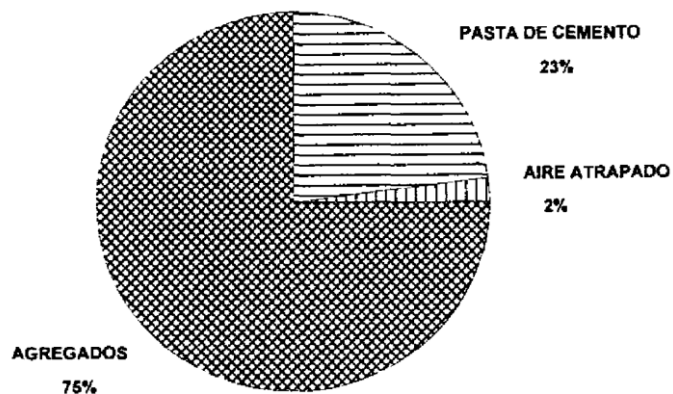
El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire, material de naturaleza simple pero con una compleja naturaleza interna.

De sus componentes, se tenía la hipótesis de que el cemento era la parte activa que reacciona con el agua, utilizando a los agregados como material de relleno, pero se ha puesto en evidencia que los agregados participan activamente en la vida del concreto.

Con una idea muy general se puede hablar de que los integrantes del concreto se encuentran distribuidos tomando como base su peso en los porcentajes siguientes:

Pasta (Cemento + Agua) de un 23 a un 25 %, Agregados (Grava y Arena) de 73 a 75 % y aire atrapado 2 %.

FIGURA 2.2 – 1: MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN



2.3 Cemento portland

Un cemento se define como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable, constituye entre el 7 y 15 % de volumen total de concreto, es el componente activo de la mezcla y por tanto influye en todas sus características.

Es un conglomerante hidráulico, que proviene de la pulverización del Clinker obtenido por fusión insipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente dosificadas.

Como materia prima del cemento se emplean la caliza y la arcilla es posible sustituirla por otras que tengan sus mismos óxidos.

Se llama cemento Portland al producto que se obtiene pulverizando, en polvo fino el clínter procedente de la calcinación hasta la fusión incipiente de una mezcla íntima en proporciones adecuadas de materiales calcáreos y arcillosos sin más edición que la de yeso.

❖ Composición química del cemento

TABLA 2.3 – 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

Composición Química del Cemento Portland			
Compuesto	Fórmula Química	Abreviatura Usada	Porcentaje
Silicato Tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S	40 – 50 %
Silicato Dicálcico	2CaOSi_2	C_2S	20 – 30 %
Aluminato Tricálcico	$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A	10 – 15 %
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	CA_4F	5 – 10 %

Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com>

❖ Tipos de cemento portland

Debido a la notable evolución de la industria del cemento se puede contar diversos tipos. Generalmente el cemento portland se clasifica de acuerdo a la normalización del país (En Bolivia se usa la Norma NB – 011). Las normas ASTM, clasifica 5 tipos de cementos enumerándolos del I al V, la diferencia en las propiedades en los tipos de cemento depende de la proporción relativa que ellos poseen de los cuatro componentes principales.

La norma también se refiere a cementos tipo I-A, II-A y III-A, que son exactamente los tipos I, II y III, excepto que durante el proceso de pulverización de Clinker se le adiciona un material incorporador de aire. También existe el cemento tipo I-M que es el mismo tipo I pero con resistencia superior.

Tipo I: Para obras de hormigón en general donde las propiedades especiales de los otros tipos de cementos no son requeridas.

Tipo II: Para uso en construcción de hormigón en general expuestas a la acción de sulfatos o donde se requiere un moderado calor de hidratación.

Tipo III: Cuando se requiera una alta resistencia inicial.

Tipo IV: Para usar cuando requiera bajo los valores de calor de hidratación.

Tipo V: Cuando se requiere una alta resistencia a los sulfatos (alcalinos).

2.3.1 Propiedades del cemento portland

❖ **Hidratación y calor de hidratación**

Cuando el agua y el cemento reaccionan, se genera calor de hidratación durante los procesos de fraguado y endurecimiento haciéndose importante en estructuras de considerable masa, debido a que si no se disipan rápidamente puede ocurrir un incremento en la temperatura del concreto, produciéndose una rápida evaporización del agua y cambios volumétricos que llevan a la contracción del material y su eventual agrietamiento. Las secciones estructurales delgadas disipan el calor de hidratación difundiéndolo al ambiente; intercambio que se hace más difícil a medida que se engruesa la sección. La cantidad de calor generado durante los primeros siete días para los diferentes tipos de cemento, expresados como porcentaje del total se muestra a continuación:

TABLA 2.3.1 – 1: CALOR GENERADO EN LOS PRIMEROS 7 DÍAS

Cantidades Aproximadas de Calor Generado en los Primeros 7 Días		
Tipo de Cemento	Características	% De Calor Generado
I	Uso General	100
II	Moderada resistencia a los Sulfatos	80 – 85
III	Desarrolla, altas fuerzas iniciales	150
IV	Desarrollo de bajo calor de hidratación	40 – 60
V	Desarrollo de alta resistencia a los Sulfatos	60 - 75

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

❖ **Peso específico**

El peso específico o densidad del cemento es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto que ocupa esa masa. En el cemento portland puro, su valor varía entre 3,10 y 3,15 g/cm³, y en el cemento con adiciones suele estar entre 2,90 y 3,0 g/cm³. El valor del peso específico del cemento en realidad no indica la calidad de éste, y su valor es usado principalmente para el diseño de mezclas.

Existe gran variedad de métodos para determinar la densidad del cemento de los cuales se pueden citar los de Le Chatelier, Schumann, Mann, Condlot y otros.

❖ **Superficie específica o finura**

La finura es una propiedad muy importante del cemento y por ello tiene que someterse a un control cuidadoso, especialmente de los fabricantes.

Las partículas de cemento, por ser muy pequeñas, no pueden ser separadas por mallas. Por esta razón, el grado de finura del cemento se mide por otro tipo de métodos y parámetros.

El parámetro de medición de la finura del cemento es el área específica, expresada como el área de la superficie total en cm^2 por gramo de cemento (o m^2 por Kg de cemento).

El área especificada en cm^2/g significa la cantidad de superficie que un gramo de partículas de cemento puede cubrir. Así, un cemento con área específica mayor será más fino que otro con área específica menor.

Un aumento en la finura del cemento tiene los siguientes efectos:

- ✓ Hidratación temprana.
- ✓ Desarrollo rápido de la resistencia a la compresión en el concreto, especialmente a edades mayores o cercanas a los 7 días.

Aun así, moler las partículas del cemento hasta obtener un alto grado de finura presenta ciertas desventajas:

- ✓ Representa un proceso con costos considerables.
- ✓ Las partículas de cemento al ser más finas se deterioran con mayor rapidez por la atmósfera.
- ✓ Experimentan una reacción más fuerte con los agregados reactivos alcalinos.
- ✓ Forman una pasta con mayor contracción y más susceptibilidad de agrietamiento.

❖ **Tiempo de fraguado**

Cuando el cemento se mezcla con el agua, formando de esta manera la pasta, mantiene una plasticidad casi constante durante un tiempo, luego del cual la pasta cambia de estado fluido a estado rígido, que se conoce como fraguado. El lapso que transcurre desde el mezclado hasta dicho cambio se conoce como tiempo de fraguado. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere alguna resistencia, es conveniente diferenciar entre fraguado y endurecimiento, pues este último se refiere al aumento de resistencia de la pasta de cemento fraguada.

Se distingue entre fraguado inicial, que es el lapso entre amasado y la pérdida parcial de plasticidad de la pasta, encontrándose el cemento parcialmente hidratado y fraguado final, que es cuando la pasta deja de ser deformable ante cargas relativamente pequeñas, con el

cemento aún más hidratado. A partir de este momento comienza el endurecimiento de la pasta, proceso que se considera indefinido, aunque para efectos de construcción se estima a los 28 días.

El tiempo de fraguado es importante porque da una idea del tiempo disponible para mezclado, transporte, colocación vibrado y afinado de concretos y morteros, la edad a la cual podrían soportar cargas, así como la de permitir tránsito sobre ellos y la ejecución del tratamiento de curado.

El fraguado inicial debe presentarse a los 45 minutos como mínimo y el final antes de 10 horas para cualquier método (Aguja de Vicat o de Gillmore).

❖ Resistencia

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

En la mayoría de 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 las de compresión, tensión y flexión, siendo la primera la más importante puesto que las otras tienen un valor muy pequeño relativo al de compresión.

2.4 Agregados del concreto

En términos generales, los agregados ocupan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen de concreto y por lo tanto su calidad es de considerable importancia no solamente desde el punto de vista económico sino también desde otros como la resistencia, durabilidad, trabajabilidad y del comportamiento estructural del hormigón.

Los agregados son una masa de materiales casi siempre pétreos, que se consideraban originalmente inertes; pero sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y térmicas influyen sobre el comportamiento del hormigón.

Están constituidos por la parte fina (arena) y la parte gruesa (grava o piedra triturada), las cuales pueden provenir de fuentes naturales o artificiales. La arena o agregado fino, es aquella cuyo diámetro varía entre 74μ y 5 mm; y la grava o agregado grueso es aquella cuyo diámetro es superior a 5mm. El material con diámetro menor a 74μ generalmente es limo o arcilla cuyas partículas tienen ciertas características que interfieren en el proceso de hidratación del cemento y de allí que se consideran perjudiciales para la pasta de hormigón.

❖ Clasificación general

Los agregados comúnmente se clasifican según su procedencia, tamaño, características petrográficas y densidad.

De acuerdo con el origen de los agregados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Agregados naturales: son todos aquéllos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.

b) Agregados artificiales: éstos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, ladrillo triturado, limaduras de hierro y otros. Generalmente son más ligeros o pesados que los naturales

Por su tamaño se clasifican como:

TABLA 2.4-1: CLASIFICACIÓN GENERAL AGREGADOS

Clasificación de los Agregados Según su Tamaño								
Tamaño en mm	> 50,8	50,8-19,1	19,1-4,76	4,76-2,0	2,0-0,42	0,42-0,074	0,074-0,002	<0,002
Denominación	Piedra	Grava	Gravilla	Arena Gruesa	Arena Media	Arena Fina	Limo	Arcilla
Denominación	Agregado Grueso			Agregado Fino			Fracción muy fina	
Recomendaciones para Hormigón	Material bueno para producir hormigón			Material bueno para producir hormigón			Material no recomendable	

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

Por su densidad se clasifican como:

TABLA 2.4-2: CLASIFICACIÓN AGREGADOS POR DENSIDAD

Clasificación de los Agregados según su Densidad				
Clasificación del Agregado	Densidad Aproximada		Variedades mas comunes de Agregados	Ejemplo de Uso
	Del Agregado	Del Hormigón		
Liviano	480 - 1300	1350 - 1000	Pizarras expandidas, esquistos, escoria, arcilla	Hormigón liviano estructural
		500 - 1350	Pómez, perlita, diatomita	Hormigón para aislamientos
Normal	1300 - 2000	2000 - 2600	Arena, grava, piedra triturada, clinker, escoria de fundición	Obras de hormigón en general
Pesado	2000 - 5600	> 2600	Barita, limonita, magnetita, limadura de acero, hematita	Hormigón macizo de anclaje para protección contra radiaciones

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

2.4.1 Funciones de los agregados

En estado plástico la arena y la pasta actúan como lubricantes de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.

La introducción de agregados a la pasta forma una trabazón tal que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen y se disminuye el volumen total que puede sufrir contracción.

Aportan parte de la resistencia propia a la resistencia a la compresión característica del concreto.

Los agregados como componentes del hormigón, deben contrarrestar con sus propiedades de durabilidad, agentes nocivos como exposiciones severas a humedad, secado, aguas o suelos agresivos.

2.4.2 Propiedades de los agregados

❖ Granulometría

La distribución de los distintos tamaños de los granos que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características del hormigón. El estudio de dicha distribución suele efectuarse mediante la curva granulométrica, que se determina cribando el árido a través de una serie normalizada de cribas y tamices.

Una vez efectuado el cribado del árido, pueden dibujarse su curva granulométrica tomando en abscisas las aberturas de los tamices, y en ordenadas los porcentajes que pasan por cada tamiz. Generalmente se emplean papel semilogarítmico.

El agregado grueso debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la planta de concreto separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

TABLA 2.4.2 – 1: GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN ASTM C33

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa por los tamices individuales		
		19 mm	38 mm	51 mm
2"	50	-	100	100
1 ½"	38	-	95-100	95-100
1"	25	100	-	35-70
¾"	19	90-100	35-70	-
½"	13	-	-	10-30
⅜"	10	20-55	10-30	-
N° 4	4,8	0-10	0-5	0-5
N° 8	2,4	0-5	-	-

Fuente: Norma ASTM C33

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

TABLA 2.4.2 – 2: GRADACIÓN DEL AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C33

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

Fuente: Norma ASTM C33

❖ Módulo de finura

Es la caracterización de la composición granulométrica de un árido, según Abrams, que es el número que resulta de sumar los tantos por cientos retenidos en cada uno de los tamices y dividirlos entre cien. Se emplea una serie de tamices denominada serie Tyler, formada por 10 tamices de malla cuadrada, siendo la mayor de 3 pulg. (76,2 mm).

TABLA 2.4.2 – 4: MODULO DE FINURA DE LOS AGREGADOS

TAMAÑO	MODULO
Grava gruesa	7,5
Grava media	6,7
Grava fina	6,0
Arena gruesa	3,0
Arena media	2,5
Arena fina	1,5

Fuente: Norma ASTM C33

El módulo de finura disminuye a medida que disminuye el tamaño de árido; la determinación del módulo de finura (MF), se práctica según la A.S.T.M., deseando el material a temperatura no superior a 110 °C y pesando cierta cantidad, según se trate de arena o grava y se tamiza con la serie Tayler, se pesa el retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje.

$$MF = [\% \sum \text{Ret. (1 } \frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4)] / 100$$

$$MF = [\% \sum \text{Ret. (3/8'' + N}^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100 + N^{\circ}200)] / 100$$

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir hormigón debe estar entre 2,3 y 3,1.

❖ Tamaño máximo

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra. Como su nombre lo indica, es el tamaño de las partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregados y que en algunos casos puede ser único.

TABLA 2.4.2 – 5: TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo	Uso general
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1,0 m de espesor.
38 mm (1 ½")	Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 0,30 m a 1,00 m de espesor.
19 mm (¾")	Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 0,30 m de espesor.

Fuente: Norma ASTM C33

❖ **Tamaño máximo nominal**

Es un parámetro que deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

En muchos casos el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal pueden no coincidir, lo cual resulta perfectamente lógico debido a que este último indica el promedio de partículas más grandes en su fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo tan solo da una idea de las partículas más grandes que como se mencionó puede ser tan solo una.

❖ **Forma y textura superficial de los agregados**

La forma y textura es otra propiedad que influye en las características del hormigón, las piedras naturales sometidas a trituración tienen forma que varían desde aproximadamente cúbicas a las alargadas y aplanadas y de textura rugosa, mientras que los agregados de río tienen forma redondeada y textura lisa debido al proceso de arrastre a que han sido sometidas.

En cuanto a la forma, se puede decir que la ideal es la redondeada, desde el punto de vista del acomodamiento, se ha demostrado que en un metro cúbico de agregados redondeados sueltos pueden haber hasta un 25% más de material que en igual volumen de material de forma cúbica.

Por otro lado hay que tener cuidado con las partículas conocidas como “lajudas”, dichas partículas que generalmente son débiles porque poseen una estructura laminar, tienden a colocarse en forma horizontal dentro de la masa de hormigón y muchas veces impide la salida del agua evaporable durante el proceso de fraguado, generando bolas de aire lo que

origina una disminución de la resistencia. La norma define partícula larga y partícula plana como:

- Partícula larga: Aquella cuya relación entre longitud (L) y ancho (b) es mayor que 1,5

$$P.larga : \frac{L}{b} > 1,5$$

- Partícula plana: Aquella cuya relación entre espesor (e) y ancho (b) es menor que 0,5

$$P.plana : \frac{e}{b} < 0,5$$

La norma especifica que el porcentaje de partículas de forma indeseable (planas o alargadas), no debe exceder del 50% de la masa de agregado, y el porcentaje de forma lajuda no debe exceder a un máximo de 15%.

❖ **Densidad**

Es una propiedad física de los agregados y está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano del agregado.

Como generalmente las partículas de agregado tienen poros saturables como no saturables, que dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, se genera una serie de estados de humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad, la que más interesa en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables). El valor de la densidad de la roca madre normalmente varía entre 2,48 y 2,8 g/cm³.

❖ **Porosidad**

Es otra propiedad física de los agregados, muy importante dentro de la masa de hormigón porque una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta con lo que se afectan desfavorablemente propiedades como la adherencia, resistencia a la compresión y flexión, y además la durabilidad en todos sus aspectos (congelamiento y deshielo, humedecimiento y secado), así como la resistencia al desgaste o abrasión.

❖ **Absorción y humedad de la superficie**

Los agregados pueden tener algún grado de humedad, lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas, que a su vez depende del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros.

Las partículas de agregado pueden pasar por distintos estados de humedad como ser:

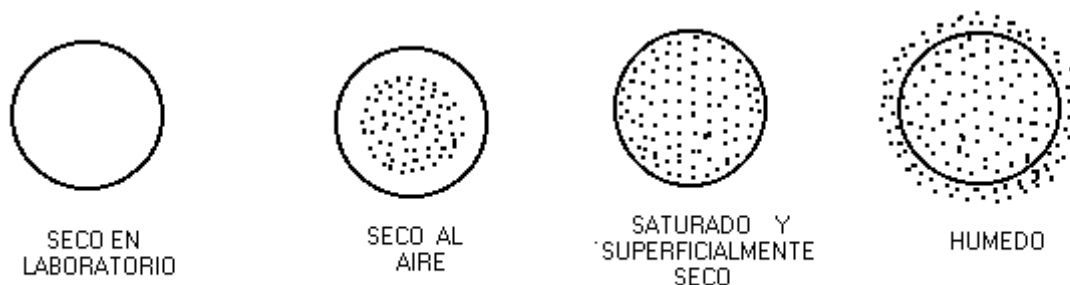
- Totalmente seco
Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante.
- Parcialmente húmedo
Se logra mediante exposición al aire libre.
- Saturado y superficialmente seco
Es un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos.
- Totalmente Húmedo
Todos los poros del agregado están llenos de agua y además existe agua libre superficial.

TABLA 2.4.2 – 6: PORCENTAJES DE ABSORCIÓN EN LOS AGREGADOS

Grava empleada Tipo de roca	Peso específico Sat. Y sup. Seca	Absorción %
Arenisca	2,47	5,0
Pizarra	2,75	1,2
Granito	2,67	0,5
Caliza	2,74	0,2
Cuarzo	2,65	0,3

Fuente: Norma ASTM

FIGURA 2.4.2 – 1: CONTENIDOS DE HUMEDAD EN AGREGADOS



❖ **Pesos unitarios**

Es una propiedad física importante porque indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre menor sea éste, menor será el volumen de vacíos entre partículas que hace que la mezcla sea económica, porque habrá menor cantidad de huecos a ser llenados con pasta de cemento. Mientras mayor sea el peso unitario habrá mayor cantidad de granos, lo cual depende de la granulometría, forma, textura y tamaño de los mismos.

El peso unitario es un factor que mida la aptitud del agregado para ser utilizado en la producción de hormigón y se determina por medio del procedimiento dado en la norma, su valor varía entre 1200 y 1750 kg/m³ para agregados naturales.

Existen dos tipos de pesos unitarios y dependen del grado de compactación del agregado y son:

- **Peso unitario suelto**

Se denomina PUS cuando para determinarlo se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela.

El concepto de PUS es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados.

- **Peso unitario compactado**

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por tanto el valor de la masa unitaria.

El PUC es importante desde el punto de vista de diseño de mezclas ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados, por cuanto éstos van a ser sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del hormigón.

❖ **Resistencia a la compresión**

Normalmente las partículas de agregado tienen una resistencia superior a la pasta endurecida, de tal manera que cuando el agregado falla antes que la pasta, la resistencia del agregado toma importancia.

Las posibles fallas de los granos se deben a que tienen estructura pobre o porque previamente se le han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación (cuando se explota con voladura) o también por un inadecuado proceso de trituración.

❖ **Resistencia a la abrasión**

La resistencia a la abrasión, desgaste o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben ser duros, este proceso se realiza por medio de la máquina de Los Ángeles.

2.5 Agua para mezclas de hormigón

El agua es el elemento por medio del cual, el cemento desarrolla sus propiedades aglutinantes, ya que en presencia de ella experimenta reacciones químicas dándole las características de fraguar y endurecer.

El agua se usa en la elaboración de hormigón para propósitos diferentes: Como agua de mezclado, como de agua de curado y como agua de lavado de los agregados. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto, 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica el hormigón y luego se evapora durante el proceso de fraguado. El agua de curado se utiliza después de que el hormigón ha fraguado y tiene como función la de seguir hidratando el cemento. El agua de lavado de los agregados no participa activamente en las mezclas pero es importante en el procesamiento de los agregados.

En términos generales, el agua a utilizar tanto en el mezclado como en el curado del concreto debe ser potable y cuando se trata de utilizar aguas cuyo comportamiento es desconocido se hace imprescindible su ensayo y comparación con aguas de reconocidas buenas características.

2.5.1 Agua de mezclado

Es aquella que se le agrega al cemento para formar la pasta. Tiene como funciones hidratar el cemento y proporcionar una fluidez a la mezcla tal que, con una lubricación adecuada de los agregados, se obtenga la manejabilidad del concreto deseada cuando este se encuentre en estado fresco.

La fluidez de la pasta depende de la cantidad de agua de mezclado, si se aumenta esta cantidad sin modificar el contenido de cemento, la parte de agua de hidratación del cemento permanece constante, incrementándose así la parte de agua evaporable; cierta porción de esta queda atrapada en el interior del hormigón y al producirse la evaporación se forma una serie de conductos capilares que se llenan de aire, generando un concreto endurecido poroso, menos resistente y más permeable.

❖ Características

Cualquier agua natural que sea apta para el consumo humano y no tenga sabor u olor fuerte puede ser usada para la elaboración de hormigón, sin que esto implique que el agua adecuada para la elaboración de la pasta sea potable (como un agua con contenido de azúcares).

Las impurezas que puede haber disueltas en el agua o presentes en forma de suspensiones, tales como azúcar, ácidos, sales, materia vegetal, aceites, sulfatos, etc. pueden interferir con la hidratación del cemento retrasando así el tiempo de fraguado y reduciendo la resistencia del concreto.

2.5.2 Agua de curado

El proceso de hidratación la partícula de cemento no se hidrata totalmente sino que, a medida que entre en contacto con el agua, se va formando una película superficial quedando en el interior una porción sin reaccionar y por tanto inerte. Para que este núcleo reaccione es necesario lograr un abastecimiento adicional de agua durante las etapas tempranas de endurecimiento después del proceso de fraguado y lograr así que el cemento desarrolle todo su potencial aglutinante. A dicho suministro de agua se denomina proceso de curado del concreto, a la que se utiliza para tal fin, agua de curado.

❖ Características

Los requerimientos para el agua de curado son menos exigentes que aquéllos usualmente utilizados para el agua de mezclado, principalmente porque el agua de curado está en contacto con el concreto por un periodo de tiempo relativamente corto.

2.5.3 Calidad del agua

Se presenta un resumen de valores máximos recomendados de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado y los ensayos requeridos para la misma.

TABLA 2.5.3-1: ENSAYOS REQUERIDOS PARA EL AGUA DE MEZCLADO

ENSAYOS NORMALMENTE ESPECIFICADOS PARA ANÁLISIS DEL AGUA DE MEZCLADO PARA HORMIGÓN	
TIPOS DE IMPUREZA	NORMA ASTM
Calcio y magnesio	D 511
Cloruros	D 512
Sulfatos	D 516
PH	D 1293
Acidez y alcalinidad	D 1067
Partículas y materia disuelta disuelta en el agua	D 1888
Definición de términos relativos al agua	D 1129

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

TABLA 2.5.3-2: VALORES DE IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLADO

VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS DE CONCENTRACIONES DE IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLADO PARA HORMIGÓN	
TIPO DE IMPUREZA	Valor Máximo Recomendado
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 ppm
Cloruros	
- Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas	20000 ppm
- Concreto pretensado	500 ppm
- Estructuras con elementos galvanizados y de aluminio	1000 ppm
Sulfato de Sodio	10000 ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Cloruro de magnesio	40000 ppm
Cloruro de calcio	30000 ppm
Sales de hierro	40000 ppm
Sulfato de magnesio	25000 ppm
Sales de magnesio, estaño, zinc cobre y plomo	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Agua de mar	
- Para concreto no reforzado	35000 ppm
- Para concreto pretensado o reforzado	No se recomienda
PH	6,0 a 8,0

Ácidos inorgánicos (ácido sulfúrico)	10000 ppm
Hidróxido de sodio (por peso de cemento)	0,50%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento)	1,20%
Aguas sanitarias	20 ppm%
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2000 ppm
Aceite mineral (por peso de cemento)	2%
Agua con algas	No se recomienda

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

2.6 Aditivos

Son aquellos materiales distintos al agua, los agregados o el cemento que se utilizan como ingredientes en concretos y morteros, se añaden a la mezcla antes o durante su mezclado.

Características que se pueden mejorar con ayuda de aditivos:

Estado fresco: manejabilidad, consistencia, plasticidad, velocidad de endurecimiento, segregación, exudación.

Estado endurecido: resistencia a compresión, resistencia a flexión, resistencia a tensión, durabilidad, permeabilidad, humedecimiento-secado, congelamiento y deshielo.

2.7 Dosificación de hormigones

Un buen hormigón es aquel que resulta satisfactorio tanto en sus estados: Fresco y endurecido.

Las condiciones relativas al estado fresco residen en que el grado de humedad de la mezcla sea el adecuado para que el hormigón pueda ser transportado, se pueda compactar por medios apropiados con el mínimo de energía posible, y además tenga cohesión suficiente, según el método de colocación utilizado, para que no se produzca segregación o exudación.

Un buen hormigón en estado endurecido debe tener una resistencia a la compresión satisfactoria y una durabilidad adecuada. Por lo común la resistencia es el factor más importante, pero esta característica va encaminada no sólo a soportar un esfuerzo a la compresión prescrito, sino también garantizar otras propiedades en el concreto que están directamente relacionadas con una alta resistencia. Por otro lado es necesario que el hormigón sea durable, es decir, que resista sin sufrir deterioro con el tiempo, las condiciones para las cuales se ha proyectado.

❖ Clasificación del hormigón

a) Densidad

- Hormigón de peso liviano: Aquél cuyo peso unitario es menor que 2000 kg/m^3 .
- Hormigón de peso normal: Aquél cuyo peso unitario está entre 2000 kg/m^3 y 2600 kg/m^3 .
- Hormigón pesado: Aquél cuyo peso unitario es mayor que 2600 kg/m^3 .

b) Consistencia

Es una medida indirecta de la trabajabilidad de una mezcla de hormigón y se mide por medio del ensayo de asentamiento.

TABLA 2.7-1: CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR SU CONSISTENCIA

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de Concreto)	Grado de Trabajabilidad	Tipo de Estructura y Colocación
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y construidos con máquina extrusora.
3,5 - 5,0	Semi - seca	Pequeño	Construcción en masa voluminosa, losas medianamente reforzadas con vibración, fundaciones en concreto simple, pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas, pavimentos, compactados a mano, columnas vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo demasiado.

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

c) Resistencia

De acuerdo al Código Boliviano de Hormigón (CBH – 87), los hormigones se tipifican, de acuerdo con su resistencia de proyecto a compresión, a los 28 días, en probetas cilíndricas normales, según la siguiente serie:

H12,5; H15; H17,5; H20; H25; H30; H35; H40; H45; H50; H55

Donde las cifras correspondientes a las resistencias de proyecto, f_{ck} , en MPa.

El ingeniero Vitervo O'Reilly, hace una referencia a la clasificación de hormigones por su resistencia a la compresión a los 28 días de la siguiente manera:

- Hormigón normal: Aquél con una resistencia entre 140 kg/cm^2 (2000 psi) y 350 kg/cm^2 (5000 psi).
- Hormigón de alta resistencia: Aquél con una resistencia entre 350 kg/cm^2 (5000 psi) y 1000 kg/cm^2 (14000 psi).
- Hormigón de ultra alta resistencia: Aquél con una resistencia superior a 1000 kg/cm^2 (14000 psi).

2.7.1 Hormigón fresco

❖ Trabajabilidad o manejabilidad

Se define como el grado de facilidad o dificultad con que el concreto puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin que pierda su homogeneidad. De ahí que se puede notar que la trabajabilidad puede ser considerada como una combinación de varias propiedades:

- La compactabilidad, se refiere a la facilidad con la que el aire atrapado en la mezcla puede ser expulsado.
- La movilidad, es la facilidad con la que el hormigón puede fluir alrededor del acero de refuerzo, dentro de las formaletas, encofrado, etc.
- La cohesividad, es la resistencia de una mezcla de hormigón a la segregación y/o exudación.
- La consistencia, se refiere al estado de fluidez, o sea, al grado de humedad de la mezcla, es decir, que tan seca o fluida es una mezcla de hormigón.
- La plasticidad, es la propiedad del hormigón que le permite ser fácilmente moldeado, y que a la vez puede cambiar de forma lentamente si se saca del molde en estado fresco.

Los factores que influyen en la trabajabilidad son:

- a) Gradación de los agregados
- b) Forma y textura superficial de los agregados
- c) Contenido de aire

- d) Contenido de aditivos
- e) Fluidez de la pasta
- f) Cantidades relativas de pasta y agregados
- g) Relación arena – agregado total
- h) Factores externos

Como no existe una forma directa de medir esta propiedad, se han desarrollado ensayos que permiten hacer una correlación entre la manejabilidad con otra característica, el ensayo más conveniente y utilizado es el de asentamiento, el cual mide con bastante aproximación la consistencia o grado de humedad de una mezcla.

❖ **Segregación del concreto**

Es la separación de sus constituyentes por falta de cohesividad, de manera que su distribución deja de ser uniforme.

Las principales causas de segregación en el concreto son la diferencia en tamaño de las partículas, la densidad de los constituyentes de la mezcla y una mala gradación de los agregados. Asimismo, pueden influir otros factores como un mal mezclado, un adecuado sistema de transporte, una colocación deficiente y un exceso de vibración en la compactación.

Se puede presentar de dos formas. La primera ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea porque se desplazan a lo largo de una pendiente o porque se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo ocurre particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de la pasta de los agregados.

❖ **Exudación o sangrado del hormigón**

Se considera como una forma de segregación, en la que una parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla recién colada. Esto se debe a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación de la mezcla trae consecuencias nocivas. Por un lado la parte superior de una porción de hormigón se vuelve demasiado húmeda, lo que conlleva a estructuras porosas, débiles y poco durables. Por otra parte, si la evaporación de agua en la superficie del

concreto es más rápido que la velocidad de exudación, se producen grietas plásticas de contracción.

Otro problema que se genera con la elevación del agua es que se puede quedar atrapado debajo de las partículas gruesas de agregado o del acero de refuerzo, lo que genera zonas de baja adherencia y por lo tanto una eventual disminución en la resistencia. Adicionalmente, el agua deja tras de sí conductos capilares que incrementan la permeabilidad de la masa de concreto.

❖ **Proceso de fraguado y endurecimiento**

En general, el hormigón fresco debe permanecer lo suficientemente plástico durante un tiempo, por lo menos media hora y preferiblemente una hora, para que pueda ser manejado y consolidado convenientemente. Después de este tiempo, y dejada la mezcla en reposo, comienza el proceso de endurecimiento normal hasta que se dice que “ha fraguado”. Sin embargo, bajo condiciones normales y pasadas varias horas del primer mezclado, el concreto que ha endurecido considerablemente puede ser replastificado y consolidado por vibración o remezclado. Es conveniente definir el punto en el cual el concreto fragua o pasa de estado plástico al estado endurecido.

2.7.2 Concreto endurecido

❖ **Resistencia**

Es la propiedad más importante del hormigón, porque influye en forma directa en las demás características de significado práctico. En general, los concretos más resistentes son más densos, menos permeables, y más resistentes al interperismo y ciertos agentes destructivos; pero por otro lado exhiben mayor contracción por fraguado y menor extensibilidad, por lo tanto son más propensos al agrietamiento.

La resistencia del hormigón es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se puede considerar de cuatro maneras: compresión, tracción, flexión y corte, como el hormigón presenta una alta resistencia a la compresión simple, se estudian las demás propiedades a partir de ésta.

La resistencia a la compresión especificada a los 28 días, para un tipo individual de hormigón, es la resistencia que se espera sea igualada o sobrepasada.

Los factores que inciden en la resistencia del hormigón son:

a) Tipo y cantidad de cemento

- b) Relación agua / cemento
- c) Características de los agregados
- d) Agua
- e) Influencia del fraguado del hormigón
- f) Curado del hormigón
- g) Influencia de la edad del hormigón

**ABLA 2.7.2-1: INCREMENTO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN CON
RESPECTO AL TIEMPO**

INCREMENTO APROXIMADO PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON EL TIEMPO	
EDAD (DIAS)	% RESISTENCIA CON RESPECTO A LA DE 28 DIAS
1	12
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

La resistencia a las edades de 7 y 28 días se pueden relacionar mediante la fórmula que se muestra a continuación, teniendo en cuenta que es una relación aproximada ya que a edades tempranas influyen notablemente las propiedades del cemento, la relación agua/cemento, la temperatura, la humedad, los aditivos, etc.:

$$Resis. 28 = a + b * Resist. 7 (kg/cm^2)$$

Siendo a y b constantes que dependen de los factores anteriormente mencionados.

❖ **Medida de la resistencia**

En términos generales, la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que el concreto resiste únicamente esfuerzos de compresión; por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad, y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.

La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas, con una prensa que aplica carga sobre la superficie de una probeta cilíndrica de hormigón a una velocidad especificada mientras ocurre la falla, la operación ocurre entre 2 y 3 minutos y se registra la carga a la que la probeta falla. La resistencia a la compresión también se puede medir con muestras cúbicas o prismáticas.

2.7.3 Dosificación

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, de manera de obtener las condiciones previstas para el hormigón.

Estas proporciones son particulares de cada obra o parte de obra, pero generalmente corresponden a las que se señalan en el siguiente cuadro:

TABLA 2.7.3-1: CONDICIONES PARA DOSIFICACIÓN

Tipo De Condición	Características Relacionadas	Parámetros Condicionantes
Condiciones de diseño	Resistencia	Tipo de cemento Razón agua/cemento
Condiciones de uso en obra	Docilidad Fluidez Consistencia Características elemento	Dosis de agua Granulometría Tamaño máximo
Condiciones de durabilidad	Condiciones ambientales Ataques agresivos	Tipo de cemento Uso aditivos Dosis mínima cemento

Fuente: Universidad Católica de Chile - Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción

<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/dosifT6.htm>

❖ **Determinación de las condiciones de partida de la dosificación**

Las dos primeras de estas condiciones deben ser definidas por el usuario de acuerdo a las características de la obra, en base a las siguientes premisas:

a) Tipo de cemento: Queda definido básicamente por la existencia de un ambiente que pueda generar acciones agresivas sobre el hormigón. Eventualmente puede ser necesario considerar la elección de un cemento alta resistencia, si las condiciones de obra requieran de resistencias iniciales más elevadas que las que puede otorgar un cemento corriente.

b) Uso de aditivos: Para el uso eventual de aditivos deben considerarse los principios establecidos para su uso.

2.8 Metodología y procedimientos para la investigación

2.8.1 Dosificación de la mezcla de hormigón método ACI 211

La dosificación de mezclas de hormigón, es la determinación de la combinación más económica y práctica de los agregados disponibles, cemento y agua, que producirá una mezcla con un endurecimiento adecuado. El procedimiento más práctico es determinar la mezcla y hacer correcciones necesarias en obra.

La dosificación de la mezcla de prueba, puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

El objetivo general de este proyecto es el de determinar la preparación óptima de estos hormigones, para diferentes requerimientos y comparaciones.

A continuación se explica la metodología de dosificación para hormigones presentada por el comité ACI – 211, asimismo, se debe tomar en cuenta que un diseño, en el sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser estimadas con exactitud en forma cuantitativa.

El método a emplearse en la dosificación es ACI 211.

❖ Selección de la resistencia del hormigón f_{ck} y f_{cm}

La resistencia característica es un dato de partida a la hora de diseñar la mezcla, viene determinado por el proyectista de la obra, y si no se dice nada en contra, se entiende que es la resistencia característica, que se define, como aquel valor de la resistencia que tiene el 95% de probabilidades de ser superada.

El ACI – 318 indica que el hormigón debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio (f_{cm}) lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de los resultados de pruebas de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del hormigón o resistencia característica.

Si no hay registros de pruebas de resistencia en donde se usaron materiales y condiciones similares a aquellas que serán empleadas, la resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en kg/cm^2 se debe determinar de acuerdo:

TABLA 2.8.1-1: RESISTENCIA DE DISEÑO f_{cm}

Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar (a)	
Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70$ kg/cm ²
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100$ kg/cm ²

Fuente: Código ACI 211

❖ Selección del asentamiento

Las primeras consideraciones que se deben tomar en cuenta para especificar una consistencia determinada en el concreto fresco, son el tamaño de la sección que se va construir y la cantidad y espaciamiento del acero de refuerzo.

El segundo aspecto que se debe considerar son las condiciones de colocación, ya que hoy en día existen múltiples sistemas de vaciado que requieren de una mayor o menor plasticidad de la mezcla, lo cual, como es sabido, depende en gran parte del contenido de finos.

El tercer aspecto es el sistema de compactación debido a que la máxima resistencia se logra cuando la masa unitaria del hormigón es máxima.

Los valores de asentamiento indicados en esta tabla se aplican cuando el concreto va a ser consolidado por vibración. Si se emplean otros medios de compactación diferentes a la vibración mecánica, los datos de esta tabla se deben aumentar en 2,5 cm (1"). Como regla general y por razones de economía el menor asentamiento que permita una adecuada colocación es el que debe ser seleccionado.

Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación

Consistencia	Asentamiento mm.	Ejemplo de Tipo de construcción	Sistema De colocación	Sistema de compactación

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

TABLA 2.8.1-2: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS

Fuente: Código ACI 211

❖ Selección del tamaño máximo del agregado

De acuerdo con el criterio del ACI – 211, los agregados bien graduados de tamaño máximo tienen menos vacíos que los de tamaños menores. He aquí que los concretos con agregado de mayor tamaño requieran menos mortero por unidad de volumen de concreto.

Por lo tanto, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura.

En relación con la geometría y el refuerzo de las estructuras, el tamaño máximo del agregado se selecciona de acuerdo con la estrechez de los espacios por los que debe desplazarse el hormigón durante su colocación, de modo que el agregado grueso no sufra obstrucciones y pueda distribuirse uniformemente en todas direcciones. Para ello, deben considerarse aspectos tales como lo angosto de las secciones y las distancias mínimas entre varillas del refuerzo y entre éstas el recubrimiento.

A continuación se dan algunas consideraciones para adoptar el tamaño máximo del agregado:

TABLA 2.8.1-3: TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

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

Fuente: Código ACI 211

❖ Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire

Como se mencionó anteriormente el agua de mezclado cumple dos funciones principales en una mezcla de hormigón, una es hidratar las partículas de cemento, y la otra, producir la fluidez necesaria.

La cantidad de agua por volumen de concreto requerida para producir un revenimiento dado depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido. Estas estimaciones están proporcionadas por tablas.

TABLA 2.8.1-4: CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO PARA AGREGADOS DE CANTO RODADO Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Código ACI 211

TABLA 2.8.1-5: CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO PARA AGREGADOS DE TRITURACIÓN Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	15	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: Código ACI 211

TABLA 2.8.1-6: CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO PARA AGREGADOS DE CANTO RODADO Y CON INCLUSIÓN DE AIRE

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	188	161	151	134	129	121	119	113
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134
175	7	213	194	181	167	161	150	146	139
200	8	219	201	196	174	167	156	152	144

Fuente: Código ACI 211

TABLA 2.8.1-7: CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO PARA AGREGADOS DE TRITURACIÓN Y CON INCLUSIÓN DE AIRE

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	177	169	158

Fuente: Código ACI 211

❖ Selección de la relación agua – cemento

Debido a que la resistencia del hormigón se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfaces de adherencia pasta – agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua/cemento. Por esta razón, es importante conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua/cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades (por ejemplo 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días).

Estos se determinan no sólo por los requerimientos de resistencia sino por factores como la durabilidad y las propiedades del acabado, ya que en diferentes agregados y cementos generalmente producen resistencias distintas con la misma relación agua cemento.

Es altamente recomendable conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua cemento para los materiales a usarse, en ausencia de tal información se toman valores aproximados y relativamente conservadores para concreto, conteniendo Cemento Portland Tipo I que se indica en tablas.

Por otra parte, la relación agua/cemento no sólo determina los requisitos de resistencia, sino también factores pertinentes a la durabilidad y propiedades para el acabado del hormigón, debido a que éste debe ser capaz de soportar aquellas exposiciones que puedan despojarlo de su capacidad de servicio, tales como: congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento, agentes anticongelantes, resistencia a la abrasión y sustancias químicas agresivas, entre otras.

TABLA 2.8.1-8: RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN HORMIGONES SIN AIRE
INCLUIDO

Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente: Código ACI 211

TABLA 2.8.1-9: RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN HORMIGONES SIN AIRE
INCLUIDO

Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,65	0,58
175	-	0,59	0,52
210	0,65	0,54	0,49
245	0,61	0,50	0,46
280	0,55	0,44	0,41
315	0,51	0,41	0,39
350	0,46	0,37	0,36

Fuente: Código ACI 211

❖ **Cálculo del contenido de cemento**

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones efectuadas en los pasos 2.9.1.4 y 2.9.1.5.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (2.9.1.4), dividido entre la relación “agua/cemento” (2.9.1.5). Sí, no obstante la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

$$C = A/(A/C)$$

Dónde:

C = Contenido de cemento en kg/m³.

A = Requerimiento de agua de mezclado en kg/m³.

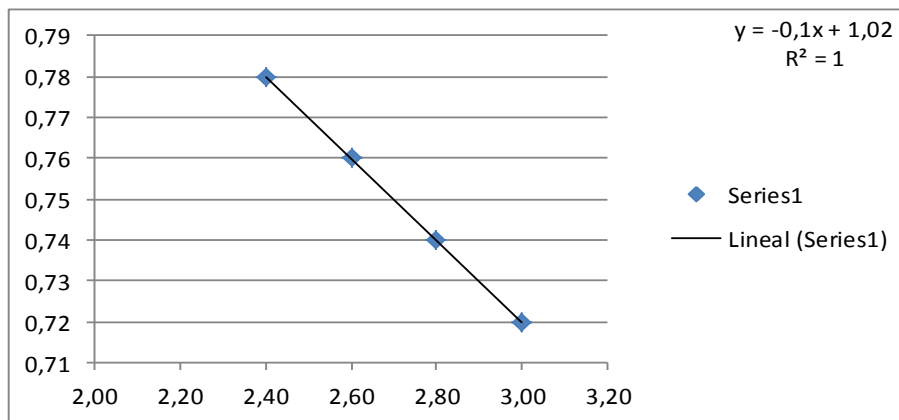
A/C = Relación agua/cemento, por peso.

❖ **Estimación del contenido de agregado grueso**

Los agregados similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de agregado grueso y seco, compactado con varilla por volumen unitario de concreto.

TABLA 2.8.1-10: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152,0	6"	0,87	0,85	0,83	0,81



Fuente: Código ACI 211

❖ Estimación del contenido de agregado fino

Si el peso del volumen unitario de concreto se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Por lo general, sobre la base de experiencias anteriores con materiales, se conoce el peso unitario del concreto con una precisión razonable, si no se cuenta con esta información se puede utilizar datos tabulados.

TABLA 2.8.1-11: VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES DE HORMIGÓN

Peso Seco y Volumen Absoluto de los Ingredientes por Metro Cúbico de Hormigón			
Componente	Peso seco	Peso	Volumen
Cemento	P_c	G_c	V_c
Agua	P_a	1.0	V_a
Contenido de aire	-	-	A
Agregado grueso	P_{ag}	G_{ag}	V_{ag}
Agregado fino	P_{af}	G_{af}	V_{af}
TOTAL	P_u		1.000

Fuente: Código ACI 211

❖ Ajustes a las mezclas de prueba

En la obra es común que por las condiciones de los agregados es posible que la cantidad de agua calculada sea demasiado o por lo contrario sea poco. En tales casos debe realizarse una corrección en las proporciones calculadas.

2.8.2 Criterios y metodología para la dosificación del hormigón con cascote de ladrillo

Como se sabe, para el hormigón con cascote de ladrillo no existe una metodología, una normativa o una guía específica a seguir, para basándose en la misma se pueda conseguir una correcta dosificación, es por eso que este análisis se vuelve comparativo y parte de una mezcla del hormigón patrón.

Sólo se cuenta con algunos elementos datos y criterios a través de los cuales, y con algunos criterios recogidos en los ensayos de laboratorio, se realizará una dosificación de mezclas de prueba que permitan llegar a los valores óptimos que se plantean, en lo que se refiere a características físicas y mecánicas, como así también en la calidad del hormigón en lo que se refiere a su resistencia y permeabilidad.

❖ Criterios considerados en los materiales

a) Cemento

A diferencia del hormigón convencional, el contenido total de pasta en el concreto permeable es menor que el contenido de vacíos en los agregados.

El Cemento que se utilizará para la realización de los ensayos es el Cemento Portland de El Puente tipo IP – 30, dicho producto cumple las especificaciones Técnicas de la Norma Boliviana NB – 011, y es apto para la elaboración de hormigones.

Es un producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana.

Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.

Tiene mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos.

La presentación viene en bolsas de 50 Kg.

b) Agregado grueso

El agregado a utilizar será duro, lavado, redondeado y de forma cúbica, no debiendo tener arcillas, arenas ni carbonillas.

Mientras se cumplan las especificaciones procedentes podrá utilizarse tanto agregados ordinarios (pesados), como agregados livianos, lográndose una mayor disminución del peso específico del hormigón que se elabora.

El Agregado Grueso a utilizar en los ensayos de laboratorio es grava procedente del Banco del Río Guadalquivir zona San Blas y sus propiedades físicas y mecánicas obtenidas en laboratorio se presentaran en el capítulo siguiente, sin embargo se puede definir de la siguiente manera: Arenisca micácea con matriz arcillosa, contenido mínimo de materia ferrosa y dureza 5 en la escala de Mohs y consolidación por contacto.

c) Agregado fino

El tipo de agregado a utilizar será lavado, redondeado y forma cubica, no debiendo contener limos o arcillas que perjudiquen la hidratación de la pasta de cemento.

El Agregado Fino a utilizar en los ensayos de laboratorio es arena procedente del Banco del Río Guadalquivir zona San Blas y sus propiedades físicas y mecánicas obtenidas en laboratorio se presentaran en el capítulo siguiente, sin embargo se puede definir de la siguiente manera: Arena silícica de origen conglomerante, con fragmentos de cuarcita, lutita y cristales de cuarzo.

d) Cascotes de ladrillo

Es un agregado procedente del machaqueo de material de mayor tamaño; sin embargo se tomarán las mismas consideraciones que el agregado grueso, es un material semiduro, lavado, de geometría angular y textura rugosa.

El material a utilizar en los ensayos de laboratorio será procedente del desecho de fábricas de ladrillo de la ciudad y será sometido al proceso de machaqueo para así obtener el agregado que se utilizará para dosificar.

Es ladrillo triturado, está conformado por un 80% de arcilla, con el agregado del material ligante, como estiércol cascarillas de cereales entre otros, más impurezas. Químicamente la arcilla está compuesta por: 45% a 70% de sílice, 10% a 40% de alúmina y 10% a 20% de agua.

e) Agua

La cantidad de agua en este tipo de hormigón es importante puesto que demasiada agua en la mezcla puede causar que los poros colapsen, y el agregado se lave, mientras que una cantidad inadecuada de agua impide un curado adecuado y ello puede llevar a una falla prematura de la superficie por una apreciable disminución de las adherencias. Por lo que el agua a utilizar será la mínima necesaria para recubrir cada elemento de agregado con una fina película de lechada de cemento.

Para tal efecto se utilizará el agua potable de la Zona del Tejar, cuyas características se describen a continuación:

TABLA 2.8.2-1: ANÁLISIS DEL AGUA POTABLE EN LA CIUDAD

Análisis Físico Químico del Agua Potable en la Ciudad de Tarija		
Parámetro de Análisis	Resultados	Unidades
Aspecto	Limpia Cristalina	
Olor	Inodoro	
PH	6,08	
Sólido Total	33	mg/l
Calcio	1	mg/l
Cloruro	7,9	mg/l
Magnesio	2,8	mg/l
Impureza Total	3,8	mg/l
Alcalinidad Total	13,2	mg/l
Índice de Langelier	-1,95	No Corrosiva

Fuente: COSSALT Ltda.

❖ Criterios considerados en la elaboración y colocado

La dosificación a utilizar corresponderá a la de un hormigón tipo A (210 kg/cm^2) que se considerará como hormigón patrón, y se reemplazará el agregado grueso (grava) por el cascote de ladrillo de manera porcentual para así realizar las comparaciones necesarias de

diferentes maneras siempre tomando en cuenta y partiendo de la dosificación del hormigón patrón.

Una vez determinada la dosificación más conveniente para preparar la masa de hormigón, hay que medir los materiales. El agua se mide en volumen; el cemento y los agregados en peso; si bien estos últimos pueden dosificarse también en volumen para obras de poca importancia.

En este caso la dosificación será realizada en peso; pero dado el caso que se utilizará un agregado diferente para reemplazar a uno normal y además que de acuerdo a ensayos de laboratorio a realizar se demostrará la diferencia de pesos específicos, es por eso que dicho reemplazo se realizará en volumen a fin de no alterar las proporciones de la dosificación del hormigón patrón. El hormigón debe amasarse en hormigonera, siendo conveniente, por razones de homogeneidad, verter los materiales en el orden siguiente:

- Una parte de la dosis de agua (aproximadamente la mitad)
- El cemento y la arena simultáneamente
- El agregado grueso (grava, ladrillo o la combinación de ambos)
- El resto del agua

La duración del amasado debe ser la necesaria para conseguir una mezcla íntima y homogénea de los distintos componentes, debiendo resultar el agregado bien cubierto por la pasta de cemento. Ello requiere en general un tiempo de amasado del orden del minuto y medio; como mínimo.

Algunos tiempos de mezclado recomendados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 2.8.2-2: TIEMPOS DE MEZCLADO RECOMENDADOS

TIEMPOS MÍNIMOS DE MEZCLADO RECOMENDADOS	
CAPACIDAD DE LA MEZCLADORA EN M ³	TIEMPO DE MEZCLADO EN MINUTOS
0,8	1
1,5	1 1/4
2,3	1 1/2
3,1	1 3/4
3,8	2
4,6	2 1/4
7,6	3 1/4

Fuente: Tecnología del Hormigón (Vitervo O'Reilly)

El transporte del hormigón desde la mezcladora hasta el lugar de colocación, puede hacerse por múltiples procedimientos, entre los que pueden citarse las carretillas, baldes, camiones, canaletas, cintas transportadoras, tuberías y otros.

Cualesquiera sean las formas de transporte, deben cumplirse las condiciones siguientes:

1. No debe transcurrir mucho tiempo entre el amasado y la puesta en obra del hormigón. Generalmente dicho intervalo no será superior de una hora cuando se empleen cementos portland comunes.
2. Durante el transporte no deben segregarse los áridos gruesos, lo que provocaría en el hormigón pérdidas de homogeneidad y resistencia. La resistencia y choques favorecen siempre a la segregación, por lo que a veces será necesario prever una suspensión especial en los vehículos de transporte.
3. Debe evitarse en lo posible que el hormigón seque durante el transporte.
4. Como características de la masa del principio al final de cada descarga de la amasadora, no es conveniente dividir una misma amasada en distintos recipientes para su transporte.
5. Si al llegar al lugar de colocación, el hormigón acusa un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra.

El vertido y colocación del hormigón deben efectuarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla. El peligro de la disgregación es mayor, en general, cuanto más grueso es el agregado y más discontinua su granulometría, siendo sus consecuencias peores cuanto menor es la sección del elemento que se hormigona. Se tienen las siguientes recomendaciones:

- a) El vertido no debe efectuarse de gran altura (uno o dos metros como máximo en caída libre), procurando que su dirección sea vertical y evitando desplazamientos horizontales de la masa.
- b) La colocación se efectuará por capas de espesor inferior al que permita al que permita una buena compactación de la masa (en general, de 20 a 30 cm sin superar los 40 cm cuando se trate de hormigón en masa, ni lo 60 cm en hormigón armado).
- c) No se arrojará el hormigón con pala a gran distancia, ni se distribuirá con rastrillos para no disgregarlo.

d) En las piezas muy armadas y, en general, cuando las condiciones de colocación son difíciles, puede ser conveniente para evitar cangrejas y falta de adherencia con las armaduras, colocar primero una capa de hormigón pobre de 2 o 3 cm para verter luego el hormigón normal.

❖ **Criterios considerados en el curado del hormigón**

El desarrollo potencial de resistencias del hormigón y su durabilidad se producen gracias a la reacción química del agua con el cemento; por lo tanto será necesario proteger el hormigón durante el tiempo necesario para que adquiriera las resistencias requeridas en condiciones de humedad y temperatura en un proceso continuo que se denomina curado.

Relacionando lo expuesto anteriormente, hay tres condiciones básicas:

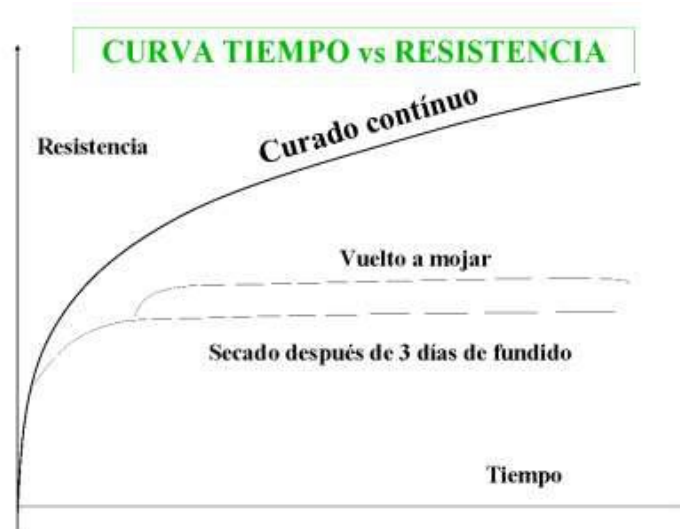
- Los hormigones deben estar suficientemente húmedos para garantizar la hidratación del cemento, en lo posible que esté saturado (100 % de humedad) o cerca de ello, ya que sólo así evitaremos pérdida de humedad de la superficie del hormigón por evaporación.
- Una temperatura adecuada que le permitirá una buena hidratación del cemento. Cuando los diferenciales de temperatura del hormigón sean muy grandes, seguro favorecerá la pérdida de humedad por evaporación.
- Oportunidad en la iniciación del curado; se recomienda iniciar lo más pronto posible; en el hormigón es factible hacerlo tan pronto éste reabsorbe el agua de exudación.

❖ **Relación entre el curado y desarrollo de resistencias**

Si sabemos que la reacción química del agua con el cemento desarrolla resistencia, en los primeros 7 días de edad prácticamente desarrollará cerca del 80% de la resistencia especificada para los 28 días; es decir, esto se cumplirá si se dio un curado adecuado.

Por eso, mientras más tardemos en iniciar el curado, menor potencial de resistencia disponemos.

FIGURA 2.8.2-1 CURVA TIEMPO - RESISTENCIA



Como podemos apreciar, el curado continuo permite que el hormigón desarrolle el máximo de su resistencia potencial; es decir no se debe permitir que el hormigón se seque en ningún momento. Si permitimos que el hormigón se seque, se detiene por completo la reacción química del agua con el cemento y deja de ganar resistencia. Mojar el hormigón después de que se haya secado sólo permite rescatar una pequeña parte de su resistencia potencial. De ninguna manera se va a conseguir recuperar la resistencia que podría tener la mezcla con el curado continuo.

El curado se puede realizar de varias maneras:

- Mojar la estructura permanentemente (Esto no siempre es posible).
- Cubrir las estructuras con telas de plástico bien apegadas a la superficie (hay que asegurarse que no haya circulación de aire entre el plástico y el hormigón).
- Cubrir con pinturas impermeables la superficie del hormigón (estas pinturas son especiales y están a disposición en cualquier comercio de aditivos a precios accesibles)
- Mientras el hormigón está fresco, evitar contacto con sustancias agresivas (Aguas servidas, desechos industriales, aguas sulfurosas, etc.)

El objetivo fundamental es evitar que la mezcla se seque antes de que haya ganado la resistencia requerida.

❖ **Dosificación de mezclas de hormigón con cascotes de ladrillo**

A fin de simplificar el trabajo de investigación en su parte experimental, se tendrá que tomar en cuenta algunos criterios y consideraciones para volver constantes algunas

variables y poner en claro todas las condiciones que tienen que seguir los materiales y mezclas preparadas, para poder realizar la comparación final en los resultados que se obtengan. Para esto se realizarán mezclas de prueba partiendo de un factor común que es la dosificación del hormigón patrón, que como se verá más adelante corresponde en proporciones a una dosificación 1:2:3,9 para un hormigón A 210.

Como se mencionó, a efectos prácticos se mantendrán constantes las cantidades de cemento y arena, variando de forma gradual el contenido de agregado grueso, reemplazándolo por el cascote de ladrillo inicialmente en un 15%, luego un 25% y luego un 50%, no así en su totalidad a efectos de no reducir demasiado la resistencia del hormigón convencional, pero asegurando que se reduzca el peso volumétrico del mismo de manera significativa.

Dicho material será reemplazado en volumen, no en peso, por lo que las proporciones de los materiales a utilizar quedarán iguales a las cantidades iniciales obtenidas en los cálculos de dosificación.

Otra variable que aparece en este caso será la cantidad de agua de amasado debido a las características constituyentes del ladrillo, por lo cual se deberá realizar un control a fin de que la mezcla que se obtenga sea de similares características a la convencional.

CAPÍTULO III
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Generalidades

Este capítulo abarca todo cuanto se refiere a la parte práctica de ensayos efectuados en laboratorio, como también a los procedimientos de dosificación de mezclas de hormigón; los cuales se detallan a continuación:

- Detalle de las planillas de caracterización correspondiente a los materiales componentes de las mezclas de prueba.

Son planillas estandarizadas por el laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS, en las cuales se muestra cada uno de los resultados requeridos para poder abarcar el estudio y conseguir los objetivos propuestos.

- Detalle del cálculo de la dosificación para realizar la mezcla de prueba del hormigón patrón, que sirve de base para el hormigón con cascote de ladrillo.
- Detalle de las planillas que contienen los resultados de roturas de los hormigones, que se procesaron para obtener los datos y resultados de compresión requeridos.
- Diagramas de los resultados de resistencia obtenidos.
- Diagramas comparativos de los resultados de las mezclas.

3.2 Ensayos a los componentes del hormigón para caracterización de los componentes de la mezcla

3.2.1 Determinación de la finura del cemento

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

✓ **Equipo utilizado**

1 Tamiz N° 200

1 Balanza de capacidad de 100 gr. y una sensibilidad al 0.5

1 Brocha

✓ **Procedimiento**

- Pesar 50 gr de cemento para determinar finura
- Agitar la muestra utilizando el tamiz de malla N° 200 con tapa y base imprimiendo con ambas manos con movimientos verticales y horizontales con golpes de vez en cuando.
- Se quita la tapa y se separa la malla N° 200 vaciando la fracción de cemento que podría ser retenida en ella, sobre un papel limpio a las partículas que han quedado atrancadas entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella inviértase el Tamiz y con ayuda de un cepillo o brocha de alambre desprenda y agregue depositadas en el papel.
- Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida en el paso anterior. Se pone en un recipiente o cápsula se guarda esa fracción de muestra hasta el final de la prueba, para poder repetir las pesadas en caso de error.
- Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas de cada malla y el recipiente del fondo procediendo en la forma indicada todos los pesos retenidos se anotan en la hoja del registro para el cálculo.
- Se calcula utilizando la formula.

$$F = \frac{P_r}{50} * 100$$

Dónde:

F = Finura del cemento expresado como porcentaje en peso, del residuo que no pasa el Tamiz. 200

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

✓ Resultados

La planilla de cálculo correspondiente se presenta en anexo A-1 del presente trabajo.

Ensayo N°	Finura Cemento %
1	7,20
2	6,76
3	7,26
Promedio	7,07

FIGURA 3.2.1-1: MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FINURA DEL CEMENTO



3.2.2 Determinación del peso específico del cemento

Este ensayo tiene por objeto, presentar un método para determinar el peso específico del cemento, el valor que aquí se determina se usa específicamente para el diseño y control de la producción de mezcla de hormigón.

✓ Equipo

- Un matraz normal
- Kerosenne
- Balanza sensible a 0,001gr.
- Pipeta
- Un termómetro
- Embudo
- Material de limpieza
- Muestra de Cemento

✓ Calibración de los matraces

El peso del kerosenne de un matraz varia con la temperatura, esto se debe a que los cambios de temperatura provocan extensiones o contracciones en el vidrio.

Por lo tanto, cuando se va a determinar el peso específico del cemento es necesario conocer la capacidad del matraz que se va a usar a la temperatura a la cual se va hacer el ensayo.

✓ **Procedimiento**

- Se llena el matraz con el líquido especificado.
- Se coloca el matraz en un baño maría a temperatura constante manteniéndola a la temperatura ambiente, se lee en el cuello del matraz.
- Se toma aproximadamente 64 gr. de la muestra de cemento y se van introduciendo poco a poco en el matraz teniendo cuidado que estén a la misma temperatura que el líquido, se debe evitar que el líquido salpique cuando se introduce el cemento.
- Después de que todo el cemento haya sido introducido en el matraz se tapa este y se hace rodar en posición inclinado con el fin de eliminar el aire del cemento, esto se continúa hasta que se eliminen las burbujas de aire.
- Se coloca de nuevo el matraz en el baño de temperatura constante, y se hace la nueva lectura.
- Se lee en el matraz la graduación correspondiente al nuevo nivel del líquido

✓ **Cálculo**

La diferencia entre las cantidades que representan el nivel final y el nivel inicial del líquido nos da el volumen de líquido desplazado por el cemento usado en el ensayo, luego:

$$P. E. = \frac{\text{Peso del cemento en gramos}}{\text{Volumen desplazado en ml}}$$

✓ **Resultados**

La planilla de cálculo correspondiente se presenta en anexo A-1 del presente trabajo.

Muestra N°	Peso Específico Cemento (gr/cm ³)
1	3,14

2	3,15
3	3,15
Promedio	3,15

3.2.3 Análisis granulométrico de los agregados

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de los tamaños de las partículas de agregado fino y grueso empleando tamices de aberturas cuadradas.

✓ **Materiales y equipo**

- Balanza electrónica
- Juego de tamices
- Muestra de grava (Obtenida por cuarteo)
- Muestra de arena (Obtenida por cuarteo)
- Brochas para limpiar los tamices
- Recipientes o taras

✓ **Procedimiento experimental**

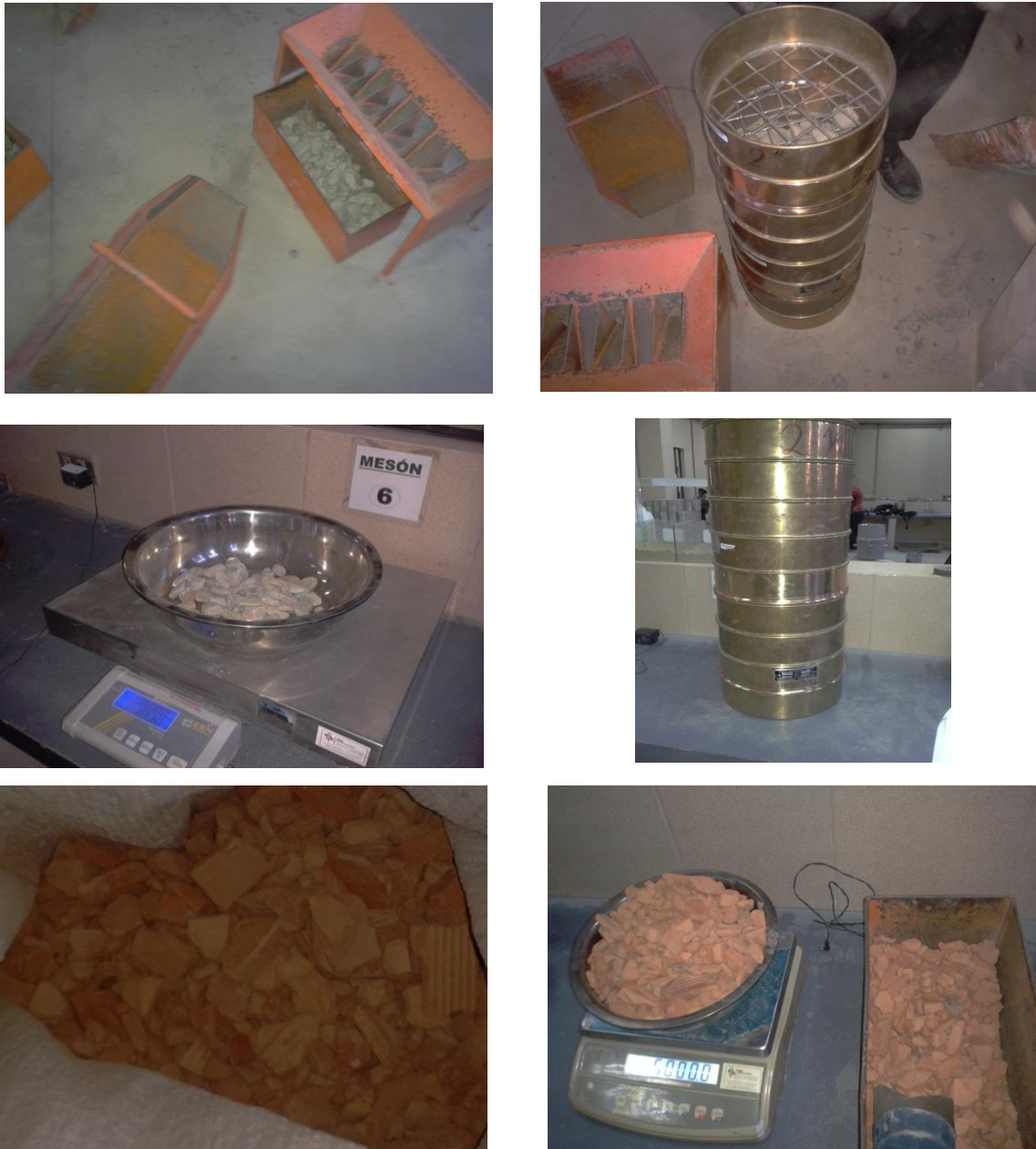
Grava:

- Después de asegurarse que la muestra está completamente limpia es decir libre de impurezas como ser tierra , arcilla , limo , etc. se siguen los siguientes pasos
- Se cuartea la muestra, de una cuarta parte de la misma se pesan 15 Kg.
- Una vez pesados los 15 Kg de la muestra se procede al tamizado con juego de tamices en el cual tienen que estar comprendidos los siguientes tamices :

2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4

- Después del tamizado se pesan los pesos retenidos llevándolos a porcentajes de tal manera que se puedan graficar para verificar si están en los rangos comprendidos para ser aceptados como apropiados para la preparación de hormigón.
- Lo que se tiene que tener en cuenta es que al pesar se debe realizar con el máximo cuidado posible para que los resultados sean satisfactorios.

FIGURA 3.2.3-1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
(GRAVA Y LADRILLO)



Arena:

- Después de asegurarse que la muestra está completamente limpia es decir libre de impurezas como ser tierra , arcilla , limo , etc. se siguen los siguientes pasos
- Se cuartea la muestra, de una cuarta parte de la misma se pesan 500 gr.
- Una vez pesados los 500 gr de la muestra se procede al tamizado con juego de tamices en el cual tienen que estar comprendidos los siguientes tamices :

N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200

- Después del tamizado se pesan los pesos retenidos llevándolos a porcentajes de tal manera que se puedan graficar para verificar si están en los rangos comprendidos para ser aceptados como apropiados para la preparación de hormigón.
- Lo que se tiene que tener en cuenta es que al pesar se debe realizar con el máximo cuidado posible para que los resultados sean satisfactorios.

FIGURA 3.2.3-2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO



✓ Cálculo

El peso del material retenido sobre cada tamiz será anotado y expresado como sigue:

- Por ciento retenido sobre cada tamiz.
- Por ciento total que pasa por cada tamiz.

✓ Resultados

Las planillas de cálculo y las curvas granulométricas correspondientes se presentan en anexo A-1 del presente trabajo.

Para el agregado Grueso:

Tamaño máximo del agregado: 1 1/2"

Contenido de humedad: 0,74%

Para el cascote de ladrillo:

Tamaño máximo del agregado: 2"

Para el agregado fino:

Módulo de Finura: 2,52

Contenido de humedad: 1,22%

Tanto como los ensayos y curvas cumplen con los parámetros de la normativa ASTM.

3.2.4 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua

expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

✓ **Material y equipo utilizado**

El equipo a utilizar es el siguiente:

- Una balanza con capacidad de 20 Kg y sensible.
- Cesto de alambre o cilindro metálico de 20 cm de diámetro y 20 cm de alto. El cesto hecho con malla de 4,75 mm. de abertura.
- Un recipiente en el que se pueda sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge, con el fin de obtener el peso de la muestra sumergida.

✓ **Procedimiento**

- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra con agua por un periodo de 24 horas.
- Se obtiene después la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
- Después se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
- La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina si pesa la muestra así sumergida.
- Se seca la muestra en un horno de temperatura constante (105° C) y luego se deja enfriar y se pesa.

✓ **Muestra**

La muestra consiste aproximadamente en 5 Kg material separado por su método de cuarteo de manera que todo el material queda retenido sobre el tamiz de 3/8.

✓ **Cálculos**

$$\text{Peso Específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

Siendo:

A = Peso de la muestra secada en horno en gr.

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

C = Peso de la muestra satura dentro del agua en gr.

$$\text{Peso específico saturado sup. seca} = \frac{B}{B - C}$$

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

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

✓ Resultados

Los valores que se muestran son datos promedio, las planillas de cálculo para cada material se encuentran en el anexo A-1.

	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
Grava	2,58	2,62	2,70	1,74
Ladrillo	1,95	2,20	2,60	12,91

FIGURA 3.2.4-1: DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA Y LADRILLO)





3.2.5 Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresado como porcentaje en peso.

✓ **Equipo necesario**

El equipo a utilizar es el siguiente:

- Una balanza con capacidad de 1 Kg y sensible de 0,1 gr.
- Matraz de 500 ml
- Horno eléctrico
- Secador
- Un molde cónico de acero con varilla.

✓ **Muestra**

Se selecciona una muestra de 1 kg que puede ser obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

✓ **Procedimiento**

- Se lava el material a fin de sacar la arcilla que puede estar en la arena o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas.
- Luego se seca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme, con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero el molde cónico, y luego se retira éste. Si la muestra tiene alguna humedad en la superficie conservará la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodará libremente cuando se levante el cono.

- Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- Se coloca 500 gr. De la muestra en el matraz y luego se llama este con agua hasta el tope con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20 ° C, se deberán hacer las correcciones del caso siguiendo una curva de calibración. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone secar en el horno de temperatura constante (105° C) y se pesará.

✓ **Cálculos**

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

Siendo:

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

V = Volumen del frasco en ml

W = Peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco.

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

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

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

✓ **Cálculos**

Los valores que se muestran son datos promedio, las planillas de cálculo para cada material se encuentran en el anexo A-1.

PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
--	--	--	-------------------

		(gr/cm ³)		
Arena	2,44	2,53	2,67	3,35

FIGURA 3.2.5-1: DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO



3.2.6 Determinación del peso unitario del agregado grueso

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

✓ Materiales y equipo

- Balanza electrónica.
- Una varilla de 60 cm de largo y 5/8 plg.
- Molde cilíndrico de 14 l.
- Recipientes.

✓ Procedimiento

Se procede a realizar el cuarteo del material hasta obtener una muestra representativa para realizar la práctica. Posteriormente se obtiene el peso del molde vacío para después obtener el peso de material que puede introducirse en el molde.

Para obtener el peso unitario compactado:

- Llenado el cilindro hasta una tercera parte de su volumen.
- Compactado mediante la varilla de 60 cm introduciéndola con fuerza unas 25 veces, teniendo cuidado de no golpear el fondo del cilindro.
- Llenado de la segunda tercera parte del cilindro
- De igual manera realizar el compactado del material con la varilla
- Llenar el cilindro con el material restante y compactar.
- Una vez compactada realizar el posterior enrase del material
- Llenar los espacios vacíos con las gravas más pequeñas.
- Pesar el molde.

✓ **Cálculo**

El peso neto del agregado dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada, el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

✓ **Resultados**

Los valores que se muestran son datos promedio, las planillas de cálculo para cada material se encuentran en el anexo A-1.

	Peso Unitario Suelto (gr/cm^3)	Peso Unitario Compactado (gr/cm^3)
Grava	1,599	1,719
Ladrillo	1,096	1,165

FIGURA 3.2.6-1: DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA Y LADRILLO)



3.2.7 Determinación del peso unitario del agregado fino

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

✓ **Materiales y equipo**

- Balanza Electrónica
- Cuchara
- Muestra de Arena
- Varilla
- Bandejas
- Molde Cilíndrico de 3l.
- Brocha

✓ **Procedimiento experimental**

Peso unitario compactado

- Se llena el molde con el agregado fino hasta una tercera parte de su capacidad, por medio de la varilla se apisona uniformemente mediante 25 impactos, no se debe golpear el fondo del molde.
- Se repite el procedimiento anterior hasta completar las tres capas y llenar el recipiente, las partículas de la superficie se deben enrasar con una varilla, teniendo como guía el borde del molde.
- El apisonamiento deberá realizarse con una caída de la varilla de una altura de diez centímetros.

- Una vez hecho esto se pesa el molde solo y luego el molde con la muestra.

✓ **Cálculo**

El peso neto del agregado dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada, el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

✓ **Resultados**

Los valores que se muestran son datos promedio, las planillas de cálculo para cada material se encuentran en el anexo A-1.

	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)
Grava	1,569	1,736

FIGURA 3.2.7-1: DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO



3.2.8 Dosificación método ACI - 211

CALCULOS

Peso Agregado Grueso (Pag)	= (b/bo)xPUC 1320,338286 kg/m ³
Peso cemento (Pc)	= A / (a/c) 336,96 kg/m ³
Volumen de Agregado Grueso (Vag)	= Pag/γg 489,76 lt/m ³
Volumen del cemento (Vc)	= Pc/γc 106,97 lt/m ³
Volumen de Arena (Vaf)	= 1000 - Vc - A - Vag 248,27 lt/m ³
Peso del agregado fino (Paf)	= Vaf x γf 663,06 kg/m ³

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGON

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Volumen Absoluto lt/m ³	Peso especifico gr/cm ³
<i>Cemento</i>	336,96	106,97	3,15
<i>Agua</i>	155	155	1
<i>Grava</i>	1320,338286	489,76	2,70
<i>Arena</i>	663,06	248,27	2,67
TOTAL	2475,36	1000,00	

PESOS HUMEDOS DE LOS MATERIALES

Peso Húmedo de la arena (Pha)	= Paf x (1 + Ha) 671,14 kg/m ³
Peso Húmedo de la Grava (Phg)	= Pag x (1 + Hg) 1330,17 kg/m ³

CORRECCION DEL AGUA

Agua corregida a la grava (Acg)	= Pag x (Ag - Hg)	13,08	lt/m ³
Agua corregida a la Arena (Acf)	= Paf x (Aa - Ha)	14,11	lt/m ³
Total Agua Corregida (Atc)	= Acg + Acf	27,19	lt/m ³

PESOS HUMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGON

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³
<i>Cemento</i>	336,96	336,96
<i>Agua</i>	155,00	182,19
<i>Grava</i>	1320,34	1330,17
<i>Arena</i>	663,06	671,14
<i>TOTAL</i>	2475,36	2520,45

PROPORCIONES DE MEZCLA

<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
1,0	2,0	3,9

OBSERVACIONES

- 1.- Las humedades tanto de la grava como de la arena corresponden a las obtenidas en laboratorio debiendo hacer las correcciones adecuadas en obra en el momento del vaciado.
- 2.- La presente dosificación no tendrá efecto en caso de agregados contaminados o sucios, con: arcillas o finos, materiales orgánicos, residuos de otros materiales, etc. Por lo que se recomienda lavar siempre los áridos antes de utilizarlos.

Cantidad de Material Para Dosificación de 15 Probetas En Laboratorio

SECO (Kg) para 15 probetas	HUMEDO (Kg) para 15 probetas
32,1	32,1
14,8	17,4
125,9	126,9
63,2	64,0

3.2.9 Preparación del hormigón en el laboratorio para los ensayos de compresión

Abarca el procedimiento de preparación del hormigón, el mismo que se realizó en el laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS y que está a cargo del Ing. Moisés Díaz Ayarde, bajo un riguroso control de cantidades de materiales y condiciones de ensayo.

Preparación de los materiales:

- a) Por recomendación los materiales se mantuvieron a la temperatura del ambiente (entre 18° y 24° C) antes de empezar los ensayos.
- b) El cemento se almacenó en un lugar seco del laboratorio, a prueba de humedad. El cemento se mezcló completamente a fin de que la muestra pueda ser uniforme durante los ensayos.
- c) Los agregados para cada preparación de hormigón estuvieron de acuerdo con la granulometría deseada.

- **Pesada de los materiales**

Todos los materiales fueron pesados en balanzas precisas y sensibles al gramo, acorde con los requisitos exigidos en cuanto a sensibilidad recíproca y tolerancias.

FIGURA 3.2.9-1: MATERIALES YA PESADOS Y LISTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN



- **Mezclado del hormigón**

- a) El hormigón fue mezclado en una hormigonera mediana, la misma que era adecuada para la cantidad de hormigón que se debía preparar, dicha cantidad debe ser suficiente,

tal que, después de moldear las probetas de ensayo, existiría un exceso o margen de seguridad por pérdidas de un 10%.

b) Para tener una idea más clara del proceso de mezclado, a continuación se indica el orden y manera de introducir los materiales a la hormigonera activada para obtener una mezcla homogénea y satisfactoria para la elaboración del hormigón.

1) Luego de haberse introducido la mitad de la cantidad de agua necesaria, se introduce la porción total de arena y luego la de cemento, para que estas sean mezcladas hasta un estado homogéneo.

2) Se añade el agregado grueso a la preparación y ésta se mezcla hasta que dicho agregado grueso se distribuya uniformemente en toda la mezcla.

3) Se añade la otra mitad de la cantidad de agua medida y necesaria para luego ver como la masa se mezcla hasta que el hormigón toma un aspecto homogéneo y tenga la consistencia deseada para luego realizar los ensayos de asentamiento.

c) El método anteriormente indicado es un buen parámetro para lograr una mezcla satisfactoria, a menos que un procedimiento diferente se adapte mejor a la hormigonera que se está empleando.

FIGURA 3.2.9-2 MEZCLADO DE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN



- **Consistencia del hormigón**

a) La consistencia de cada preparación de hormigón se mide inmediatamente después de mezclar, realizando el ensayo de asentamiento, utilizando el método del Cono Abrams, para lo cual se precisa el siguiente equipo:

- Molde de metal galvanizado en forma de tronco de cono, diámetro de la base superior 4"; diámetro de la base inferior 8" y una altura de 12".

- Regla graduada o flexómetro para medir el asentamiento de la mezcla.
- Varilla para apisonar el hormigón de 5/8" y 60 cm de longitud.

Se toma una muestra representativa de la mezcla cuya consistencia se quiere determinar y se coloca el molde sobre una superficie plana que no sea absorbente.

El molde se llena usando tres capas de mezcla. Cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente.

Después de llenar el molde como se indica, se retira este con un movimiento vertical.

Inmediatamente después se determina por medio de una regla el asentamiento de la muestra con relación a su altura inicial, asimismo la consistencia es expresada en términos de asentamiento.

- b) Todo el hormigón empleado para el ensayo de asentamiento es devuelto al recipiente de mezcla e inmediatamente se procede a vaciar la mezcla en los moldes de realización de probetas.

FIGURA 3.2.9-3: ENSAYO DE ASENTAMIENTO A LAS MEZCLAS REALIZADAS



- **Probetas para el ensayo de compresión**

Las probetas para el ensayo de compresión son de forma cilíndrica con una longitud igual a dos veces el diámetro. Las probetas cilíndricas estándar son de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para hormigón con agregado grueso de tamaño nominal inferior a 2" que son las que se utilizaron para los ensayos realizados.

Los moldes para las probetas de ensayo son de metal y están provistos de una placa metálica lisa y plana. El interior del molde y la placa metálica de la base se cubren con una

capa delgada de aceite mineral o grasa antes de preparar cada cilindro de hormigón, para evitar que el hormigón se adhiera al molde cuando comience su endurecimiento.

FIGURA 3.2.9-4 PROBETAS REALIZADAS Y MOLDES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS



- **Procedimiento de vaciado y realización**
- Los cilindros de ensayo son preparados colocando el hormigón en el molde en 3 capas de un volumen aproximadamente igual.
- Al colocar cada cucharada de hormigón, la cuchara se hace girar alrededor del borde superior, para que el hormigón se deslice por las paredes del molde y se distribuya uniformemente.
- Cada capa se debe golpear 25 veces distribuyéndose uniformemente sobre la sección con una barra de 5/8" de diámetro y 60 cm de largo con punta redondeada que es la misma que se utiliza para el ensayo de asentamiento, después la superficie debe ser alisada y en lo posible cubierta.
- Los cilindros de ensayo se remueven de 20 a 48 horas después de su preparación y son sumergidos completamente para su curado en un cuarto húmedo o en una piscina a modo de que esté saturado completamente en agua entre 18 y 24 ° C.

FIGURA 3.2.9-5: VACIADO Y REALIZACIÓN DE PROBETAS



- **Curado De las probetas de prueba**

El proceso de curado de las probetas de prueba se realizó en las piscinas del laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS.

Es un proceso simple de sumergimiento que se realiza inmediatamente después de remover las probetas de sus moldes.

Se debe tener mucho cuidado de no golpear las probetas en este proceso ya que las mismas se encuentran muy frágiles y esto puede incidir en su futura resistencia.

La etapa de curado finaliza 10 a 20 horas antes de someterlas a su rotura.

FIGURA 3.2.9-6: CURADO DE LAS PROBETAS DE PRUEBA



3.2.10 Determinación de resistencia a compresión en probetas

Este método abarca el procedimiento para los ensayos de compresión de cilindros de hormigón.

✓ **Equipo**

La máquina utilizada es una prensa automática de compresión que pertenece al laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS, la misma que proporciona una velocidad de carga adecuada y está equipada con dos placas de acero de apoyo.

✓ **Procedimiento**

- Se coloca el cilindro en la máquina y se centra con relación a la placa superior. Se pone la placa superior en contacto con el espécimen.
- Se aplica la carga a una frecuencia de aumento constante y uniforme de acuerdo a la configuración de la máquina previa al ensayo.
- La carga incrementará hasta que el espécimen falle por rotura. Se deberá anotar esta carga máxima aplicada, lo mismo que el tipo de fractura del cilindro.

✓ **Cálculo**

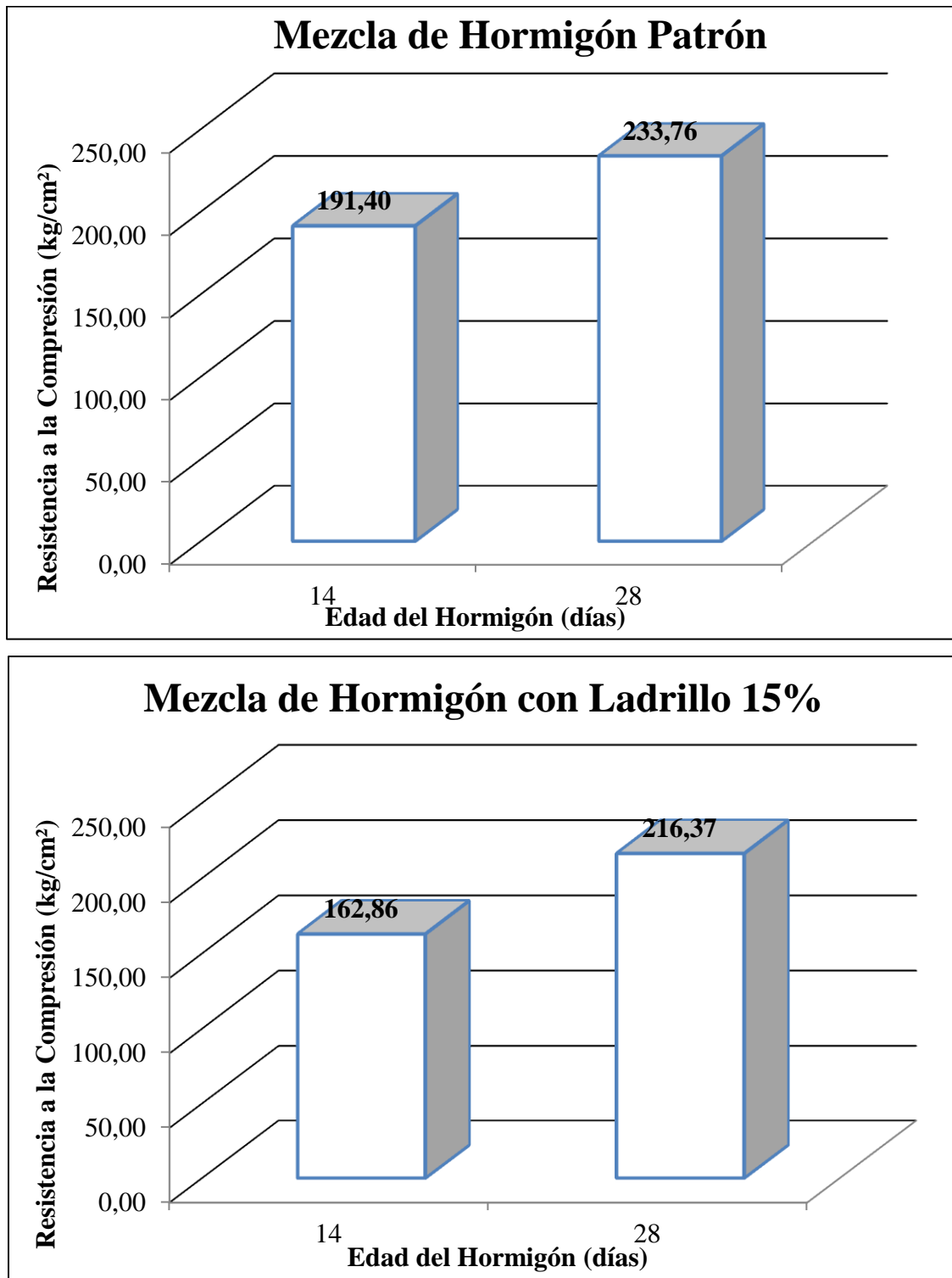
La resistencia a la compresión se obtendrá dividiendo la carga máxima aplicada por el área del cilindro, calculada con el diámetro obtenido antes de aplicar la carga. Las planillas de cálculo para cada una de las mezclas se encuentran en el anexo A-2 del presente estudio.

FIGURA 3.2.10-1: ENSAYOS DE ROTURA DE PROBETAS



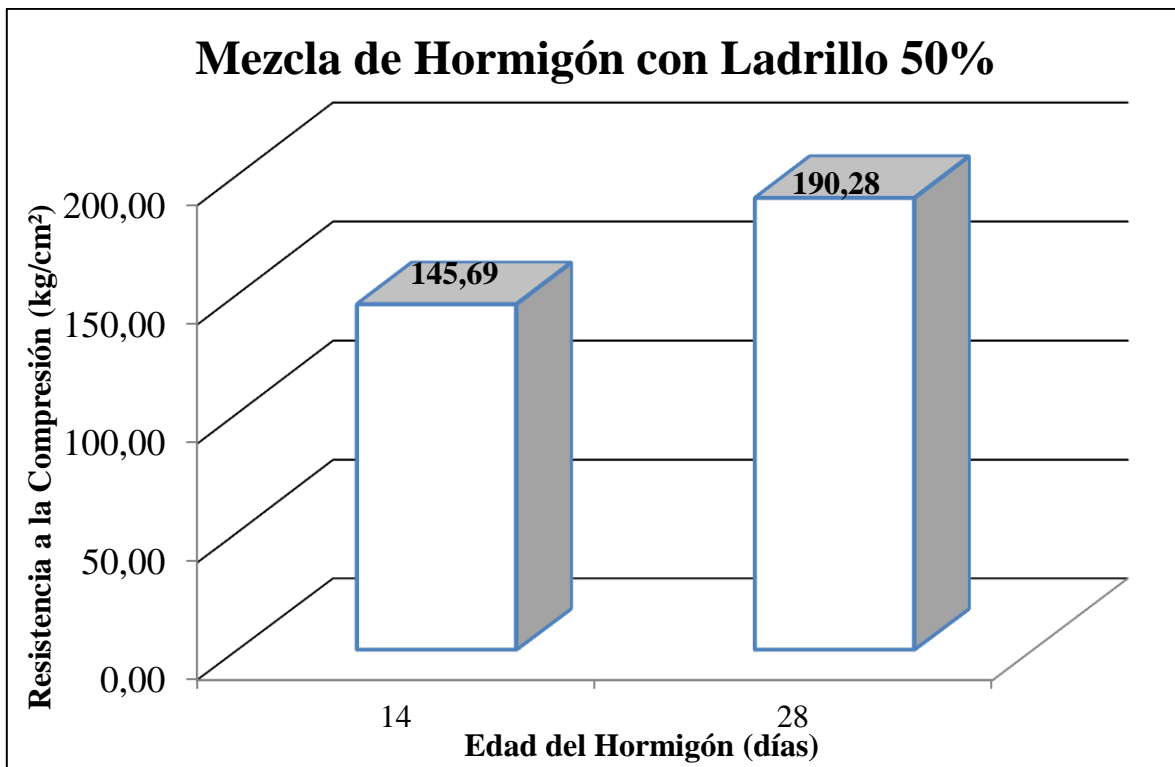
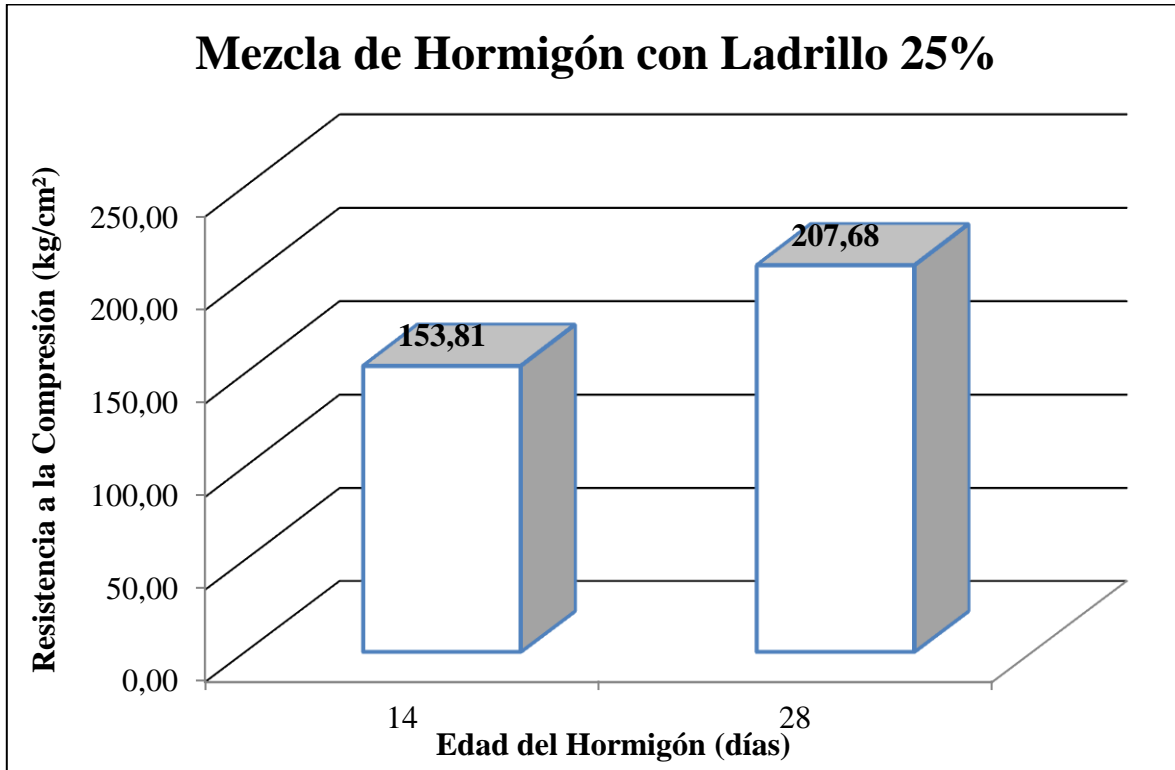
3.2.11 Valores de resistencia obtenidos

FIGURA 3.2.11-1 DIAGRAMAS DE BARRAS DE LOS VALORES DE RESISTENCIA OBTENIDOS



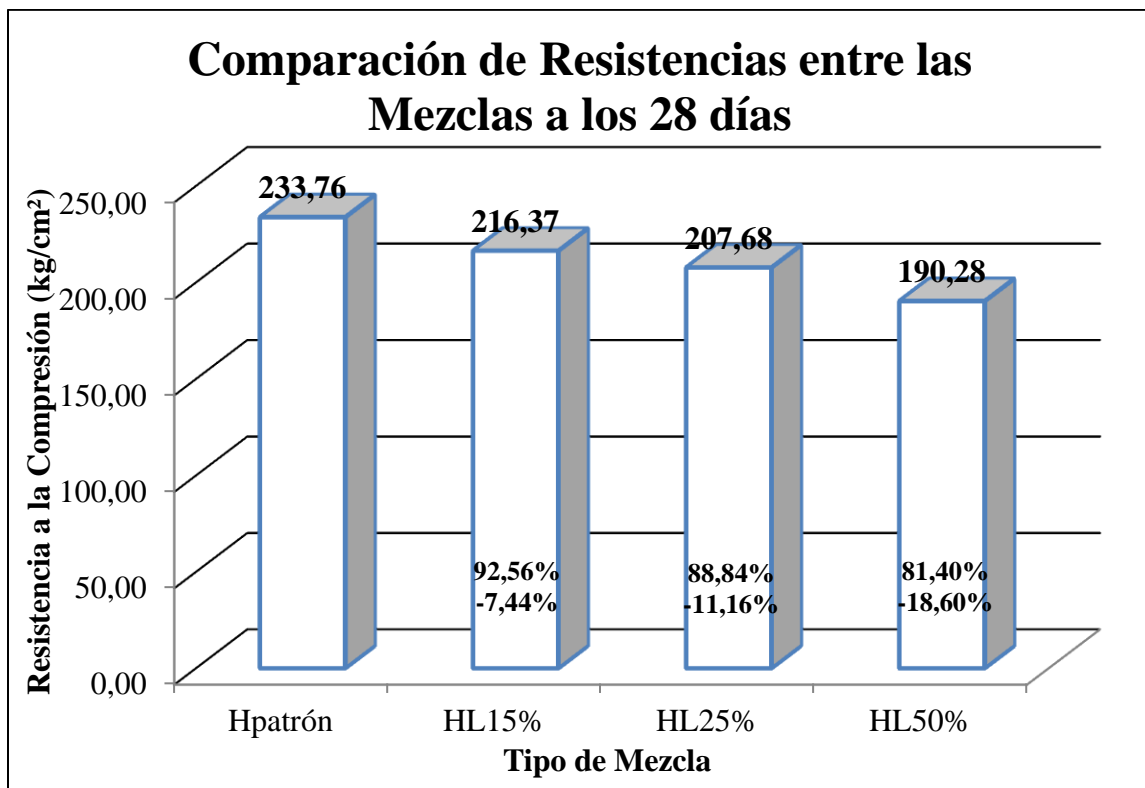
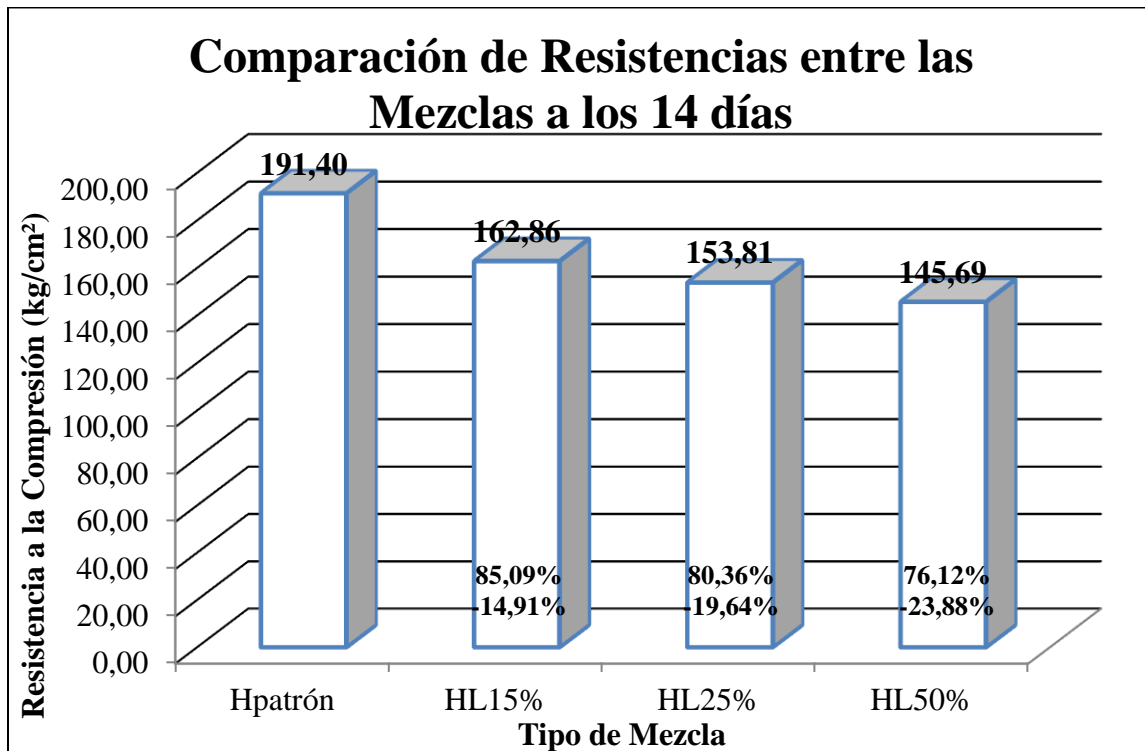
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.2.11-1DIAGRAMAS DE BARRAS DE LOS VALORES DE RESISTENCIA
OBTENIDOS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.2.11-2 DIAGRAMA DE BARRAS DE COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS ENTRE LAS MEZCLAS



Fuente: Elaboración propia

3.2.12 Determinación de la densidad de las mezclas

El ensayo se realizó en todas las muestras de las cuales se determinó el peso de las mismas y el volumen respectivo, luego, mediante la siguiente fórmula se determinó la densidad de las distintas muestras:

$$D = \frac{P}{V}$$

Dónde:

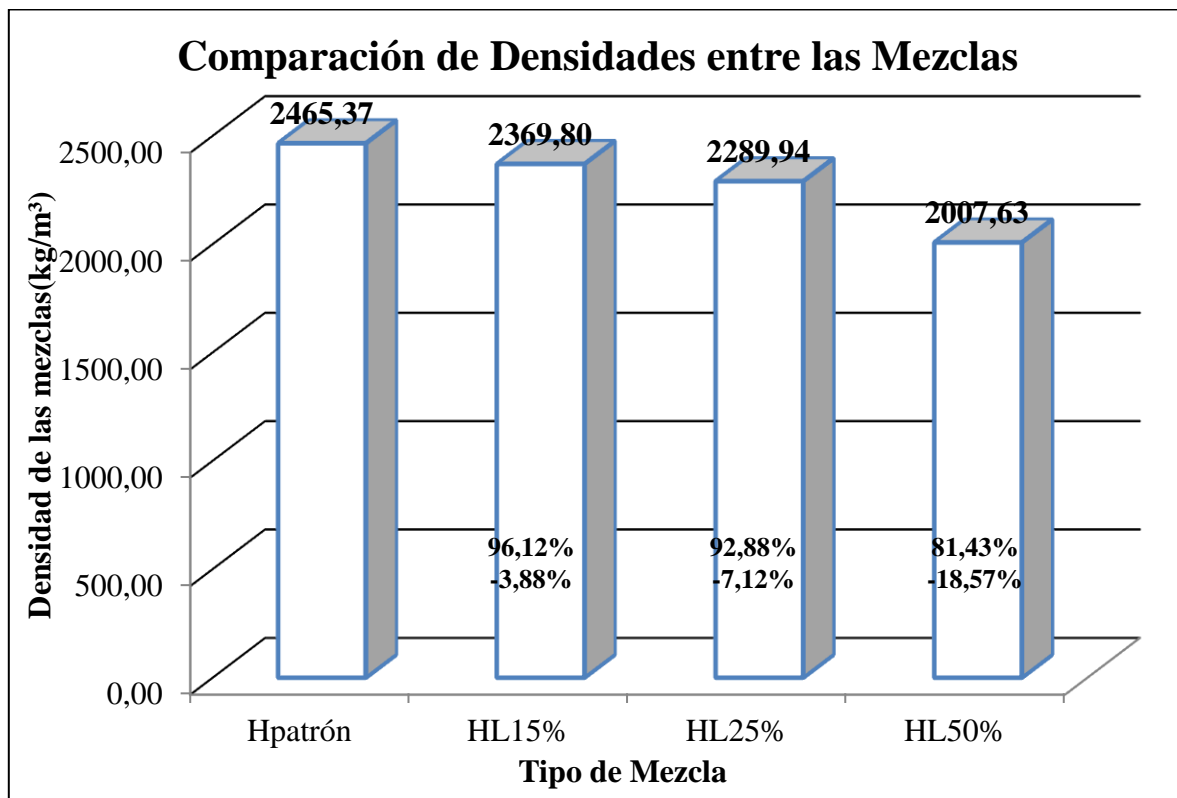
D = Densidad en Kg/m³

P = Peso de la probeta en Kg

V = Volumen de la Probeta en m³

Las planillas de cálculo para cada una de las mezclas se muestran en el anexo A-3 del presente estudio. Los resultados se detallan en el cuadro siguiente:

FIGURA 3.2.12-1 DIAGRAMA DE BARRAS DE COMPARACIÓN DE DENSIDADES ENTRE LAS MEZCLAS



Fuente: Elaboración propia

3.2.13 Determinación de la absorción de las mezclas de hormigón

Para estos ensayos se tomaron los valores de las probetas en el estado saturado superficialmente seco, durante la etapa de finalización del curado y puesto a secar los días posteriores a esta fase hasta obtener pesos secos constantes, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Abs = \left(\frac{PSSS - PS}{PS} \right) * 100$$

Dónde:

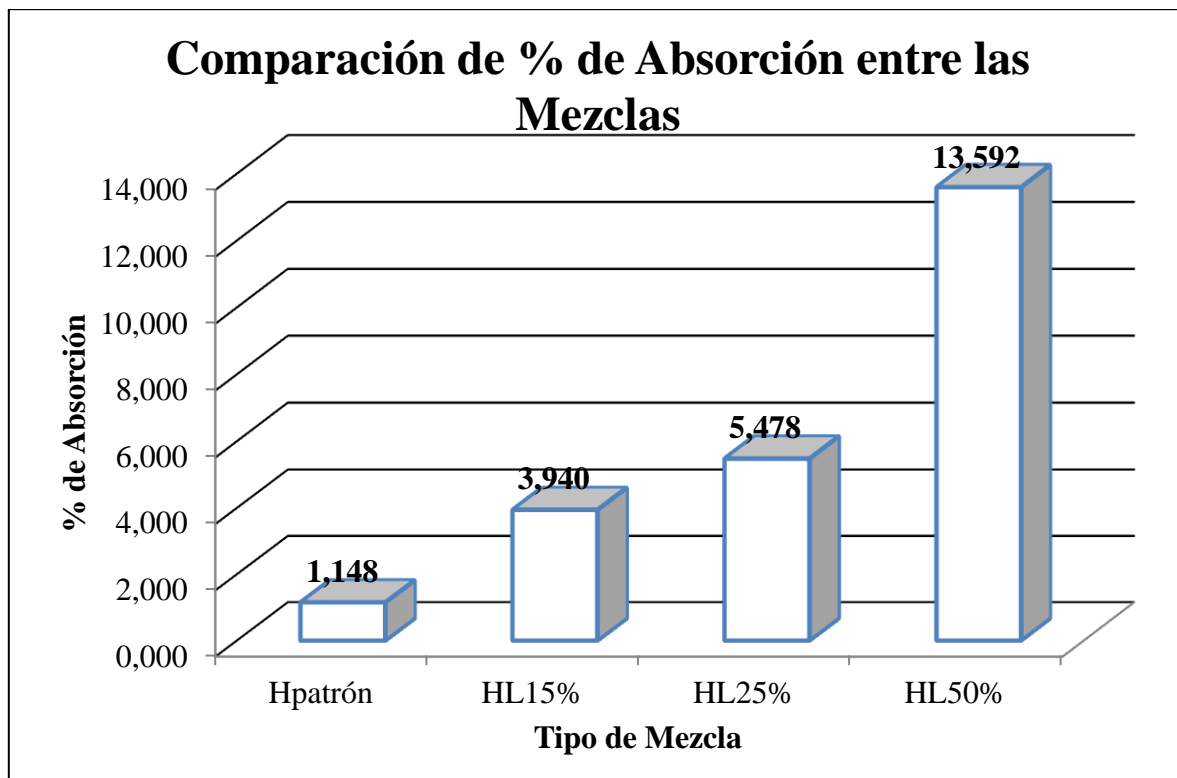
PSSS = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

PS = Peso de la muestra seca

%Abs = Porcentaje de absorción

Las planillas de cálculo para cada mezcla se muestran en el anexo A-5 del presente estudio.

FIGURA 3.2.13-1 DIAGRAMA DE BARRAS DE COMPARACIÓN DE ABSORCIÓN ENTRE LAS MEZCLAS



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Metodología para el análisis de resistencia en el hormigón

El análisis metodológico que se realizará en el presente trabajo tiene un carácter principalmente de relación y comparación, entre el comportamiento del hormigón ante la resistencia a compresión y las distintas variables o características de sus componentes, que en este caso es la variación de la cantidad de ladrillo.

Se partirá de variables bien definidas que son:

- Resistencia a compresión del hormigón.
- Edad del hormigón

Partiendo de relacionar estas variables, se puede obtener gráficos y ábacos consistentes en curvas ajustadas, que darán una idea real de como es el comportamiento del hormigón, para así poder compararlo con los parámetros de estudio.

Se adoptará una metodología de relación y comparación por ser práctica y demostrativa, para así lograr un mejor entendimiento de cómo se comporta el hormigón ante el esfuerzo de compresión con una variación de la cantidad de agregado grueso natural reemplazado por ladrillo.

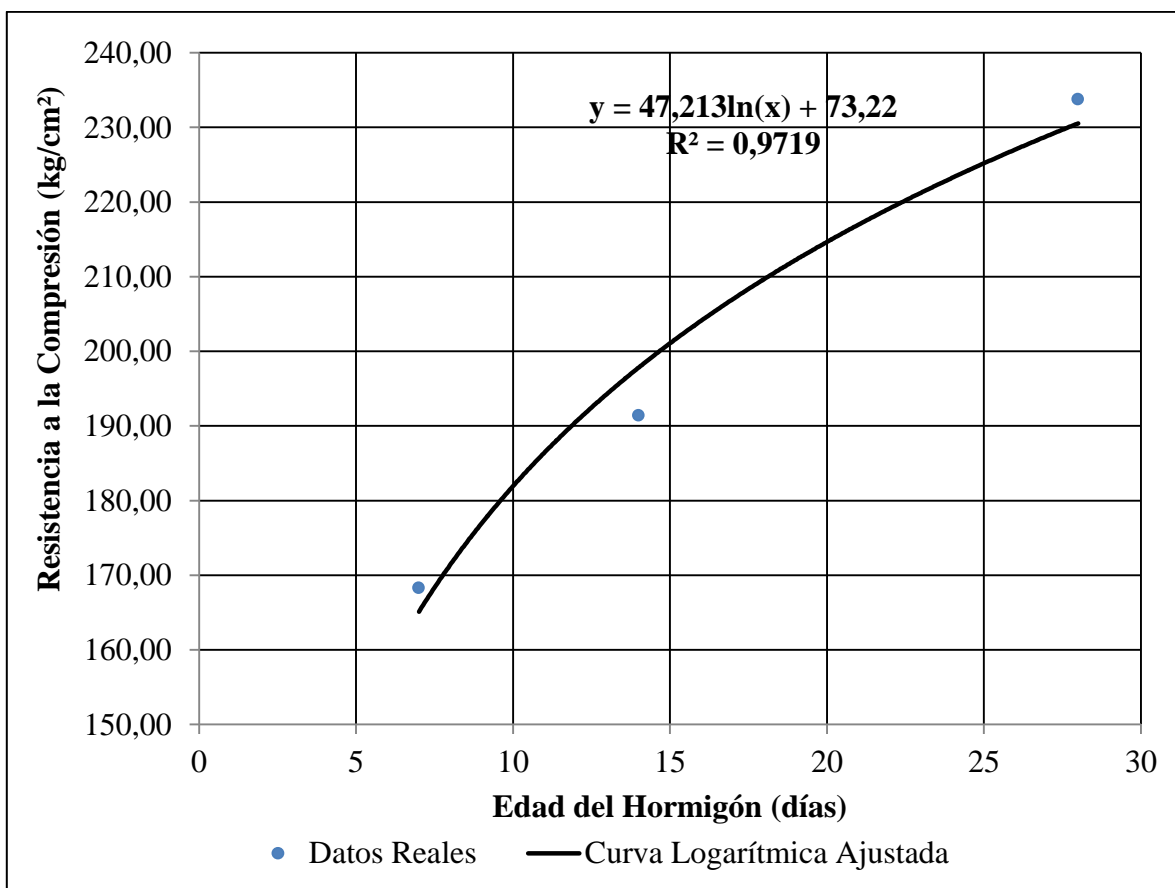
4.1.1 Planteamiento de curvas y ábacos

Para realizar el ajuste de los datos obtenidos en los ensayos de compresión, con el objeto de determinar las curvas de mejor ajuste de la relación de la resistencia vs la edad del hormigón, se utilizó el método de regresiones para obtener la curva que más se ajuste a los valores obtenidos y darle una ecuación representativa, donde se observó que el mejor ajuste es el del tipo logarítmico.

Para poder generar dichas curvas es necesario tener un dato más de cada mezcla, que es el valor de resistencia a compresión a los 7 días, para lo cual se acudió a las tablas de valores y porcentajes de resistencia a distintas edades del hormigón, proporcionada por el laboratorio de suelos y hormigones, es de saber que dicha tabla se aplica a hormigones convencionales por lo que los valores y gráficas obtenidos, se consideran una aproximación del comportamiento de las distintas mezclas, dicha tabla se encuentra en el anexo A-6 del presente trabajo.

FIGURA 4.1.1-1: CURVA RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS. EDAD DEL HORMIGÓN PARA EL HORMIGÓN PATRÓN

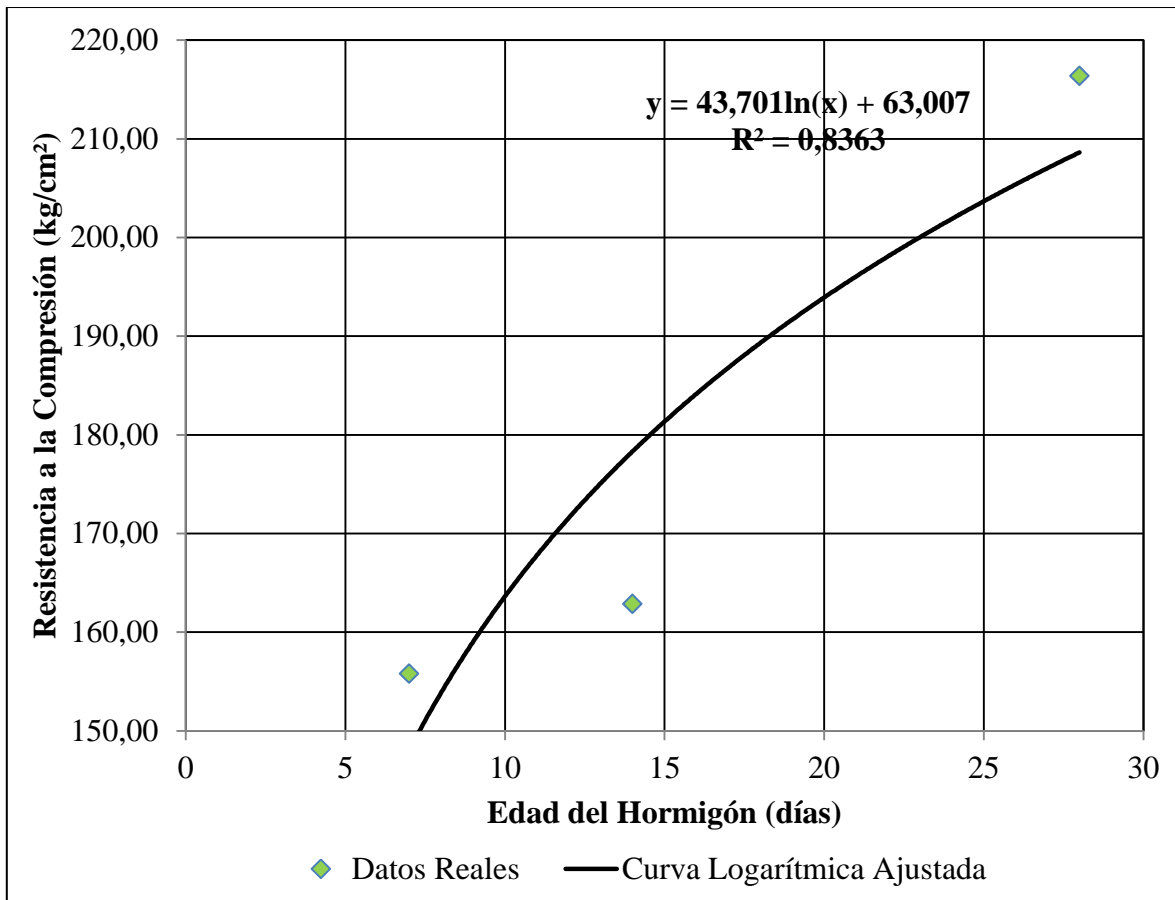
Hormigón Patrón	
Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	168,30
14	191,40
28	233,76



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.1.1-2: CURVA RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS. EDAD DEL HORMIGÓN PARA EL HORMIGÓN CON LADRILLO 15%

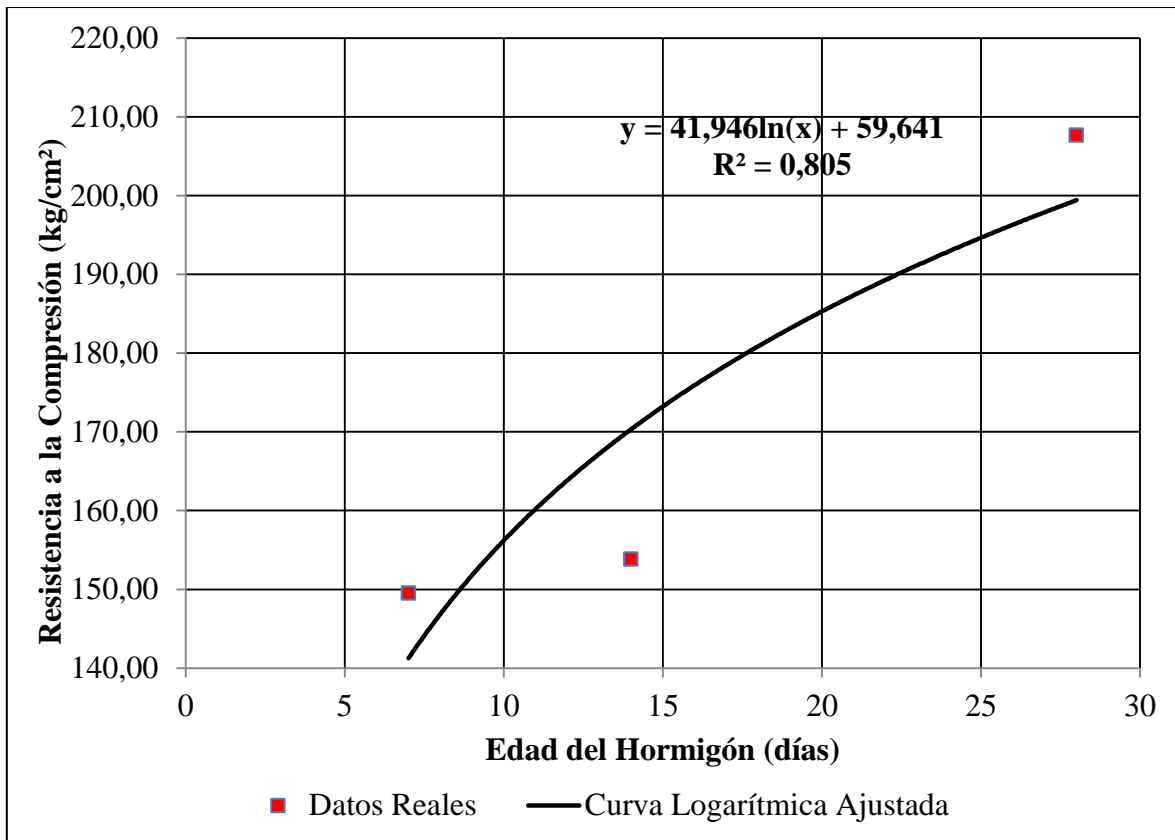
Hormigón con Ladrillo 15%	
Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	155,78
14	162,86
28	216,37



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.1.1-3: CURVA RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS. EDAD DEL HORMIGÓN PARA EL HORMIGÓN CON LADRILLO 25%

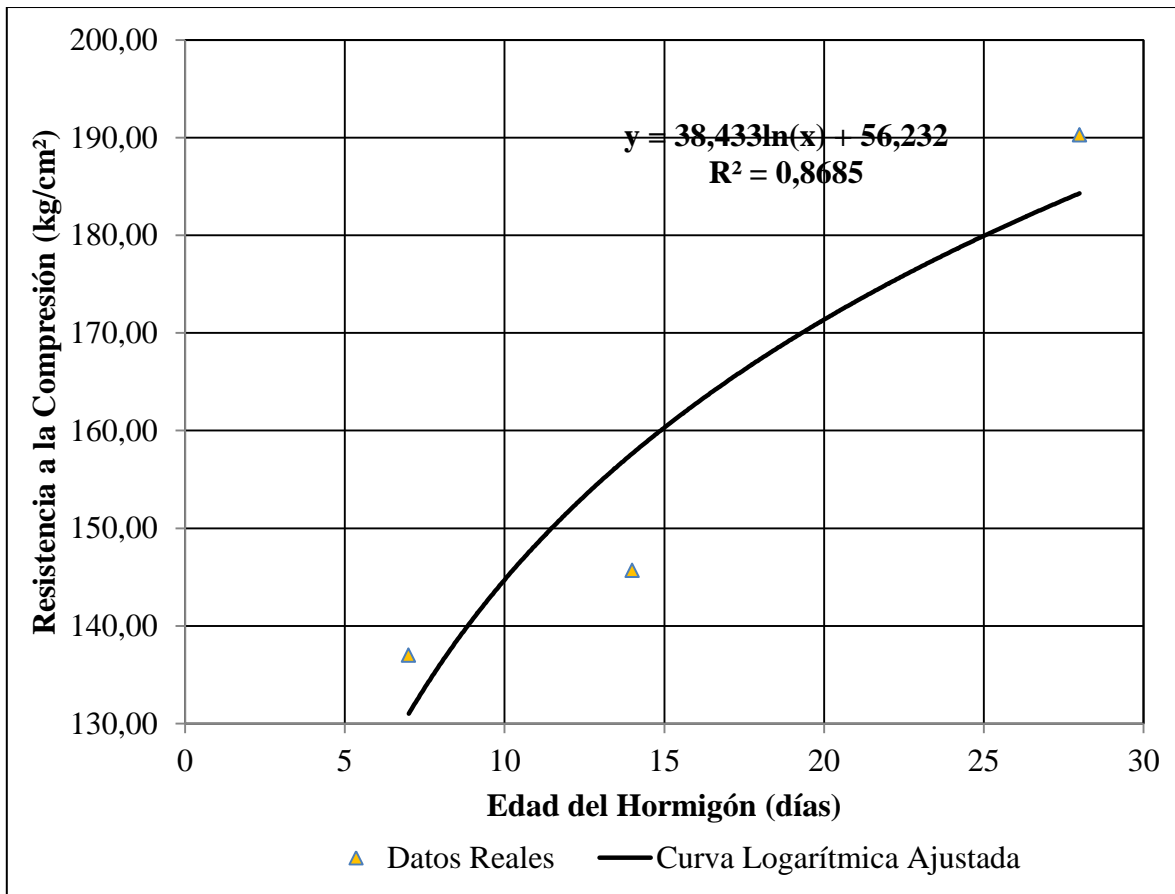
Hormigón con Ladrillo 25%	
Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	149,53
14	153,81
28	207,68



Fuente: Elaboración propia

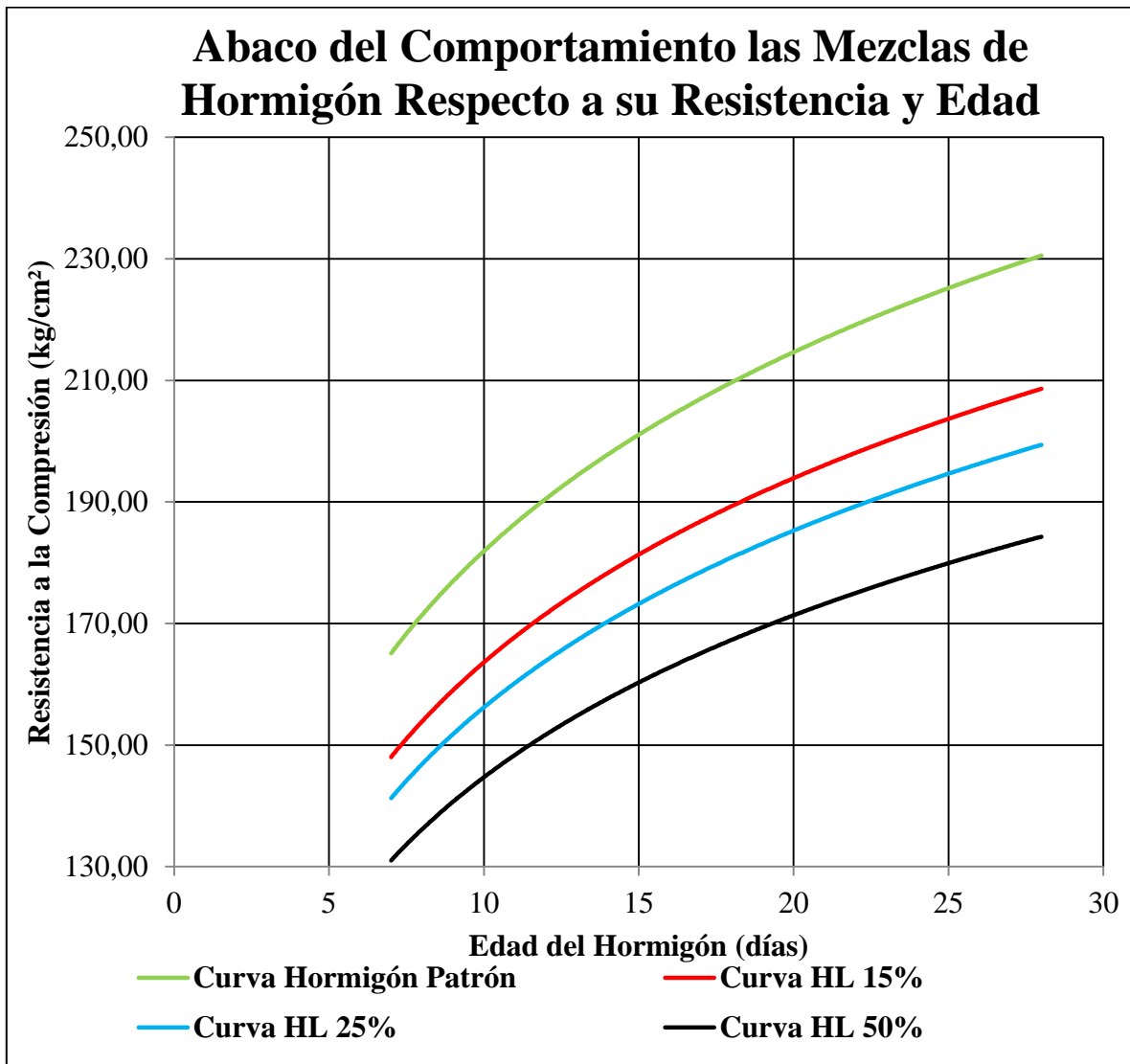
FIGURA 4.1.1-4: CURVA RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS. EDAD DEL HORMIGÓN PARA EL HORMIGÓN CON LADRILLO 50%

Hormigón con Ladrillo 50%	
Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	137,00
14	145,69
28	190,28



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.1.1-5: ÁBACO DE MEZCLAS



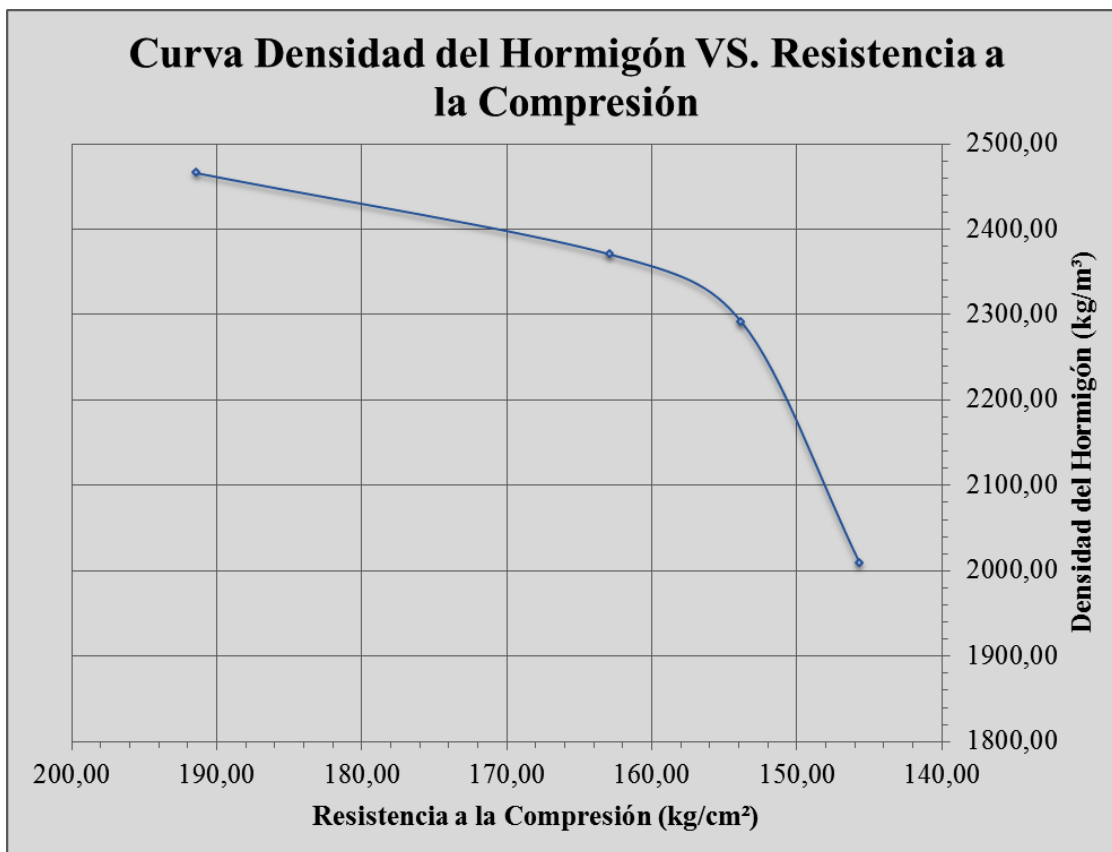
Fuente: Elaboración propia

4.2 Curvas de densidad del hormigón respecto de su resistencia a la compresión

Es posible realizar un análisis comparativo para observar el comportamiento de las distintas mezclas y poder proyectarlas en una gráfica que refleje el descenso gradual de la resistencia respecto de la densidad de las distintas mezclas al reemplazar el agregado grueso por el cascote de ladrillo, esta gráfica se convierte en un parámetro muy importante ya que se visualiza de manera clara la variación en las características de las mezclas realizadas en laboratorio unidas en una misma gráfica para así poder obtener las distintas conclusiones del trabajo:

FIGURA 4.2-1: CURVA DENSIDAD DEL HORMIGÓN VS. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS

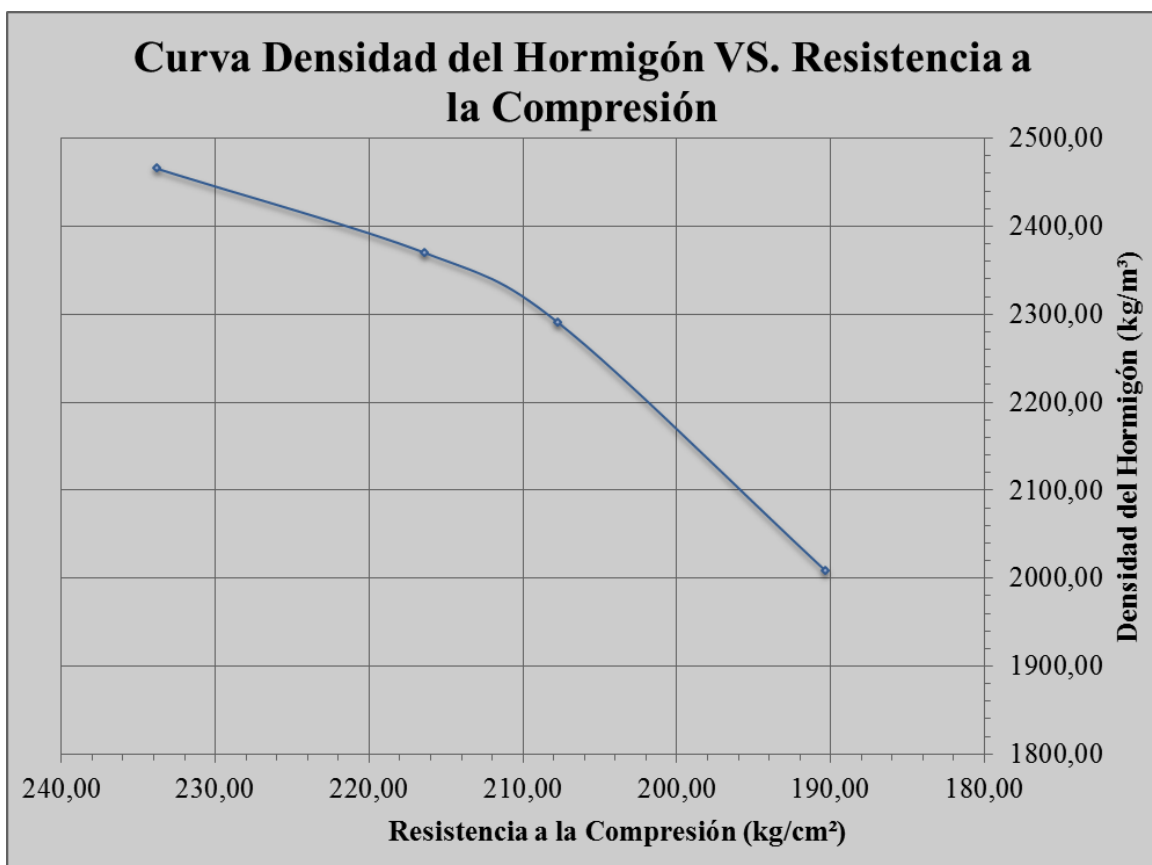
14 DIAS		
DESCRIPCION	RESISTENCIA kg/cm ²	DENSIDAD kg/m ³
HORMIGON PATRON	191,40	2465,37
H L 15%	162,86	2369,80
H L 25%	153,81	2289,94
H L 50%	145,69	2007,63



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.2-2: CURVA DENSIDAD DEL HORMIGÓN VS. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS

28 DIAS		
DESCRIPCION	RESISTENCIA kg/cm ²	DENSIDAD kg/m ³
HORMIGON PATRON	233,76	2465,37
H L 15%	216,37	2369,80
H L 25%	207,68	2289,94
H L 50%	190,28	2007,63



Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis del costo de producción y general del cascote de ladrillo.

Para empezar con este análisis es necesario realizar un estudio de precios en el mercado actual, empezando por lo que se considera la materia prima del cascote que es el ladrillo producido en distintas cerámicas de la ciudad.

Se realizó un análisis de los distintos precios obtenidos y mostrándose el precio general de los distintos tipos de ladrillo que se tiene disponible y que a su vez son más comercializados en el mercado local.

TABLA 4.3-1 PRECIO DEL LADRILLO EN LA CIUDAD

Precios Ladrillo Mercado Actual (Bs. Por cada 1000 unidades)			
Calidad	Ladrillo 6H	Ladrillo 21H	Ladrillo Gambote
1ra	1200	1100	1200
2da	950	900	1000
3ra	700		800

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos es posible establecer un promedio de precios de manera general para el ladrillo.

TABLA 4.3-2 PRECIO PROMEDIO DEL LADRILLO

Precios Promedios de Cada Tipo (Bs.)		
Ladrillo 6H	Ladrillo 21H	Ladrillo Gambote
950	1000	1000
Promedio General (bs.)		983

Fuente: Elaboración propia

Pero además estos precios se ven necesariamente incrementados con lo que se refiere al transporte del material que no varía entre uno u otro tipo de ladrillo sino que depende directamente de la cantidad.

Otro incremento a este precio inicial es la posibilidad de cubrir los gastos por picado o triturado del material, que por sondeos realizados puede ser considerado el valor de un jornal, asumiendo que el trabajo se realiza de forma manual.

TABLA 4.3-3 COSTOS ADICIONALES AL LADRILLO

Costo por Transporte del Material	150
--	------------

(Bs.)	
Costo por Picado (Bs.)	100

Fuente: Elaboración propia

Con estos parámetros se puede establecer un valor del precio del cascote de ladrillo para aplicarlo a las distintas mezclas, tomando en cuenta otros factores, entre los cuales se toma en cuenta que de acuerdo a información recabada y observaciones realizadas solo cierto porcentaje del total del ladrillo que se desperdicia (5% aproximadamente) puede ser eficientemente utilizado para la obtención del cascote.

TABLA 4.3-4 COSTO PRODUCCIÓN DEL CASCOTE DE LADRILLO

Precio Unitario (Bs.)	1,23	
Peso Promedio (kg)	2,5	
Densidad Promedio (kg/m3)	1165	
Precio por m3 de cascote		
Vol. Ladrillo	2,15	m3
Precio por m3	43,105	bs/m3
Precio por Kg	0,037	bs/kg

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos valores se puede tomar las dosificaciones realizadas y poder calcular los costos de producción del hormigón con cascote de ladrillo y compararlo con el hormigón normal, para lo cual se tienen los siguientes datos:

TABLA 4.3-5 COSTO UNITARIO DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Ingrediente	Precio Unitario (Bs.)	Unidad
Cemento	55,00	Bolsa
Grava	150,00	m3
Arena	160,00	m3

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.3-6 COSTO POR Kg. DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Ingrediente	Peso kg/m3	Peso Específico Kg/m3	Precio por Kg Bs/kg
--------------------	-------------------	------------------------------	----------------------------

Cemento	336,957	3150,00	1,100
Grava	1320,338	2695,91	0,056
Arena	663,062	2670,70	0,060

Fuente: Elaboración propia

Primera Mezcla (Hormigón Patrón):

TABLA 4.3-7 COSTO PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN

Precio Por Metro Cúbico de Hormigón Patrón	
Ingrediente	Precio (Bs/m3)
Cemento	370,65
Grava	73,46
Arena	39,72
Costo Total	483,84

Fuente: Elaboración propia

Segunda Mezcla (Hormigón Con Ladrillo 15%):

Para calcular el costo producción de esta mezcla es necesario conocer la cantidad de material que se desplaza y se reemplaza por cascote:

TABLA 4.3-8 MATERIAL REEMPLAZADO PARA EL HL 15%

Cantidad de Material Reemplazado	
Grava (kg)	198,051
Ladrillo (m3)	0,073
Ladrillo (kg)	85,585

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.3-9 COSTO PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN CON LADRILLO (HL 15%)

Precio Por Metro Cúbico de Hormigón con Ladrillo 15%	
Ingrediente	Precio (Bs/m3)

Cemento	370,65
Grava	62,44
Arena	39,72
Ladrillo	3,17
Costo Total	475,99
Reducción Porcentual	-1,62%

Fuente: Elaboración propia

Tercera Mezcla (Hormigón Con Ladrillo 25%)

TABLA 4.3-10 MATERIAL REEMPLAZADO PARA EL HL 25%

Cantidad de Material Reemplazado	
Grava (kg)	330,085
Ladrillo (m3)	0,122
Ladrillo (kg)	142,642

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.3-11 COSTO PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN CON LADRILLO (HL 25%)

Precio Por Metro Cúbico de Hormigón con Ladrillo 25%	
Ingrediente	Precio (Bs/m3)
Cemento	370,65
Grava	55,10
Arena	39,72
Ladrillo	5,28
Costo Total	470,75
Reducción Porcentual	-2,71%

Fuente: Elaboración propia

Cuarta Mezcla (Hormigón Con Ladrillo 50%)

TABLA 4.3-12 MATERIAL REEMPLAZADO PARA EL HL 50%

Cantidad de Material Reemplazado	
Grava (kg)	660,169
Ladrillo (m3)	0,245
Ladrillo (kg)	285,283

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.3-13 COSTO PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN CON LADRILLO (HL 50%)

Precio Por Metro Cúbico de Hormigón con Ladrillo 50%	
Ingrediente	Precio (Bs/m3)
Cemento	370,65
Grava	36,73
Arena	39,72
Ladrillo	10,56
Costo Total	457,66
Reducción Porcentual	-5,41%

Fuente: Elaboración propia

4.4 Identificación y definición de parámetros de análisis

4.4.1 Características generales de los componentes del hormigón

Los componentes de las mezclas de hormigón (cemento, arena, grava, agua y cascote de ladrillo) que intervinieron en las pruebas, son materiales convencionales que se encuentran en nuestro medio, cuyas características y valores están dentro de las especificaciones necesarias (manual de la A.S.T.M), por lo que se considera confiable relacionar cualquier valor de alguna característica presentada en las planillas, con la resistencia y el comportamiento del hormigón.

4.4.2 Evaluación de las resistencias a compresión y densidades

Después de realizados los ensayos podemos observar que la dosificación realizada es adecuada para las características de los materiales empleados, ya que la resistencia a compresión del hormigón patrón es superior a la de resistencia de diseño esperada. Asimismo se observa la aplicabilidad de dicha dosificación para el hormigón con cascote de ladrillo al reemplazar en volumen el agregado natural grueso por ladrillo triturado en diferentes proporciones, obteniendo una reducción gradual de la resistencia a compresión y la densidad, para el caso de la resistencia los valores mínimos superan a la mínima resistencia a compresión para que un hormigón sea considerado estructural (valores ≥ 150 kg/cm²). En el caso de la densidad se obtuvo porcentajes máximos de reducción en el orden del 18,57% y los valores obtenidos se encuentran muy cercanos a los rangos que consideran a un hormigón como liviano (densidades ≤ 2000 kg/m³).

Como se nombró anteriormente, esta dosificación fue posible tomando criterios estipulados, y de laboratorio, volviendo constantes algunas variables.

4.4.3 Diferencia entre resultados obtenidos y esperados

Luego de analizar todo lo referente al hormigón con cascote de ladrillo se puede hacer una evaluación de los resultados obtenidos en laboratorio con los que se pudieron encontrar en bibliografía y que constituyeron los criterios para la dosificación.

En cuanto a la resistencia del hormigón partimos con los parámetros de bibliografía donde se nos indica que ésta puede variar de acuerdo al tipo de hormigón que se quiera lograr de acuerdo al Código Boliviano del Hormigón a partir de los 150 kg/cm^2 hasta 210 kg/cm^2 que es el rango que se estableció para este estudio, la resistencia a compresión a los 28 días para el hormigón patrón es $233,76 \text{ kg/cm}^2$ y para el hormigón con cascote de ladrillo varía entre $216,37$ y $190,28 \text{ kg/cm}^2$, que, comparándola con el rango establecido se encuentra dentro de valores esperados y planteados en la hipótesis de este estudio.

En lo que se refiere al valor de las densidades de las mezclas de prueba, de acuerdo a la bibliografía con la que se cuenta, se establecía una densidad promedio para el hormigón convencional de 2400 kg/m^3 y menor a 2000 kg/m^3 para los que se consideran hormigones livianos, el valor de densidad promedio para el hormigón patrón es $2465,37 \text{ kg/m}^3$ y para el hormigón con ladrillo se obtuvieron valores de densidad entre $2369,80$ y $2007,63$; este último estaría cerca de lo que se considera hormigón liviano, la reducción porcentual con respecto al hormigón patrón varía entre un $3,88$; $7,12$ y $18,57\%$, comprobando la hipótesis planteada de reducir un 15% la densidad del hormigón convencional.

Los resultados para los cálculos de absorción de agua para el hormigón con ladrillo son relativamente altos, ya que según parámetros considerados el valor considerado no puede superar el 12% de absorción para hormigones estructurales; sin embargo en hormigones con ladrillo debido a la naturaleza del agregado se estiman valores entre el 15 y 20% de absorción, lo recomendable para el uso de este tipo de hormigones es aplicar un enlucido al elemento estructural a fin de reducir la absorción de agua, el valor promedio obtenido para el hormigón patrón es $1,148\%$, y para el hormigón con ladrillo existen valores promedio de $3,94$; $5,478$ y $13,592\%$.

En lo que se refiere al aspecto económico de los tipos de mezcla obtenidos, observamos que existen reducciones en el orden de $1,62$; $2,71$ Y $5,41\%$, si bien no se estableció un

parámetro de disminución de costos se obtuvo una reducción considerable para el último tipo de mezcla.

4.5 Análisis de la trabajabilidad en las mezclas de hormigón

Según la experiencia que se tuvo en el vaciado de probetas para el presente estudio, con respecto a la trabajabilidad se puede decir que se tuvo una mezcla bien trabajable para el hormigón patrón debido a que las propiedades de los agregados, la cantidad de agua y cemento fueron las adecuadas, siendo menos trabajable las mezclas con ladrillo debido a la naturaleza del agregado sus propiedades físicas, su textura y forma, hicieron mezclas más difíciles de manejar, por lo que el vaciado de las probetas debía ser efectuado con rapidez para mantener la trabajabilidad de las mezclas.

4.6 Reciclaje del ladrillo

A partir del estudio realizado es posible establecer criterios para poder optimizar la obtención y posible producción del cascote de ladrillo como material de construcción.

En primer lugar se muestra la forma en cómo se encuentra el material en nuestro medio. Las cerámicas en la ciudad no realizan ningún tipo de tratamiento y básicamente acopian el material que se considera deshecho dentro de las mismas instalaciones, para luego transportar el mismo a sitios de relleno o poder disponer de este de alguna forma.

FIGURA 4.6-1 ACOPIO DEL DESHECHO DE LADRILLO EN CERÁMICAS



Pero para poder disponer del mismo se puede seguir un procedimiento similar al empleado en este proyecto y llevarlo a gran escala para el mejor aprovechamiento del material.

Para empezar es necesario una primera selección del material de acuerdo a su procedencia, retirando los residuos de escombros, si los hay considerando esta primera fase de transporte desde el lugar de procedencia, limpieza preliminar y acopio del residuo de ladrillo, tal cual lo podemos encontrar en nuestro medio.

FIGURA 4.6-2 SELECCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO



La segunda etapa comprende la etapa de trituración y reducción del material a partículas más pequeñas, que se puede realizar por métodos manuales como el picado de los residuos en la misma zona de acopio o por métodos mecánicos utilizando una trituradora para reducción del material previo al seleccionado.

FIGURA 4.6-3 MÁQUINA TRITURADORA DE LADRILLO



Este tipo de maquinaria basa su precio en la capacidad de producción que generalmente se encuentra entre 1,5 y 5 m³/hora para las más comunes, en cuanto al costo oscila entre los 3000 y 5000 USD; y existen las de más capacidad que van de los 15000 a 50000 USD.

La fase siguiente comprenderá el cribado del material reducido utilizando tamices graduados de grandes dimensiones (según los parámetros de la ASTM se deberá colocar mallas entre 2/12" y el tamiz N°4) por los cuales el material deberá pasar, clasificando de esta manera el árido y separando las partículas más pequeñas, proceso similar al que se sigue en las seleccionadoras de áridos, obteniendo un agregado más definido y listo para su comercialización y empleo.

FIGURA 4.6-4 SELECCIONADORA DE MATERIAL TRITURADO



Este tipo de maquinaria, debido a su alta complejidad representa una inversión muy grande que va desde los 280000 hasta los 400000 USD.

En resumen con estos criterios se puede plantear el establecimiento de una planta generadora de cascote de ladrillo como árido para construcción de una forma más o menos sostenible.

4.7 Aplicabilidad del trabajo de investigación

En la actualidad, lo que se refiere al cascote de ladrillo en nuestra ciudad es netamente un material de desecho de las cerámicas, que en general no es comercializado y empleado como relleno.

A partir de este trabajo de investigación se puede proponer aplicaciones al tipo de hormigón planteado, de acuerdo al objeto del estudio.

Basándose en el comportamiento de las mezclas se puede recomendar su empleo en elementos horizontales reforzados para separar niveles y cubiertas, es decir losas de espesor constante sustentadas por bordes paralelos, transmitiendo acciones a los forjados, arriostrando una estructura vertical más esbelta y estable, pudiendo realizar edificaciones de mayor altura.

El objetivo principal del aligeramiento, es el de optimizar los recursos de la construcción manteniendo las condiciones funcionales, estéticas y de seguridad previstas.

Aplicando el tipo de mezcla óptimo a la fabricación de losas podemos reducir las densidades que forman parte de la edificación, aprovechando las características tensionales de tipo estructural del material y optimizando el diseño arquitectónico.

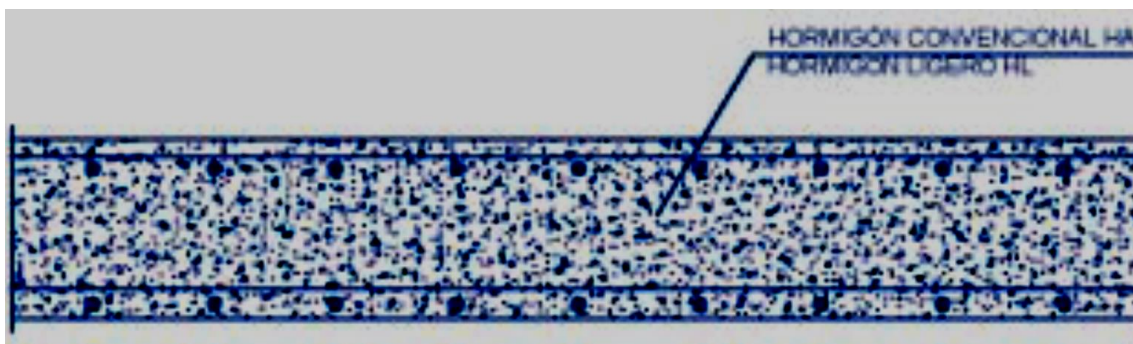
Se reduce el peso de cargas muertas por peso propio y cargas permanentes que representan maso menos el 50% de la carga total de la edificación.

El método constructivo a emplearse es similar al que se utiliza en la actualidad, es decir una estructura vertical porticada y forjados aligerados, empleados en edificios con sobrecargas de uso normales, edificaciones residenciales de todo tipo.

Como se trata de un elemento vertical la disposición de la armadura se puede realizar de igual manera que un elemento de hormigón convencional pudiendo obtener los siguientes tipos de forjado:

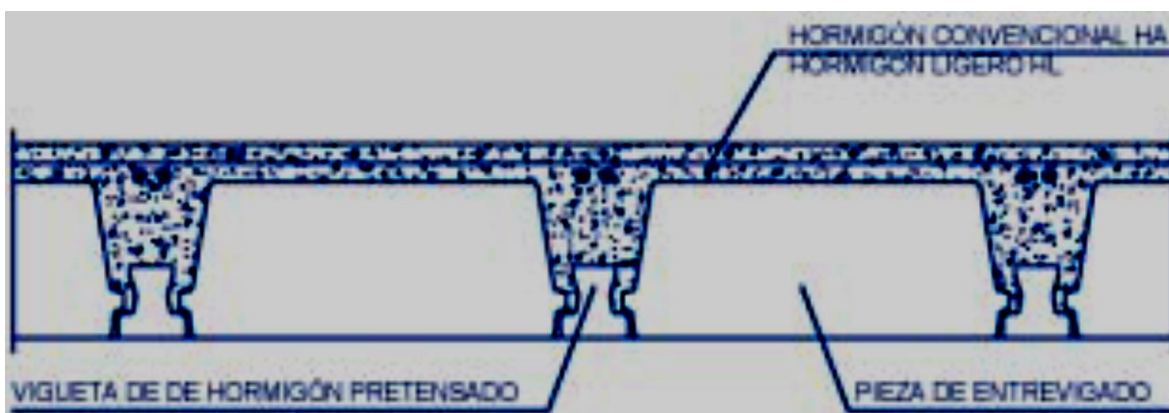
a) Losa armada

FIGURA 4.7-1 LOSA ARMADA DE HORMIGÓN CON LADRILLO



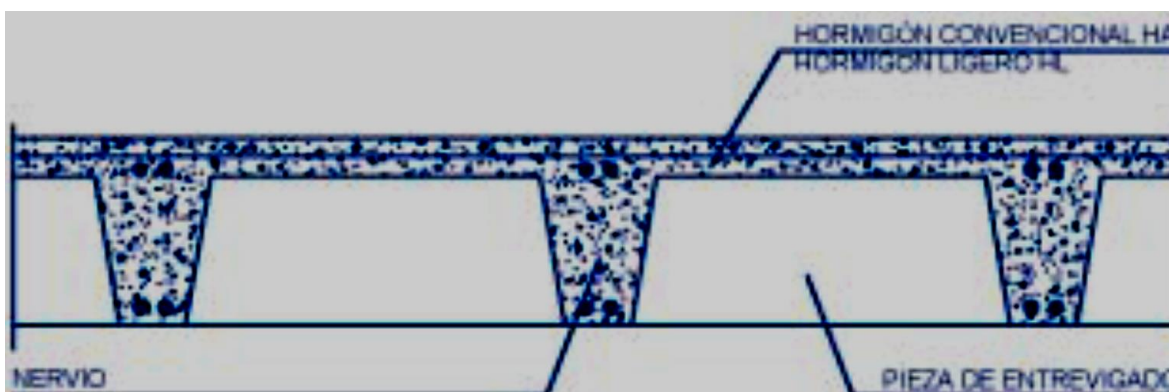
b) Losa unidireccional con vigueta pretensada

FIGURA 4.7-2 LOSA CON VIGUETAS PRETENSADAS DE HORMIGÓN CON LADRILLO



c) Losa unidireccional con nervio de hormigón armado vertido in situ

FIGURA 4.7-3 LOSA ALIGERADA VERTIDA IN SITU DE HORMIGÓN CON LADRILLO



Las aplicaciones que se le pueden dar al hormigón con cascote de ladrillo se basan exclusivamente en el diseño que se le dé, además de los agregados escogidos para la elaboración del mismo.

Este material también puede emplearse para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren de ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales; para la construcción de vivienda con características de aislamiento térmico.

No se descarta su empleo en elementos prefabricados como muros sin carga o muros divisorios, pero esto obedece a un desarrollo de tecnología más complejo y poco aplicado en nuestro medio; pero que con un manejo adecuado nos podría brindar grandes prestaciones técnicas, en montaje y transporte, planteando un esquema práctico de empleo:

FIGURA 4.7-4 PANEL DE FACHADA PREFABRICADA DE HORMIGÓN CON LADRILLO

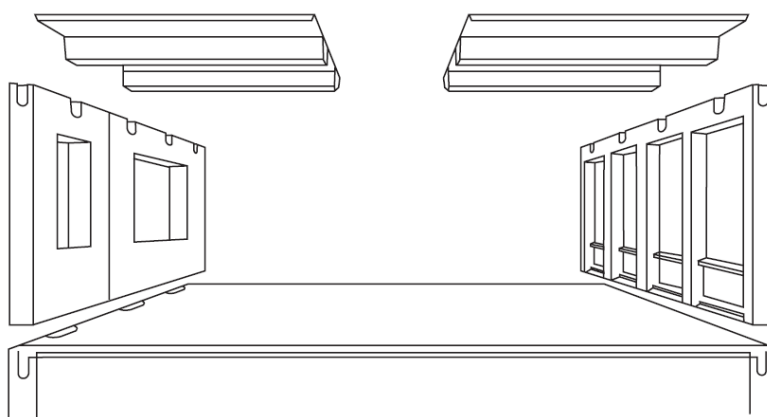
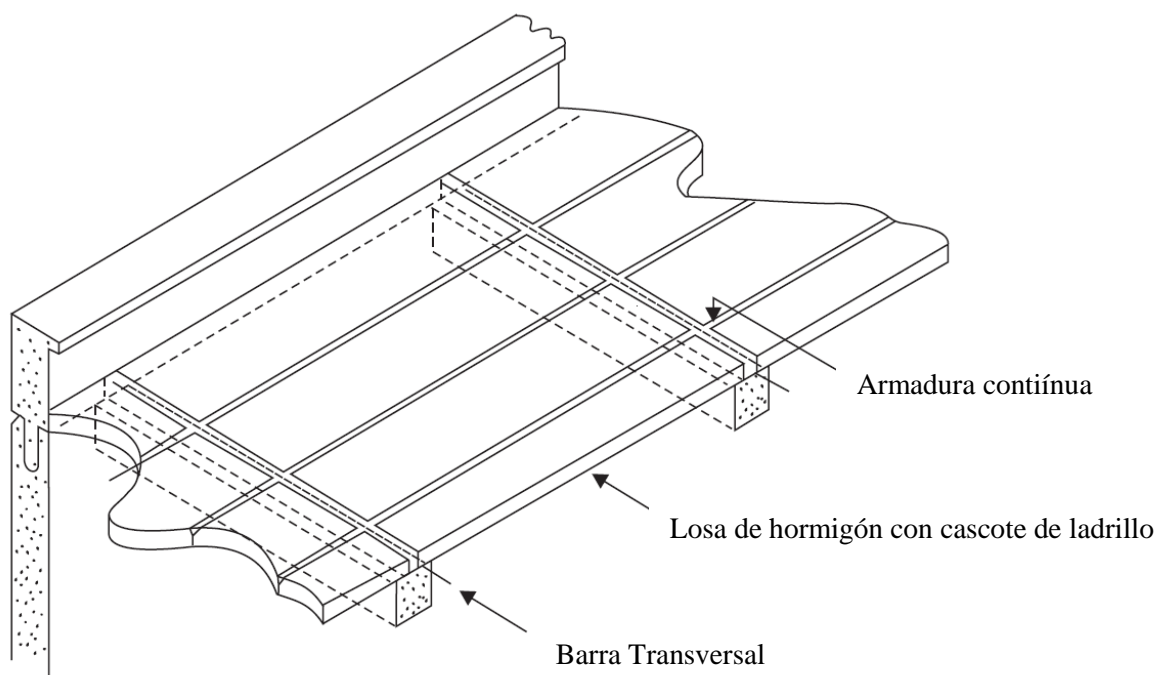


FIGURA 4.7-5 DISPOSICIÓN DE LOSA EN ESTRUCTURAS PREFABRICADAS



Y como otra aplicación de este material se puede proponer la elaboración de hormigones de relleno bases o pisos, rehabilitación de estructuras y reparación de forjados existentes.

4.8 Valoración del análisis

Las ventajas más relevantes del presente trabajo de análisis se explican detalladamente a continuación:

- Al ser un trabajo de investigación y además experimental, se asegura la veracidad de todos los resultados obtenidos, tanto de caracterización como de elaboración de muestras, análisis de rotura y otros parámetros obtenidos.
- Como se señaló anteriormente, todos los materiales componentes de las mezclas de hormigón fueron materiales existentes en nuestro medio, que diariamente son utilizados para conformar obras de construcción. Por lo tanto es propio y confiable realizar cualquier consulta requerida en el presente trabajo, sobre las propiedades, características en influencia de alguno de los materiales ensayados para algún tipo de mezcla.
- El poder representar los resultados de resistencia en gráficas y además en ábacos que correlacionan las distintas mezclas, ayuda bastante y de forma práctica en el mejor entendimiento del comportamiento del hormigón ante el esfuerzo de compresión con reemplazo en forma gradual de uno de sus agregados.
- El identificar la aplicación de las mezclas realizadas colaboran con el aporte que se quiere realizar con esta investigación al desarrollo de tecnologías alternativas en el diseño y cálculo de edificaciones.
- El realizar un análisis de precios, nos muestra las ventajas que el tipo de mezcla analizada puede tener frente a mezclas convencionales, pudiendo ser considerada como una alternativa en construcciones en la actualidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Con el estudio realizado se demuestra que el hormigón con cascote de ladrillo reúne las propiedades físicas y mecánicas necesarias para poder ser una alternativa del hormigón convencional.
- De acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados a los agregados (grava y arena), se establece que son materiales de calidad, de acuerdo a las especificaciones, parámetros y tolerancias que sigue la ASTM y el CBH 87, validando el estudio y resultados obtenidos.
- El cascote de ladrillo, también debe ajustarse a los parámetros mencionados anteriormente, para ello se realizó un proceso de selección del material, ya que de esto depende que se obtengan resultados favorables.
- Debido a los controles realizados en la elaboración, se logró obtener mezclas homogéneas, lo cual es muy importante en este tipo de hormigones, ya que de no ser así la mezcla puede presentar segregación de materiales, ocasionando una mala resistencia.
- Las ventajas que presenta el hormigón con cascote de ladrillo tales como: reducción de peso, precio y resistencia estructural admisible, sólo podrán ser aprovechadas siguiendo un proceso adecuado en su elaboración, aplicación y se cumplan las especificaciones de construcción.
- Habiendo realizado la comparación del hormigón con cascote de ladrillo con un hormigón convencional, se observa que si bien no presenta una alta resistencia a la compresión como un hormigón normal (A 210); puede considerarse de tipo estructural (mayor a 150 kg/cm^2).
- Se logró obtener una mezcla de hormigón cercana al considerado ligero (HL50%), ya que su densidad promedio ($2007,63 \text{ kg/m}^3$) está próxima a los límites establecidos ($< 2000 \text{ kg/m}^3$) para un hormigón liviano.
- De acuerdo a los resultados de los ensayos de resistencia a compresión para las diferentes mezclas, se toma como de mayor validez, los obtenidos a los 28 días, una vez que el hormigón ha alcanzado y obtenido todas sus propiedades mecánicas,

dado que son valores reales, mientras que los encontrados a los 14 días deben ser proyectados.

- El comportamiento de las mezclas elaboradas son similares a la de un hormigón normal por lo que se establece que es posible el uso de aditivos para mejorar o alterar de alguna forma las propiedades mecánicas de las diferentes mezclas.
- El porcentaje máximo de absorción obtenido en el estudio 13,592%, nos da un parámetro de la cantidad de agua que pueden retener las mezclas, como es un aspecto desfavorable, es necesario un control en su aplicación.
- El tipo de rotura que presentaron las mezclas después del ensayo de compresión para las mezclas con ladrillo son muy similares a las fisuras que se observaron en los mismos ensayos para las probetas de hormigón convencional.
- El reciclado y reutilización de materiales de deshecho tales como el ladrillo triturado, como material de construcción, reduce el acopio de materiales considerados escombros, colaborando con el medio ambiente y el impacto que genera al mismo los depósitos de estos materiales.
- La fabricación de hormigones a partir de residuos es un buen método para valorizar los mismos y evitar el despilfarro de materia prima que supone el vertido indiscriminado de estos para relleno.
- Se logró estimar un precio razonable para las distintas mezclas con ladrillo, verificando que los costos se reducen hasta un 5,41 % aproximadamente.
- El procedimiento empleado es sencillo y no precisa tecnología avanzada para su ejecución, los materiales se encuentran en nuestro medio y es posible ponerlo en práctica.
- Es posible la aplicación del hormigón con cascote de ladrillo a la elaboración de losas sometidas a cargas normales o de poca magnitud, aplicando métodos constructivos normales de acuerdo al comportamiento del hormigón, tomando en cuenta las medidas de elaboración y colocado adecuadas.
- Se demostró la hipótesis planteada en un principio, la reducción porcentual de la densidad de distintos tipos de mezcla de hormigón con ladrillo y la obtención de una resistencia a compresión considerada estructural y que se encuentre dentro de normas establecidas y estandarizadas para nuestra región, con lo que se comprueba

que el hormigón con cascote de ladrillo es una alternativa para los hormigones convencionales.

Recomendaciones

- Utilizar agregados (grava, arena y ladrillo), con granulometría adecuada y de acuerdo a normas estandarizadas, para garantizar la calidad de la mezcla, la resistencia y la reducción de su densidad.
- Realizar correctamente todos los ensayos de caracterización de materiales, para obtener una buena información de los mismos, ya que de ellos depende las características y propiedades finales del hormigón.
- Adoptar el procedimiento adecuado para el pesaje de los componentes de las mezclas, para no tener mucha variación en los resultados y asimismo reducir los errores accidentales en laboratorio.
- Ejecutar de forma precisa los pasos indicados en el método de dosificación del hormigón, sea el método que fuere.
- Las probetas deben ser almacenadas en un lugar apartado, que esté libre de movimientos e impactos y así lograr que transcurra su etapa de fraguado sin alteraciones.
- Se recomienda el uso de esta alternativa de hormigón en obras donde se precise reducir aligerar la carga muerta de las estructuras y donde se vea que las características de este hormigón son adecuadas.
- El manejo y procesamiento de datos debe ser consistente, se debe analizar toda la información obtenida, para poder expresarlos de forma clara tanto analítica como gráficamente.
- Se recomienda el reciclado del cascote de ladrillo a partir de los desechos de cerámicas de la ciudad o provenientes de la demolición de obras, a partir de distintos procesos como la selección del material, la trituración y reducción de partículas entre límites de normas estándar y la posterior clasificación del material, generando un tipo de agregado que en un futuro se pueda comercializar en nuestro medio para que su producción y utilización sea sostenible.