

CAPÍTULO I

EL OBJETO DE CONOCIMIENTO

1.1 El problema

1.1.1. Antecedentes.

La fabricación de hormigones con agregados reciclados procedentes de demoliciones no es un hecho reciente, sino que se ha potenciado en los últimos años por razones económico-medio ambientales.

Ya en tiempos de posguerra se iniciaron en los Estados Unidos las primeras investigaciones en este sentido, obteniendo los agregados a partir de la molienda de viejas construcciones (edificios, obras de arte, etc.). Esta fuente de obtención de áridos reciclados continúa hasta la fecha. Sin embargo, más recientemente y en razón de la expansión del uso del hormigón elaborado en plantas específicas frente al confeccionado en el lugar de las obras, se ha generado un importante cúmulo de material sobrante o retenido en los camiones mezcladores por excedente o fragüe prematuro, que obliga a los proveedores a desprenderse del mismo en el proceso de vaciado y limpieza de los tambores de dichos equipos. Lo señalado ha dado lugar a potenciar las investigaciones sobre su aprovechamiento en procura de la obtención de hormigones, fundamentalmente estructurales, de la mejor calidad posible.

En rigor, no se agotan las posibilidades de elaboración de hormigones empleando sólo el tipo de áridos naturales. En años recientes ha cobrado mayor fuerza e importancia el reciclado y reutilización de los residuos de construcción y demolición, fundado ello tanto en razones de valorización comercial como medioambientales. Precisamente, a partir de estos residuos es posible obtener nuevas variedades de agregados factibles de utilizar en la elaboración de hormigones.

Asimismo, muchas de las firmas proveedoras en Europa ven en lo anterior una fuente de reducción de costos y solución al problema de escoger el lugar de vertido de tales residuos, por lo cual ya se cuenta con plantas elaboradoras de hormigón a partir del hormigón reciclado, en los países del hemisferio norte se tienen los primeros antecedentes.

La ley del Medio Ambiente (Nro. 1333) tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población. De dicha ley se recopilan los artículos que hacen mención sobre la contaminación ambiental, la optimización y racionalización del uso de los recursos naturales no renovables, garantizando su disponibilidad a largo plazo.

ARTÍCULO 3º.- El medio ambiente y los recursos naturales constituyen patrimonio de la Nación, su protección y aprovechamiento se encuentran regidos por Ley y son de orden público.

ARTÍCULO 5º.- La política nacional del medio ambiente debe contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, sobre las siguientes bases:

- Definición de acciones gubernamentales que garanticen la preservación, conservación, mejoramiento y restauración de la calidad ambiental urbana y rural.
- Promoción de la conservación de la diversidad biológica garantizando el mantenimiento y la permanencia de los diversos ecosistemas del país.
- Optimización y racionalización del uso de aguas, aire, suelos y otros recursos naturales no renovables garantizando su disponibilidad a largo plazo.
- Incorporación de la educación ambiental para beneficio de la población en su conjunto.
- Promoción y fomento de la investigación científica y tecnológica relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales.
- Establecimiento del ordenamiento territorial, a través de la zonificación ecológica, económica, social y cultural. El ordenamiento territorial no implica una alteración de la división política nacional establecida.

ARTÍCULO 17°.- Es deber del Estado y la sociedad, garantizar el derecho que tiene toda persona y ser viviente a disfrutar de un ambiente sano y agradable en el desarrollo y ejercicio de sus actividades.

ARTÍCULO 19°.- Son objetivos del control de la calidad ambiental:

- 1.- Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población.
2. Normar y regular la utilización del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de la sociedad en su conjunto.
- 3.- Prevenir, controlar, restringir y evitar actividades que conlleven efectos nocivos o peligrosos para la salud y/o deterioren el medio ambiente y los recursos naturales.
- 4.- Normas y orientar las actividades del Estado y la Sociedad en lo referente a la protección del medio ambiente y al aprovechamiento de los recursos naturales a objeto de garantizar la satisfacción de las necesidades de la presente y futuras generaciones.

ARTÍCULO 33°.- Se garantiza el derecho de uso de los particulares sobre los recursos naturales renovables, siempre que cumplan lo dispuesto en el artículo 34 de la presente Ley.

ARTÍCULO 68°.- Pertenecen al dominio originario del Estado todos los recursos naturales no renovables, cualquiera sea su origen o forma de yacimiento, se encuentren en el subsuelo o suelo.

El análisis ambiental de acuerdo a la ley 1333 de un proyecto de Construcción, es un insumo importante para la evaluación socioeconómica y privada así como también para determinar la viabilidad técnica de un proyecto de esta naturaleza. Para este análisis deberán considerarse el impacto que el proyecto en cuestión pueda tener sobre la fauna, flora, calidad de aire, recursos forestales, recursos hídricos, balance ecológico de la región, uso de áridos y otros que pudieran ser afectados de forma significativa y/o irreversible a causa de la demolición y nueva construcción de obras.

El análisis no sólo debe detallar y justificar todos estos impactos sino también debe sugerir alternativas razonables para minimizar el impacto del proyecto y las medidas de mitigación necesarias para cada una de ellas.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los impactos ambientales y mitigación más importantes en una construcción civil en la etapa de construcción o ejecución.

ETAPA	IMPACTO	MITIGACIÓN
EJECUCIÓN	(-) SUELO: Exposición de suelo desnudos por limpieza y desbroce con consecuentes riesgos de erosión hídrica (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Recuperar la vegetación del suelo en áreas no construidas, ejecutar trabajos fuera de época de lluvias, si es posible.
EJECUCIÓN	(-) SUELO: Explotación de áridos de canteras y/o ríos de nuestra ciudad (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Realizar estudios sobre la reutilización de materiales reciclados producto de las actividades de construcción.
EJECUCIÓN	(-) SUELO: Contaminación por vertidos de desechos sólidos y líquidos (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Evitar la evacuación de residuos en área con corrientes de agua, especialmente si es permanente. Transporte de excedentes para reciclar, en contenedores o a relleno sanitarios
EJECUCIÓN	(-) AGUA: Contaminación con desechos sólidos. (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Evitar echar en cauces y prever el tratamiento de estos residuos, antes de su vertido a cualquier cauce natural. Transporte a buzones autorizados y rellenos sanitarios
EJECUCIÓN	(-) AGUA: Variación de Caudales (<u>A corto plazo, permanente, directo</u>)	Utilización racional de volúmenes de agua para riego y dejar el excedente en circulación natural
EJECUCIÓN	(-) AGUA: Incrementos de sólidos suspendidos (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Prever elementos disipadores de energía, reforestar las micro cuencas en los sectores.
EJECUCIÓN	(-) AIRE: Producción de gases tóxicos (NO ₂ , CO, CO ₂) generación de polvo y ruido por el funcionamiento de maquinaria y equipos (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Asegurar que la maquinaria se encuentre en perfecto estado y que tenga un mantenimiento riguroso, minimizando de esta forma la emanación de gases tóxicos, dotar de equipo necesario.
EJECUCIÓN	(-) FLORA: Deforestación por desbroce y limpieza sobre el sistema de riego y campamentos (<u>A corto plazo, temporal, directo</u>)	Reducir estrictamente al mínimo necesario el área de desbroce, realizar los trabajos previa notificación y autorización de los beneficiarios, recuperar el material forestal valioso de forma previa al ingreso de maquinaria pesada
EJECUCIÓN	(+) SOCIOECONÓMICO: Generación de empleos directos e indirectos (<u>A corto plazo, permanente, directo</u>)	
EJECUCIÓN	(+) SOCIOECONÓMICO: Generación de mejor condición de vida	

Fuente: Dirección de medio ambiente de la gobernación de Tarija

De acuerdo a la tabla de impacto y mitigación, con el aprovechamiento de escombros de hormigón procedentes de las actividades de construcción, contribuimos en la mejoría de la calidad de vida de los habitantes, ya que aportamos en las medidas de mitigación ambiental para los impactos de **suelo** (evitamos la sobreexplotación de canteras y ríos, además de reducir la contaminación ambiental producto del vertido de escombros en buzones y barrios periféricos de nuestra ciudad), **agua** (reducción de la contaminación ambiental producto del vertido de escombros en ríos y quebradas), **aire** (reducción de la contaminación ambiental a consecuencia de la producción de gases tóxicos, generación de polvo y ruido debido a la circulación de vehículos para la evacuación de escombros), y **socioeconómico** (contribuimos en la mejoría de la calidad de vida de la población, dando buen aspecto en calles y avenidas de nuestra ciudad).

1.1.2. Planteamiento.

En los últimos años y aunque con altibajos, en Bolivia, ha tenido lugar un incremento notable en el índice de edificación y la obra pública. Dentro del importante volumen de RCD (Residuos de Construcciones y Demoliciones) que se ha generado como consecuencia de lo acontecido, se destacan las roturas de hormigón provenientes de pavimentos, obras de arte y edificios por el espacio que ocupan al ser llevados a disposición final.

La ciudad de Tarija no ha quedado al margen de ello, el volumen de residuos de construcción y demolición generados en la obra pública y privada con motivo de expansión de la construcción habida en años recientes, ha incrementado notablemente, entre otras razones por contribuir considerablemente al temprano agotamiento de los lugares de evacuación de escombros autorizados por la Alcaldía municipal. De tales residuos, los escombros de hormigón son los que ocupan el espacio más significativo, debido al tamaño de las roturas y la gran cantidad de vacíos desperdiciados entre las fracciones.

Por lo cual, la inadecuada disposición de los escombros producidos en la ciudad de Tarija, a causa de remodelaciones, demoliciones, reconstrucciones, etc. Ha generado efectos negativos en nuestra ciudad tales como la contaminación ambiental,

disposición final de dichos escombros, costos de traslado de escombros y entre otros.

Para contrarrestar los efectos negativos producto de la inadecuada disposición de los escombros, se podría plantear el estudio de las siguientes alternativas de solución.

- ❖ Incorporar los escombros de hormigón como agregados reciclados en nuevos Hormigones, (Clasificar, seleccionar, triturar y dosificar).
- ❖ Reemplazar los agregados pétreos naturales por agregados pétreos artificiales.
- ❖ Desarrollar nuevos materiales de construcción a base de los escombros..

1.1.3. Formulación.

Frente al hecho observado, la pregunta que ha motivado la investigación que diera lugar a los estudios experimentales de laboratorio que se presentan, ha sido:

¿Cómo disponer los escombros adecuadamente?

Por consiguiente, el aprovechamiento de agregados reciclados para la elaboración de nuevos hormigones, además de aportar una solución al problema, otorga beneficios adicionales, medioambientales, por cuanto:

- a) Contribuye a la reducción de costos del producto final, al eliminar el transporte de áridos naturales desde su fuente de procedencia al lugar de elaboración de los hormigones y la evacuación de escombros.
- b) Evita la explotación y consecuente reducción de recursos naturales no renovables.

1.1.4. Sistematización.

Para la adecuada disposición de los RCDs, estudiaremos las alternativas más sobresalientes planteadas en el punto 1.1.2.

Incorporar los escombros de hormigón como agregados reciclados en nuevos Hormigones.

Técnicamente, la incorporación de RCDs en la elaboración de nuevos hormigones, permite lograr en éstos capacidades resistentes y propiedades mecánicas similares a los convencionales. Económicamente, elimina el costo de transporte de áridos naturales desde su fuente de procedencia al lugar de elaboración de los hormigones y la evacuación de escombros. Para la obtención de los escombros de hormigón, el proceso es mas sencillo comparado con otros escombros, ya que los hormigones al ser demolidos se encuentran en grandes fracciones.

Reemplazar los agregados pétreos naturales por agregados pétreos artificiales.

Técnicamente, la incorporación de los agregados artificiales, permiten al hormigón generar capacidades de resistencia similares al hormigón convencional, además de reducir el peso del mismo. En cuanto a la obtención de este material, resulta dificultosa, debido a que estos materiales no lo tenemos al alcance en nuestro medio.

1.2 Objetivos

1.2.1. General.

Reutilización de los escombros de hormigón provenientes de las actividades de construcción como agregados no convencionales en las mezclas de Hormigón estructural, con una dosificación para una resistencia f'_{ck} de 210 kg/cm².

1.2.2. Específicos.

- ❖ Realizar las pruebas de los agregados reciclados (granulometría, peso unitario, porosidad y absorción).
- ❖ Realizar las pruebas del hormigón en laboratorio, tanto en estado fresco (consistencia, peso unitario), como en estado endurecido (peso unitario, y resistencia a compresión a los 14, y 28 días de edad del hormigón) para una resistencia de f'_{ck} de 210 kg/cm².
- ❖ Realizar un análisis comparativo de resistencias entre el hormigón convencional y el hormigón a base de escombros.

1.3 Justificación

1.3.1. Teórica.

El presente trabajo de investigación se justifica teóricamente en aportar con innovaciones tecnológicas, para enriquecer y de esta manera ampliar los conocimientos, en los procesos de diseño de hormigones con material reciclado (Escombros de hormigón), como agregados en mezclas de concreto.

1.3.2. Metodológica.

A partir de la dosificación de un hormigón convencional patrón, metodológicamente se pretende reemplazar el agregado pétreo natural (grava) parcialmente por los agregados generados a base de escombros de hormigón en proporción volumétrica, representado en porcentaje, cuya variación comprende entre los rangos de 0% a 40%, de manera que las partículas de este ocupen el mismo volumen del agregado pétreo y generen un hormigón de comportamiento mecánico similar al hormigón convencional (patrón).

1.3.3. Práctica.

Mediante la incorporación de los escombros de hormigón como agregados no convencionales en nuevos hormigones, se pretende dar solución al problema de la inadecuada disposición de estos escombros que se producen en la ciudad de Tarija.

1.4 Hipótesis.

Se plantea la siguiente hipótesis como parte del método de este trabajo:

- La incorporación de escombros de hormigón como agregados no convencionales en mezclas de concreto estructural, hasta un 30% logrará generar en éstos características similares al hormigón convencional para uso estructural.

1.5 Alcance del estudio.

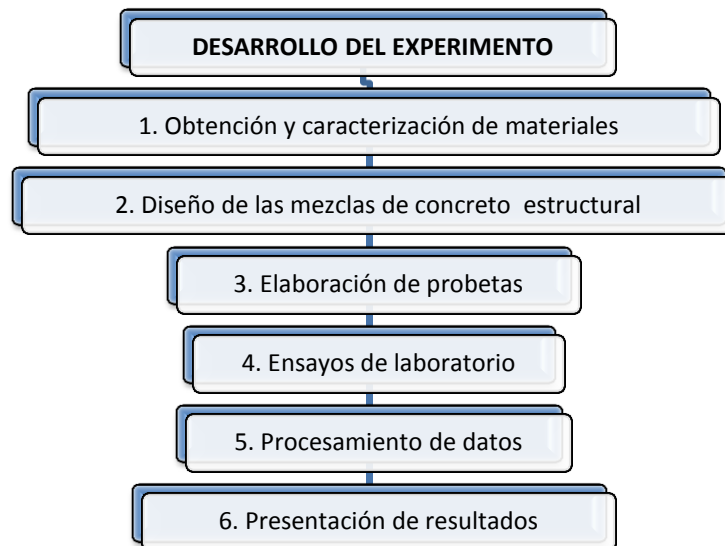
1.5.1. Tipo de Estudio.

El estudio se regirá en el diseño, de un hormigón convencional para uso estructural, basado en los ensayos A.S.T.M. para una mezcla de hormigón con una resistencia a compresión de 210 (kg/cm²).

El mismo quedará delimitado en una línea de investigación experimental cuasi empírica, ya que se tiene como propósito alterar la dosificación obtenida, de manera que los escombros de hormigón reemplacen parcialmente a los agregados pétreos naturales en la mezcla, cuyas variaciones estarán comprendidas entre los rangos de 0% a 40% (con variaciones cada 10%) del mismo.

Generando así ecuaciones empíricas que nos ayudarán a determinar el peso de la muestra para un determinado porcentaje del material propuesto, para elaborar las probetas estandarizadas, las cuales serán sometidas a ensayos para medir la resistencia a compresión a los 14, y 28 días de edad del hormigón.

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se plantea el siguiente esquema con los pasos a seguir, y de esta manera conseguir el objetivo del mismo.



Esquema del proceso del experimento. (Fuente : Elaboración propia)

*** Obtención y caracterización de materiales:** Para la caracterización del árido natural y reciclado se realizarán los mismos ensayos, según la norma ASTM.

La materia prima para la obtención del agregado reciclado será procedente de la demolición del mercado central de Tarija, el cual será sometido a un proceso de selección, clasificación, trituración y caracterización mediante los ensayos de:

- Granulometría.
- Peso unitario.
- Porosidad y absorción.

***Diseño de las mezclas:** Para determinar las cantidades de los materiales (cemento, agua, agregados y aditivos), se utilizará como puntos base de cálculo los siguientes:

- Selección de la resistencia requerida ($f_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$)
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso
- Selección del asentamiento.
- Selección del contenido de aire atrapado
- Seleccionar el contenido de agua
- Selección de la relación agua/cemento (a/c)
- Calculo del contenido de cemento.
- Seleccionar el peso del agregado grueso.
- Calcular el volumen absoluto de todos los materiales.
- Calculo del agregado fino.
- Calculo del peso en estado seco del agregado fino.
- Presentación del diseño en estado seco.
- Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.
- Presentación del diseño en estado húmedo.
- Corrección del diseño para variaciones de agregado reciclado.

***Elaboración de probetas:** La medida de la resistencia a compresión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas. Por tanto las probetas serán elaboradas en cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. Se elaborarán probetas estandarizadas, las cuales se desglosan en el siguiente cuadro:

Tipo de Hormigón	% de Agregado natural	% de Agregado reciclado	Numero de Probetas
THp	100	0	14
TH1	90	10	14
TH2	80	20	14
TH3	70	30	14
TH4	60	40	14

Cuadro: Numero de probetas para diferentes porcentajes de sustitución de grava por A.R.

***Ensayos de laboratorio:** Los ensayos se realizarán en el laboratorio de hormigones de la U.A.J.M.S. de la ciudad de Tarija. Cuyos ensayos serán efectuados tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En estado fresco:

- Consistencia.
- Peso unitario.

En estado endurecido:

- Peso unitario.
- Resistencia a compresión.

***Procesamiento de datos:** Luego de realizar los ensayos y obtenidos los datos, se realizará el trabajo de gabinete, el cual comprende en el procesamiento de datos mediante cálculos que nos permitan evaluar y realizar una comparación técnica y económica entre el hormigón convencional y el hormigón a base de escombros (hormigón reciclado).

****presentación de resultados:*** Se presentarán los resultados obtenidos en forma tabulada y detallada para cada tipo de hormigón.

1.5.2. Restricciones y/o limitaciones.

El campo del trabajo de investigación está delimitada a estudiar la resistencia a compresión y sus características físicas del hormigón, a través de un diseño de mezcla basado en los ensayos de la norma A.S.T.M. para una resistencia mecánica de 210 (kg/cm²), siendo el punto de partida para reemplazar parcialmente y/o totalmente el agregado grueso y el fino, de manera que el material alternativo ocupe dicho volumen, y de esta manera encontrar el porcentaje de escombros de hormigón adecuado que tenga características similares al hormigón convencional. Además que se realizará un análisis comparativo de propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1 Áridos reciclados (RCD).

Se entiende por árido reciclado aquél que resulta del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción. Según el origen de los residuos pueden distinguirse áridos reciclados procedentes de hormigón, áridos reciclados procedentes de residuos cerámicos y áridos reciclados mixtos siendo estos últimos los obtenidos a partir de residuos de distinta naturaleza. El único árido reciclado factible de utilizarse en la fabricación de hormigón estructural, es el procedente de residuos de hormigón. Con la finalidad de que las impurezas no presenten efectos negativos sobre la resistencia y la durabilidad del mismo se deberán limitar ciertas propiedades. Los áridos reciclados procedentes de hormigón, con tamaño superior a 4 mm son, por lo general, apropiados para fabricar hormigón siempre y cuando cumplan las especificaciones correspondientes a la aplicación concreta en la que vayan a ser empleados. De ahora en adelante, para referirnos al árido reciclado procedente de hormigón, utilizaremos la denominación simple **árido reciclado**.

Se denomina hormigón reciclado al que se fabrica con árido reciclado o con mezcla árido reciclado y árido natural. En la mayoría de los estudios consultados se ha determinado la influencia negativa sobre las propiedades del hormigón como consecuencia de la utilización de la fracción fina del árido reciclado. Por esta razón la mayoría de ellos se centra en la sustitución de un porcentaje determinado del Árido grueso natural por árido reciclado. Por lo general se establece una comparación entre el hormigón fabricado con árido reciclado y un hormigón de control fabricado con la misma dosificación pero Empleando árido natural.

El empleo de áridos reciclados en la fabricación de hormigón afecta a las propiedades del mismo. Los resultados obtenidos en su empleo para la fabricación de hormigón presentan diferencias como consecuencia de la heterogeneidad que presentan los distintos áridos reciclados con los que se fabrican.

En la actualidad pocos países disponen de normativa para el empleo de áridos reciclados en Hormigón estructural. En ellas pueden observarse distintas tendencias en lo que al contenido máximo de árido reciclado, a la calidad exigida al mismo o a las limitaciones en cuanto a su utilización se refieren.

2.2 Procesos de producción de áridos reciclados.

La producción de áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón se realiza de forma similar al proceso que se emplea para producir áridos naturales machacados. Las plantas que se emplean con dicha finalidad incorporan varios tipos de trituradoras, tamizadoras y equipos para eliminar los residuos no deseados. Si los residuos son seleccionados adecuadamente en origen, los sistemas de eliminación de materiales no deseados se ven reducidos sensiblemente. Las plantas de producción de áridos reciclados pueden clasificarse, en función de su capacidad de transporte, en plantas fijas y plantas móviles presentando las primeras una capacidad de producción sustancialmente mayor.

El proceso de producción de áridos reciclados varía de unas plantas productoras a otras, según las necesidades y el destino final del producto obtenido. En la figura 2.2.1 puede observarse un esquema simplificado de dicho proceso. De forma resumida puede describirse a través de las siguientes operaciones:

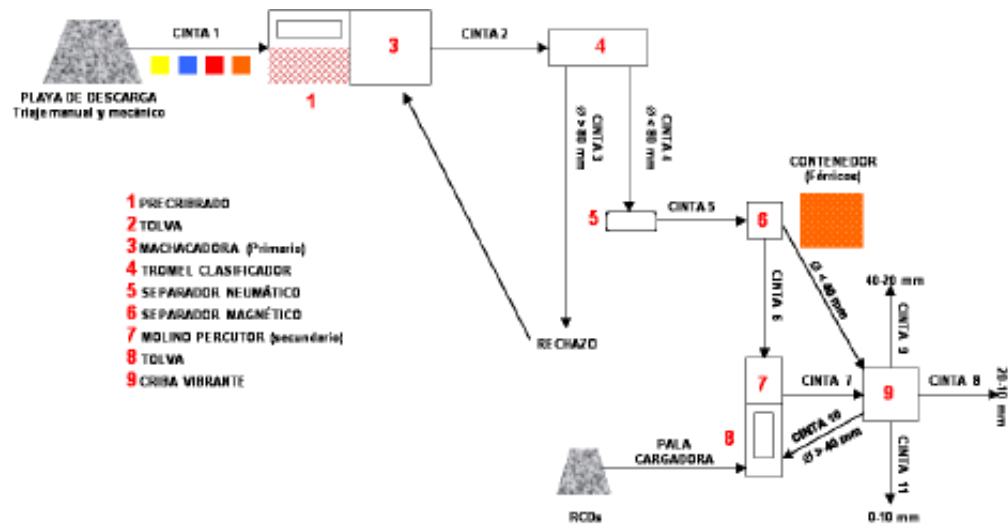


Figura 2.1 Proceso de producción de RCDs

1. Los bloques mayores de hormigón se reducen con un martillo hasta conseguir el tamaño adecuado para ser introducidas al triturador.
2. Antes de triturar y clasificar el material se realiza un pre cribado del mismo con el fin de realizar un control de tamaño separando los más pequeños, para aprovecharlos directamente, de aquéllos cuyo tamaño es mayor. De acuerdo al TMN de agregado que sea necesario utilizar.
3. La trituración primaria consta, por lo general, en las plantas fijas de un molino de impactos, un separador magnético, cabina de triaje, cribas y cintas transportadoras.
4. Un pala cargadora realiza el transporte de los residuos de hormigón desde el acopio hasta la cinta de alimentación del molino primario. Dicho molino rompe los bloques a través de la acción de pantallas solidarias al bastidor de trituración mediante esfuerzos de compresión y cizalladura. Admite tamaños hasta de 500 mm. Como molino primario también puede disponerse una machacadora de mandíbulas.
5. El separador magnético, situado a la salida del molino, separa los elementos metálicos que puedan haber quedado mezclados con el hormigón. Un separador neumático permitiría eliminar los materiales de baja densidad.
6. El material resultante pasa a una cabina de triaje donde, de manera manual, se eliminan los restos de plásticos, maderas, o metales no detectados en el separador magnético.
7. El árido reciclado se introduce en una tolva con una criba de corte de 40 mm a través de una cinta transportadora. Todo lo que pasa se transporta a otras cribas dispuestas en serie y con luces de malla correspondientes a los cortes de la grava, la gravilla y la arena formando los diferentes acopios. Lo que queda retenido pasa a la trituración secundaria.
8. En la trituración secundaria se reduce el tamaño del material utilizando otro molino de impactos hasta obtener la granulometría adecuada.

Sin embargo para la trituración de los escombros en obra existen diferentes tipos de trituradoras como ser trituradoras de mandíbulas, de impacto, de martillo y entre otras.

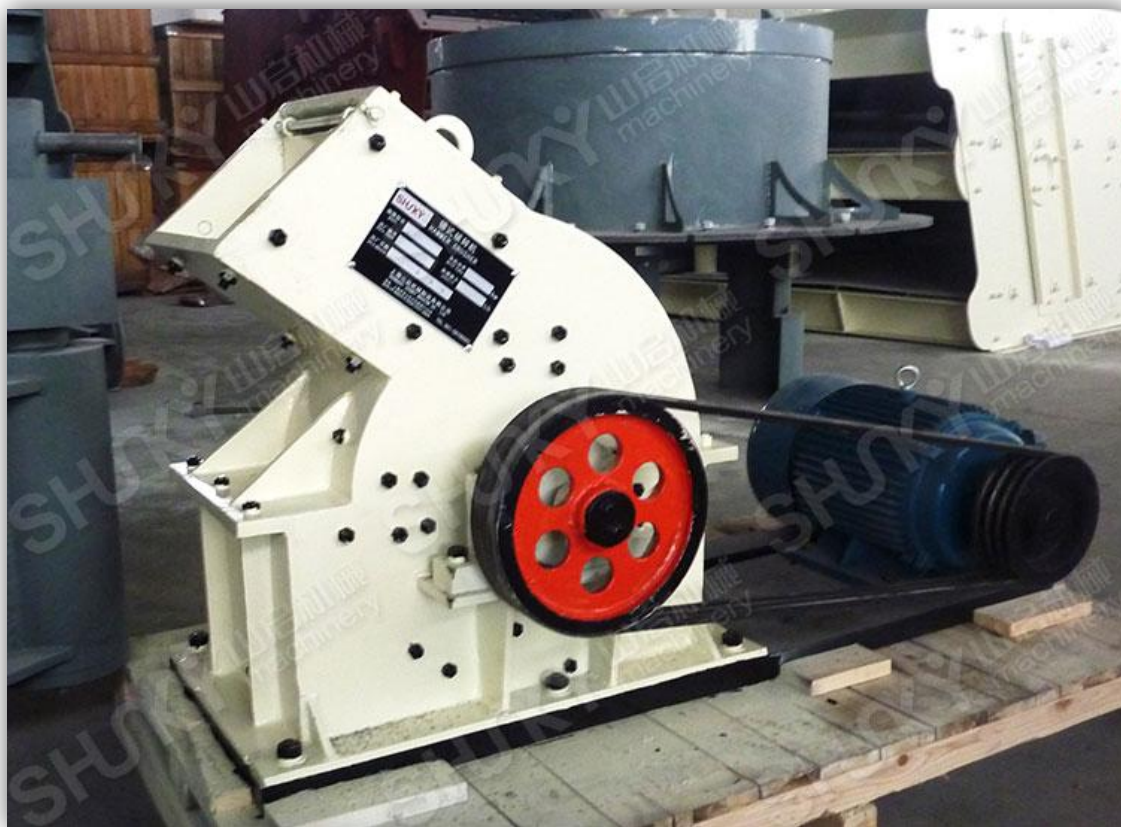
TRITURADORA DE MANDÍBULA



TRITURADORA DE IMPACTO



TRITURADORA DE MARTILLO



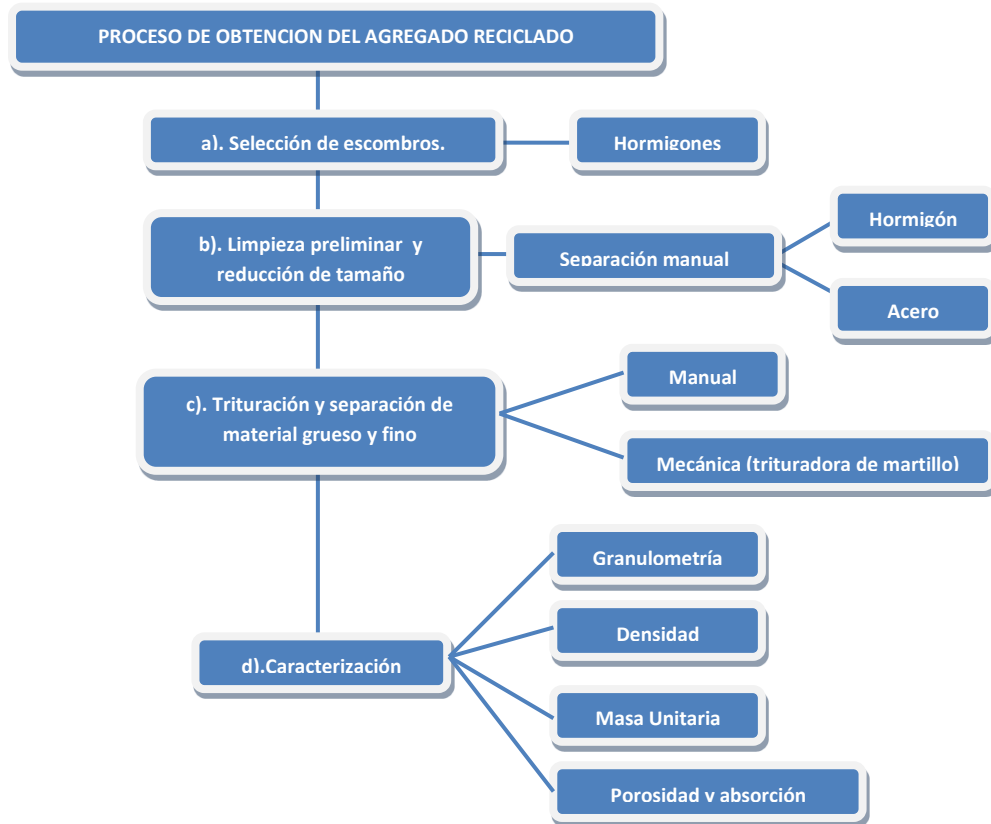
Trituradora de martillo es ampliamente utilizado para la industria global, se puede utilizar en la trituración primaria, secundaria y incluso de tercera. Es una máquina de cribar, puede separar el tamaño grande y pequeño en dos partes diferentes.

Características

1. Estructura simple
2. Fácil de operación y reparación
3. Bajo consumo
4. Gran capacidad de entrada, la granularidad buena

Existen diferentes modelos y tamaños de trituradoras de martillo, según el tamaño de entrada y salida de las partículas, además de la capacidad de producción del mismo.

Se presenta el siguiente esquema para la obtención del material reciclado con trituradora de martillo y manual.



2.2.1 Demolición selectiva.

Se lleva a cabo con el fin de separar y prevenir la mezcla de materiales perjudiciales como madera, cartón, plásticos, etc., de los áridos reciclados que se desean obtener. Los escombros procedentes de obras de ingeniería civil presentan una baja contaminación pero, al proceder la mayoría de los RCDs de estructuras de edificación, si la demolición no se realiza de forma selectiva, el proceso de separación y selección ha de realizarse, posteriormente, en la planta de reciclaje con el consiguiente aumento de costos. Es indudable que el proceso de demolición selectiva resultará más caro que la demolición tradicional pero puede compensarse en parte al reducirse los costes de transporte y las tasas de vertido. No obstante presenta algunas ventajas como la reutilización directa de diversos materiales o destinar al vertido una masa que representa el 65% de la demolición total. El proceso de demolición selectiva se lleva a

cabo desmantelando en primera instancia las molduras y sacando los desechos, a continuación se desmantela la carpintería de taller (puertas, ventanas, etc), la cubierta y las instalaciones (agua, saneamiento, electricidad, gas, etc). Posteriormente se demuele la tabiquería y, por último, se procede a la demolición de la estructura. Este tipo de demolición es la que se realizó en el mercado central de la ciudad de Tarija.



Fotografía: Mercado central en proceso de demolición

2.3 Características del árido reciclado.

2.3.1 Granulometría.

Para la clasificación por tamaños de las distintas fracciones se siguen las recomendaciones para un hormigón convencional en la que establece como serie básica de tamices la formada por los siguientes: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4 y #8 según las especificaciones ASTM para agregados naturales.

La granulometría del árido reciclado depende fundamentalmente del sistema de trituración que se haya empleado en su proceso de producción. Las trituradoras de impacto, por lo general, son las que permiten alcanzar reducidos tamaños en los áridos produciendo como consecuencia mayor cantidad de finos. A estas trituradoras las

siguen las de conos con una producción de finos inferior y las machacadoras de mandíbulas.

La cantidad de árido grueso generado oscila entre el 70% y el 90% de la producción. Por lo general, esta fracción gruesa se ajusta a los requerimientos que exigen las normativas vigentes para un hormigón convencional, quedando enmarcada dentro de los husos granulométricos de referencia establecidos en ellas. Es evidente que el tamaño obtenido en la trituración depende fundamentalmente del tamaño que tenía el hormigón de procedencia. Los áridos reciclados presentan formas angulosas debido al proceso de machaqueo y un aspecto rugoso como consecuencia del mortero adherido a ellos.

Para el mismo tamaño máximo de árido, un árido reciclado experimenta pequeñas variaciones de su módulo granulométrico si el sistema de trituración empleado ha sido el mismo que para el árido natural. Como consecuencia de la disgregación que sufre el árido grueso reciclado durante su transporte y almacenamiento, una vez tamizado se siguen obteniendo porcentajes muy reducidos de. Dichos valores oscilan entre el 0,5% y el 2%. Esta fracción fina se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero influyendo negativamente en las propiedades del hormigón. Sin embargo existen normativas extranjeras para agregados reciclados como ser: norma Española, Alemana, Belga, Japonesa, etc, que establecen ciertos parámetros en contenido de finos en el agregado reciclado. En nuestro país aún no contamos con una normativa para agregados reciclados, por lo cual se realizara la separación de árido reciclado grueso y árido reciclado fino por el tamiz Nro. 4 (5mm).

2.3.2 Peso unitario.

El peso unitario del árido reciclado es menor que la del árido convencional ya que el primero presenta una capa de mortero adherido cuya densidad es inferior a la del árido. La fracción fina obtenida es la que menor densidad tiene debido a la mayor cantidad de mortero adherido que poseen sus partículas por unidad de peso.

Los factores más influyentes sobre la densidad son: el proceso de producción del árido, el tamaño de las fracciones obtenidas y su grado de contaminación.

Si en el proceso de fabricación del árido reciclado se empleó una trituradora de impactos, el valor obtenido en la densidad del árido reciclado grueso es ligeramente superior que en los casos en que para su obtención se hayan empleado trituradoras de conos o machacadoras de mandíbulas. Esto es debido a que la trituradora de impactos elimina mejor el mortero adherido en el árido grueso. Así, en la bibliografía consultada dichos áridos alcanzan un valor correspondiente al 90% de la densidad del árido natural, después de haberlos sometido a dos etapas sucesivas de triturado mediante machacadora de mandíbulas y trituradora de impactos. Dicho valor alcanza el 95% cuando son cuatro las etapas de trituración.

2.3.3 Absorción.

La absorción en los áridos reciclados alcanza valores muy superiores a los obtenidos en los áridos naturales. Sin duda alguna esto es debido a la cantidad de mortero adherido que presentan dichos áridos. En áridos naturales los valores de la absorción oscilan entre un 0% y un 4% mientras que en los diferentes estudios consultados los valores obtenidos en áridos reciclados van desde un 3,3% hasta un 13% aunque, por lo general, la mayoría sobrepasa el valor límite de un 5% .

El tamaño del árido reciclado influye de manera decisiva sobre la absorción. En las fracciones más finas la absorción es mayor, ya que en ellas la cantidad de mortero adherido es superior que en las fracciones más gruesas, siendo más acusado dicho efecto cuanto menor sea la densidad del árido reciclado.

Una vez transcurridas 24 horas, la absorción sigue presentando valores diferenciados, según el tamaño del árido reciclado, en densidades bajas. Dicha diferencia prácticamente se anula para densidades más elevadas.

También, el sistema empleado en el procesado de los RCDs para la obtención de áridos reciclados permite reducir la absorción, ya que a medida que los RCDs pasan por diferentes trituradoras la cantidad de mortero adherido a los áridos disminuye.

Algún estudio realizado ha obtenido valores de la absorción algo mayores cuando se utilizan machacadoras de mandíbulas o molinos de impacto.

Cuando los áridos reciclados proceden de hormigones que presentaban resistencias elevadas la absorción es menor que en los de resistencias más bajas.

2.4 Dosificación del hormigón reciclado.

La dosificación del hormigón utilizando áridos reciclados pretende establecer las cantidades óptimas de cemento, agua, áridos naturales, áridos reciclados que nos permitan obtener una determinada trabajabilidad del hormigón en estado fresco y un valor estipulado de su resistencia a compresión, a una edad determinada, una vez endurecido. La dosificación de hormigones con áridos reciclados se realiza con los métodos habitualmente empleados en los hormigones convencionales.

Una vez establecida la dosificación tipo se efectúan amasadas de prueba que permiten ajustar la dosificación definitiva.

Para asegurar la calidad del hormigón reciclado fabricado es muy importante realizar un control exhaustivo de la densidad, absorción y humedad del árido reciclado tanto durante el proceso de producción como en el acopio. Si la dosificación se realiza en peso se tendrá en cuenta la menor densidad del árido reciclado. Resulta muy conveniente realizar ensayos previos para determinar la cantidad de agua libre necesaria para obtener una determinada consistencia. También puede determinarse la relación árido grueso/árido fino para conseguir la consistencia deseada o la relación agua libre/cemento para obtener la resistencia adecuada.

2.4.1 Contenido de agua.

La cantidad de agua necesaria para la dosificación de hormigones con áridos reciclados es mayor que la que se precisa en un hormigón convencional debido, sobre todo, a la presencia de mortero adherido a la matriz rocosa de los áridos que hace que la absorción de los mismos presente valores superiores a la de los áridos naturales. El incremento de agua necesario para obtener la misma consistencia se estima entre un 5% y un 12% respecto a un hormigón convencional.

2.4.2 Contenido de cemento.

Debido a la peor calidad del árido reciclado se necesitará un incremento adicional en la cantidad de cemento, respecto al mismo hormigón fabricado con áridos naturales, para mantener la resistencia y la consistencia. Según los estudios consultados, cuando se sustituya el árido grueso en su totalidad por árido reciclado la cantidad de cemento aumenta en más del 5%. Si se sustituye el árido grueso y el fino por árido reciclado dicha cantidad aumenta hasta un valor superior al 15%. Para sustituciones menores al 50% del árido natural por árido reciclado el incremento de cemento oscila entre el 1% y el 5%.

Para el presente trabajo de investigación se mantendrá la cantidad de cemento, para de esta manera poder determinar hasta qué porcentaje de sustitución sería recomendable utilizar de manera que la resistencia se encuentre dentro del rango que establece la norma.

2.4.3 Relación agua-cemento.

La fabricación de hormigón utilizando áridos reciclados incrementa la cantidad de agua de amasado, respecto a un hormigón fabricado con áridos naturales con la misma consistencia, debido a la mayor absorción que presentan dichos áridos. El aumento de la consistencia en el hormigón fresco es progresivo, conforme aumenta el tiempo de amasado, ya que la absorción de agua por parte del árido se va efectuando de manera lenta y gradual. Dichos incrementos oscilan entre un 5% y un 12% del volumen de agua total. Cuando en la fabricación se utiliza árido reciclado grueso y fino dichos porcentajes aumentan entre un 14% y un 15%. Al aumentar la cantidad de agua cuando se utilizan áridos reciclados, la cantidad de cemento deberá aumentar en la misma proporción para que la relación agua-cemento permanezca invariable. Cuando en el hormigón reciclado se sustituye el árido grueso y el árido fino se produce una caída en la resistencia a compresión comprendida entre un 10 y un 50% por lo que la cantidad de cemento añadida para mantenerla ha de ser mayor. Para establecer la cantidad de agua necesaria se tendrán en cuenta las siguientes relaciones:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{árido}} + A_{\text{añadida}}$$
$$A_{\text{añadida}} = A_{\text{libre}} + A_{\text{absorbida}}$$

Hay que dejar constancia de la falta de homogeneidad de este ajuste debido a las variaciones que puede presentar el árido respecto a su humedad y a su absorción. Si el árido reciclado que vaya a utilizarse se satura previamente se puede prevenir el aumento de consistencia y el rápido endurecimiento del hormigón. Para alcanzar este estado de saturación los estudios consultados no se ponen de acuerdo.

Así, algunos autores sumergen el árido veinticuatro horas y después lo secan superficialmente, otros recomiendan sumergir el árido una hora y algún estudio considera suficiente diez minutos. Indicar al respecto los problemas que surgirían para realizar la saturación de los áridos dentro de las plantas de fabricación de hormigón.

Con el fin de mantener la misma consistencia sin incrementar la cantidad de agua puede añadirse como aditivo un superplastificante, lo que redundará en mejorar la resistencia ya que la relación agua-cemento efectiva es menor. Por otra parte, llevará aparejado un costo más elevado. Se añadirá poco antes de la puesta en obra y de manera gradual para evitar que durante el periodo de absorción del árido reciclado parte del aditivo sea absorbido por este.

2.4.4 Relación árido fino-árido grueso.

Esta relación nos permite obtener la cohesión deseada en el hormigón reciclado y su valor es próximo al que presentan los hormigones convencionales, aunque durante el amasado del hormigón, como ya comentamos con anterioridad, la cantidad de finos aumenta provocando, por lo tanto, un incremento de la relación árido fino-árido grueso por encima del valor óptimo correspondiente. En todo caso la curva de referencia para el árido reciclado deberá ser igual a la del árido original.

2.4.5 Adiciones.

En estudios realizados se ha observado que el empleo de adiciones de humo de sílice, en un porcentaje del 8% en peso sobre el peso de cemento, mejora la resistencia a

compresión y la fisuración. Las mezclas obtenidas presentan una trabajabilidad similar a la del hormigón de control.

2.5 Propiedades del hormigón reciclado fresco.

2.5.1 Consistencia.

La fabricación de hormigones con áridos reciclados conlleva un aumento de la consistencia, para una misma relación agua-cemento, respecto a un hormigón convencional. Al presentar los áridos reciclados valores elevados en su absorción, la cantidad de agua absorbida por los áridos durante el proceso de amasado del hormigón será tanto más importante cuanto mayor sea el porcentaje de sustitución del árido. Como consecuencia se producirá una reducción de la relación agua-cemento efectiva y, por lo tanto, un aumento de la consistencia del hormigón fresco. Otros estudios realizados han obtenido consistencias similares en hormigones fabricados con áridos reciclados y en el correspondiente hormigón de control utilizando diferentes valores para la relación agua-cemento. Aunque el factor fundamental que provoca un aumento en la demanda de agua en estos hormigones es la elevada absorción del árido reciclado, otros factores como su textura rugosa o el cambio de la granulometría del árido reciclado durante el proceso de amasado, pueden contribuir a dicho incremento.

En la figura 2.5.1.1 puede observarse la evolución de la consistencia en un hormigón de control y en otro fabricado con árido reciclado. Se ha utilizado la misma dosificación y la misma curva granulométrica para ambos.

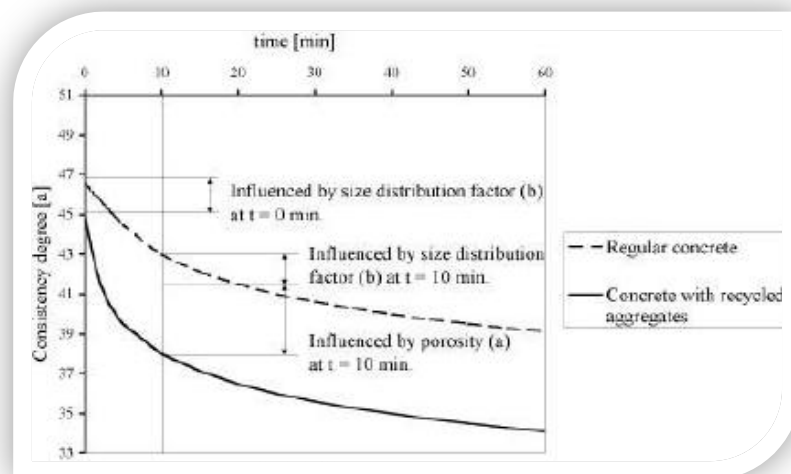


Figura 2.5.1.1 Comparación de consistencia entre el hormigón reciclado y el de control.

Como puede observarse el aumento en la consistencia es debido, en principio, al desprendimiento del mortero adherido al árido. Después de transcurridos los diez primeros minutos la consistencia del hormigón aumenta considerablemente a causa de la elevada absorción del árido reciclado. A partir de entonces ambas curvas discurren casi paralelamente.

Para obtener una determinada consistencia puede procederse de varios modos:

1. Estimar la cantidad de agua adicional mediante ensayos previos.
2. Saturar el árido reciclado antes de proceder al amasado.
3. Utilizar un aditivo super plastificante.

Respecto a la primera opción cabe indicar que, al presentar bastante heterogeneidad el árido reciclado, será difícil establecer un valor único para la absorción y para la cantidad de agua que necesitará añadirse.

La saturación del árido reciclado, para la producción de hormigón a escala industrial, presenta problemas logísticos ya que en la planta de fabricación habría que disponer de las instalaciones adecuadas que permitieran sumergir los áridos que se encuentran en el acopio hasta lograr su saturación. En los trabajos consultados al respecto puede observarse que en hormigones fabricados con áridos reciclados saturados previamente la consistencia disminuye significativamente respecto a los mismos hormigones que incorporaban el árido reciclado seco.

La adición de un aditivo super plastificante en un momento dado permite corregir la consistencia del hormigón sin añadir cantidad alguna de agua. El aumento del costo de fabricación puede verse compensado por la baja relación agua-cemento, en relación con los dos métodos anteriores, y el consiguiente aumento de la resistencia del hormigón.

2.5.2 Peso unitario.

El peso unitario del hormigón fresco fabricado con árido reciclado es inferior a la del hormigón normal, debido a la menor densidad que presenta el árido reciclado como consecuencia del mortero adherido que envuelve a la matriz rocosa.

Los valores del peso unitario oscilan entre 2,13 y 2,40 kg/dm³.

2.5.3 Exudación.

Si el árido reciclado que se emplea en la fabricación de hormigón se utiliza previamente saturado la exudación será similar a la de los hormigones convencionales. Si, por el contrario, el árido reciclado se utiliza seco, la exudación del hormigón fabricado con árido reciclado presentará valores muy por debajo de los correspondientes al hormigón de control. Debido a la elevada absorción del árido reciclado el hormigón retiene mayor cantidad de agua.

2.6 Propiedades del hormigón reciclado endurecido.

2.6.1 Peso unitario (densidad).

La menor densidad del árido reciclado hace que la densidad del hormigón reciclado endurecido sea inferior a la del hormigón convencional. En estudios realizados el descenso de la densidad es prácticamente inapreciable cuando la sustitución del árido grueso es del 20%. Cuando la sustitución es del 50% la densidad experimenta una reducción media del 2%. Dicha reducción llega a un valor medio del 8% cuando el porcentaje sustituido de árido grueso es del 100%.

2.6.2 Resistencia a compresión.

En general, la resistencia a compresión en los hormigones fabricados con árido reciclado disminuye con respecto a los convencionales, manteniendo en ambos la misma relación agua-cemento, siendo dicha disminución más significativa cuanto mayor sea el porcentaje de árido grueso sustituido. Las causas más influyentes en este aspecto son:

- La cantidad de mortero adherido a la matriz rocosa que hace que el árido reciclado tenga una menor resistencia mecánica que el árido natural.
- El aumento de zonas débiles en la masa de hormigón endurecido al utilizar áridos reciclados, ya que a la superficie de contacto entre el árido natural y el mortero adherido que lleva se suma la superficie de contacto, más débil aún, existente entre los áridos reciclados y el mortero nuevo.

En la mayoría de los estudios consultados la influencia de los áridos reciclados sobre la resistencia a compresión del hormigón se ha analizado estudiando separadamente los dos casos siguientes:

- 1. Sustitución de diferentes porcentajes del árido grueso natural por árido reciclado.*
- 2. Sustitución de diferentes porcentajes del árido grueso y del árido fino natural por árido reciclado.*

La influencia del porcentaje de árido reciclado en la resistencia del hormigón es muy notable. En los estudios consultados, en los que se sustituye únicamente el árido grueso, las pérdidas de resistencia son muy pequeñas cuando el porcentaje de sustitución no supera el 30%. Cuando el porcentaje sustituido es del 40% la resistencia varía en un rango comprendido de pérdidas de hasta el 16%.

Cuando dicho porcentaje aumenta al 100% las pérdidas de resistencia oscilan entre el 1% y el 23%. Cuando se sustituye íntegramente el árido grueso y el árido fino, las pérdidas de resistencia se hacen más acusadas situándose en un rango comprendido entre el 6% y el 30%.

El modo de rotura en los ensayos de resistencia a compresión se produce principalmente de forma intragranular debido a la cantidad de mortero adherido que lleva consigo el árido reciclado. En cualquier caso será función de la naturaleza del árido natural y de la cantidad de mortero adherida mismo. Las grandes diferencias que pueden presentar, en lo referente a su calidad, los áridos reciclados procedentes de hormigones repercutirán, sin duda, en la resistencia a compresión del hormigón haciendo que el coeficiente de variación sea elevado.

Según estudios consultados en hormigones fabricados en laboratorio, con un 75% de sustitución del árido grueso y con unas relaciones a/c de 0,40, 0,50 y 0,60, los coeficientes de variación de la resistencia a compresión han sido, respectivamente, el 7,1%, el 6,8% y el 7,6%.

2.6.3 Módulo de elasticidad.

Cuanto mayor sea el módulo de elasticidad del árido total y mayor sea la proporción en la que se mezclen con los demás componentes más alto será el valor del módulo de

elasticidad del hormigón fabricado con ellos. Los áridos reciclados están formados por una matriz rocosa y por la cantidad de pasta que los envuelve.

El módulo de elasticidad de la pasta es inferior al del árido y al del hormigón. Debido a esta circunstancia los áridos reciclados presentarán un módulo de elasticidad inferior al de los áridos naturales y el módulo de elasticidad del hormigón reciclado será inferior al del hormigón convencional. La textura superficial más rugosa de los áridos reciclados y las pequeñas micro fisuras que puede presentar el mortero adherido hacen que el módulo de elasticidad se reduzca.

El Instituto de Arquitectura Japonés proporciona una expresión para el módulo de elasticidad en la que además se tiene en cuenta el peso específico del árido utilizado. Es válida tanto para sustituciones del árido grueso como del árido fino.

$$E_c = 2,1 \cdot 10^5 \left[\frac{\gamma}{2,3} \right]^{1,5} \cdot \sqrt{\frac{f_c}{200}}$$

E_c = Modulo de elasticidad estático (kg/cm²).

f_c = Resistencia a compresión (kg/cm²).

γ = Peso específico en t/m³. Válida entre 1,9 y 2,3.

Zilch an Roos [159] proponen la siguiente expresión cuando solo se sustituye la fracción fina.

$$E_c = 9100 \cdot (f_c + 8)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\gamma}{2400} \right)^2$$

E_c = Modulo de elasticidad estático (MPa).

f_c = Resistencia a compresión (MPa).

γ = Peso específico en kg/m³.

Rasheeduzzafar [120] propone la siguiente expresión:

$$E_c = 80 \cdot w^{3/2} \cdot \sqrt{f_c} - 5 \cdot 10^6$$

E_c = Modulo de elasticidad estático (lb/in²).

f_c = Resistencia a compresión (lb/in²).

w = Peso específico en (lb/ft³).

Ravindrarajah propone, a partir de trabajos efectuados al respecto, las siguientes expresiones para relacionar el módulo dinámico de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón.

Para un hormigón convencional se tiene:

$$E_d = 5,31 \cdot f^{0,5} + 5,38$$

Para hormigón reciclado en el que se sustituye tanto el árido grueso como el fino la expresión es:

$$E_d = 3,02 \cdot f^{0,5} + 10,67$$

Para hormigón reciclado en el que se sustituye únicamente el árido grueso el valor es:

$$E_d = 3,48 \cdot f^{0,5} + 13,05$$

En las tres expresiones anteriores:

E_c = Modulo de elasticidad dinámico (kN/mm²).

f_c = Resistencia a compresión en probeta cúbica (N/mm²).

2.6.4 Retracción.

En los hormigones reciclados la retracción por secado es mayor que en los convencionales. Dicho aumento puede ser debido, entre otras causas, a que el módulo de elasticidad del árido reciclado es inferior al del árido convencional por la cantidad de mortero que lleva adherido, a la mayor cantidad de agua empleada en su dosificación para conseguir la misma consistencia que en el hormigón convencional y por la mayor absorción del árido reciclado.

La calidad del hormigón del que procede el árido reciclado influye en la retracción ya que, según estudios consultados, al presentar los áridos reciclados procedentes de hormigones de mayor resistencia mayor cantidad de mortero adherido, presentarán valores más elevados de la retracción que los hormigones de peor calidad en los que, generalmente, y utilizando el mismo sistema de trituración presentan menor cantidad de mortero alrededor de la matriz rocosa del árido.

A mayor tamaño máximo del árido menor será la retracción ya que se necesitará una cantidad menor de pasta para la fabricación del hormigón. Por otra parte, al incorporar las fracciones mayores del árido con menor cantidad de mortero adherido, la retracción también disminuirá.

Es indudable que los procesos de trituración empleados en la obtención del árido reciclado también tendrán influencia en la retracción del hormigón. Cuanto mejor se lleven a cabo dichos procesos menor será la cantidad de mortero adherido que presente el árido reciclado y menor la retracción.

2.6.5 Absorción.

El deterioro del hormigón debido a fenómenos o causas distintas de las mecánicas se debe, principalmente, a la presencia de agua en su interior con sustancias perjudiciales para el hormigón disueltas en ella. El transporte de agua hacia el interior del hormigón se realiza a través de los poros y fisuras que presenta y depende del tipo, del tamaño y de su distribución.

Al utilizarse árido reciclado en la fabricación de hormigón, la porosidad, la absorción y la permeabilidad aumentan como se pone de manifiesto en diferentes estudios realizados. El aumento se hace más notable al incrementarse el porcentaje de sustitución. Los valores de dichos incrementos oscilan entre un 15% y un 70%. Cuando también se sustituye la fracción fina del árido los valores de la porosidad y la permeabilidad al aire llegan a duplicarse. Si el porcentaje de sustitución del árido grueso es inferior al 30% apenas se aprecian diferencias en los valores de la porosidad, y la absorción.

La permeabilidad del hormigón reciclado, para distintos niveles de resistencia, llega a alcanzar valores que oscilan entre dos y siete veces la permeabilidad del hormigón de control cuando se sustituye el 100% del árido grueso.

CAPÍTULO III.

MATERIALES, METODOLOGÍA, CRITERIOS DE ENSAYO Y PROCEDIMIENTOS

1.1 Selección y caracterización de materiales.

A lo largo de todo el estudio se utilizarán, aparte de los materiales básicos constituyentes del hormigón, áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demoliciones. En los apartados siguientes se describen las características y particularidades de todos ellos.

1.1.1 Cementos.

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual se mezcla con agua, ya sea sólo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de combinarse lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente pulverizado, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones, previamente establecidas, para lograr las propiedades deseadas.

El Código Boliviano del Hormigón (CBH – 87) establece lo siguiente:

Para la elaboración de los distintos tipos de hormigones se debe hacer uso solo de cementos que cumplan las exigencias de las NORMAS BOLIVIANAS referentes al Cemento Portland (N.B. 2.1-001 hasta N.B. 2.1-014). Además, el cemento deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las cualidades que a este se exigen.

En ningún caso se deben utilizar cementos desconocidos o que no lleven el sello de calidad otorgado por el organismo competente.

Para el presente trabajo de investigación se utilizara el cemento portland IP-30 “El Puente”

3.1.2. Áridos naturales.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las demás características que exijan el Código Boliviano del Hormigón (CBH – 87).

Como áridos para la fabricación de hormigones, pueden emplearse arenas y gravas obtenidas de yacimientos naturales, rocas trituradas u otros productos cuyo empleo se encuentre aceptado por la práctica, o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio.

El CBH establece lo siguiente “Se prohíbe el empleo de áridos que contengan o puedan contener materias orgánicas, piritas o cualquier otro tipo de sulfuros e impurezas”.

Se entiende por arena o Árido fino, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz #4, por grava o árido grueso, el que resulte retenido por dicho tamiz.

Los áridos convencionales, gravas y arenas, empleados en la fabricación del hormigón reciclado fueron obtenidos de la Seleccionadora de áridos San Blass. Dichos áridos se emplean de manera habitual en la fabricación de hormigón en nuestro medio.

3.1.2.1. Caracterización de Áridos naturales (Ensayos en laboratorio).

3.1.2.1.1. Árido grueso (Grava chancada).

- ***Granulometría***

Los agregados gruesos deben cumplir ciertas características granulométricas para darles un uso óptimo en la construcción civil: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. La norma ASTM C-33, proporciona una tabla de granulometría para distintos tamaños nominales, y los rangos en % que pasa por los tamices comprendidos para dicho tamaño nominal, en nuestro caso se utilizara agregado de tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ ”.

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo de granulometría, se tomó una muestra de 5000 gr, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM, el cual indica lo siguiente:

Tamaño Máximo de las partículas en pulgadas.	Peso mínimo de la Muestra en gr.
3/8	1000
1/2	2500
3/4	5000
1	10000
1 1/2	15000
2	20000
2 1/2	25000
3	30000
3 1/2	35000

Una vez obtenida y pesada la muestra se procedió a tamizar en la serie para un tamaño máximo de 3/4", se realizó las respectivas pesadas del material retenido por el tamiz, la serie de tamices y especificaciones para el ensayo es la siguiente:

TAMIZ	ESPECIF. ASTM	
PULG.	MIN.	MAX.
1"	100	100
3/4"	90	100
1/2"	.....	.....
3/8"	20	55
# 4	0	10
# 8	0	5

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, acompañado de las especificaciones ASTM para un tamaño nominal de 3/4".

TAMIZ		PORCENTAJES		ESPECIF. ASTM	
PULG.	MM	% RET	% PASA	MIN.	MAX.
1"	25,4	0	100	100	100

3/4"	19,5	2,453	97,55	90	100
1/2"	12,7	35,803	61,74	.....	.....
3/8"	9,52	25,634	36,11	20	55
# 4	4,76	28,154	7,96	0	10
# 8	2,38	7,956	0	0	5

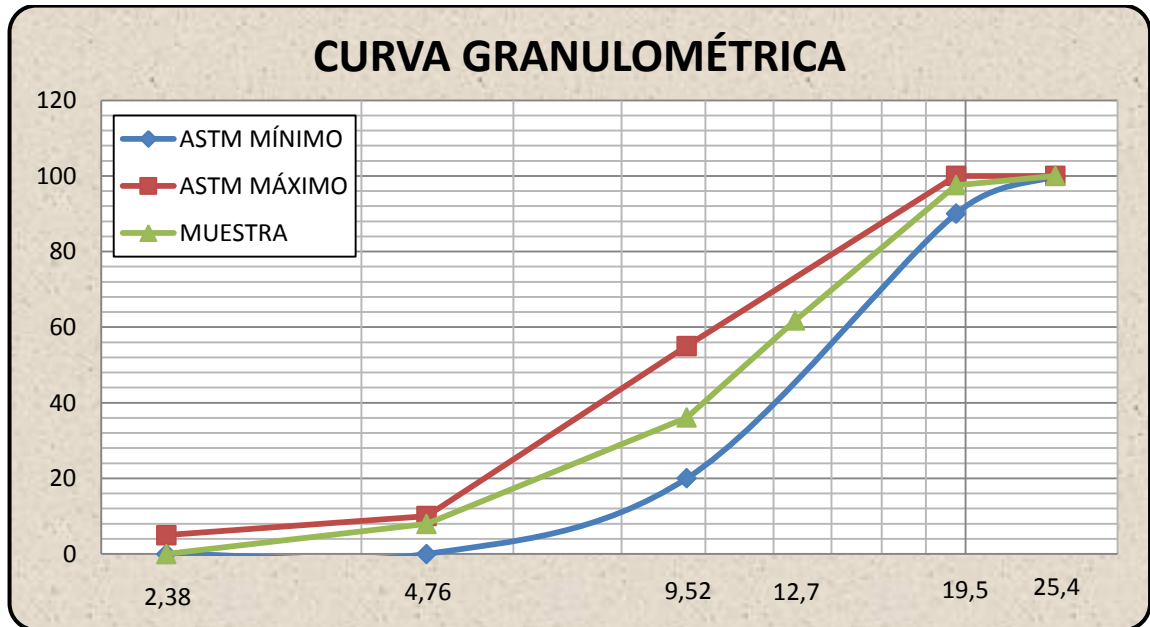


Gráfico: curva granulométrica para el árido grueso natural (fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, la curva granulométrica de la muestra (grava chancada) se encuentra dentro de las curvas especificadas por la norma ASTM C33.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.1) (Ensayos de Laboratorio).

- **Peso unitario.**

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie cúbico o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que éste está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que se calcula con el material con humedad ambiente.

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo, la muestra debe ser tomada mediante cuarteo, a la humedad ambiente, y no así la muestra secada al horno.

Una vez tomada la muestra por cuarteo, se procede a llenar el molde cilíndrico (se utilizó un molde cilíndrico de $\frac{1}{2}$ pie cubico, el cual se utiliza para agregados con partículas de un diámetro entre $\frac{1}{2}$ " a $1 \frac{1}{2}$ "), en tres capas compactando con una varilla metálica, una vez llenada el molde se enraza al nivel del cilindro.

Se procede a pesar el molde más la muestra, seguidamente se pesa el molde, la resta de estos pesajes, resulta el peso de la muestra, dividiendo el peso de la muestra entre el volumen del cilindro se obtiene el peso unitario del agregado.

Resultados obtenidos:

El peso neto del agregado 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 de la muestra.

Capacidad del molde (m3):	0,014
Peso de la muestra(Kg):	22,398
Peso unitario de la muestra(Kg/m3):	1599,857

Según los cálculos realizados, el peso específico de la grava chancada es de 1600 kg/m3.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.2) (Ensayos de Laboratorio)

- ***Peso específico y Absorción.***

Para el caso de los agregados se emplea el peso específico relativo o peso específico en condición saturada y superficialmente seca para determinar el atributo de su densidad, este viene definido como el peso de un cierto agregado en condición de saturado y seco superficialmente, entre el peso de un volumen igual de agua destilada.

El peso específico generalmente viene ligado con la porosidad, y es posible considerar al peso específico como un buen índice de su porosidad. Más importante que el peso específico, es que las rocas se encuentren sanas, puesto que hay rocas con peso específico que a veces se lo considera normal, y no obstante son inaceptables para aplicarlas en hormigones por estar alteradas. Por esto no se definen límites estrictos en cuanto se refiere al peso específico de las gravas.

El peso específico no influye grandemente en las condiciones de resistencia o expansión del hormigón, sobre todo influye en el peso que tendrá este. Si se emplean gravas de peso específico que varíe desde 2.4 hasta 2.8, que es considerado como peso normal del agregado, se obtendrán hormigones también con peso normal.

El porcentaje de absorción está relacionada entre el peso de la muestra saturada con superficie seca y el peso de la muestra secada en horno, expresado en porcentaje.

Procedimiento del ensayo:

Primeramente se sumerge la muestra durante un periodo de 24 horas, una vez pasada las 24 horas se saca la muestra y se procede a secar con un paño hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, se obtiene el peso de esta muestra.

Luego de obtener el peso, se vuelve a sumergir la muestra en un canastillo metálico y se obtiene el peso de la muestra sumergida en el agua, seguidamente se procede a secar la muestra en el horno a temperatura constante, se saca la muestra del horno y se realiza el pesaje de la muestra secada en el horno.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos mediante el ensayo se presentan en el siguiente cuadro:

Peso específico a granel (gr/cm ³):	2,527929
Peso específico saturada, con superficie seca (gr/cm ³):	2,559023
Peso específico aparente (gr/cm ³):	2,609056
% de Absorción:	1,230022

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.3) (Ensayos de laboratorio).

• ***Resistencia al desgaste.***

Una característica fundamental de los agregados gruesos es la resistencia al desgaste, para dicho objetivo se utiliza la Máquina de desgaste de los ángeles, q consiste en un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consistirá de bolas de acero de 1 7/8” de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo, para el caso de 3/4” que pertenece a la gradación B se usara 11 bolas de acero.

Gradación	Nro de esferas	Peso de carga
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15
E	12	5000+25
F	12	5000+25
G	12	5000+25

La muestra de ensayo consistirá en 5000 gr. Se presenta el siguiente cuadro para los tipos de gradación.

Tamaño de tamiz		Gradación y peso de la muestra de ensayo en (gr)						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2 1/2"	2"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2"	1 1/2"	.....	.....	.....	.....	5000	5000	.....
1 1/2"	1"	1250	.....	.....	.....	.....	5000	.....
1"	3/4"	1250	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3/4"	1/2"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
1/2"	3/8"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
3/8"	Nro 3	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro 3	Nro 4	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro 4	Nro 8	.....	.....	.....	5000	.....	.....	.....

Procedimiento del ensayo:

Se coloca la muestra de ensayo en la máquina de los ángeles, seguidamente se coloca las bolas de acero según el tipo de gradación, se cierra la tapa y se programa para 500 revoluciones a razón de 30 a 33 revoluciones por minuto, una vez terminado las 500 revoluciones se retira la muestra y se lava, se seca en el horno a temperatura constante, se pesa, la diferencia entre el peso de inicio y final del ensayo dividido entre el peso inicial y multiplicado por 100 nos da el porcentaje de desgaste de la muestra.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Peso de la Bandeja (Kg):	0,314
Peso de la muestra + la bandeja (Kg):	5,314
Peso de la muestra pasa 3/4" ret. 1/2"(Kg):	2,500
Peso de la muestra pasa 1/2" ret. 3/8"(Kg):	2,500
Peso después del ensayo ret. # 12 + Bandeja (Kg):	3,818

Peso de la muestra ret. Tamiz # 12 (Kg) :	3,504
Porcentaje de desgaste (%)	23,640

El porcentaje de desgaste de la grava chancada es de 24 %, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.4) (Ensayos de laboratorio).

3.1.2.1.2. Árido fino (Arena).

• *Granulometría*

Los agregados finos al igual que los agregados gruesos deben cumplir ciertas características granulométricas para darles un uso óptimo en la construcción civil. La norma ASTM proporciona una tabla de granulometría para el agregado fino.

TAMIZ		ESPECIF. ASTM % pasa	
NUM	MM	MIN.	MAX.
3/8"	9,52	100	100
4	4,75	95	100
8	2,36	80	100
16	1,18	50	85
30	0,6	25	60
50	0,3	10	30
100	0,15	2	10

El módulo de finura no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 y si varía más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

La clasificación de las arenas de acuerdo al módulo de finura se presenta continuación:

Tipo de arena	Modulo de finura
Gruesa	2.9 - 3.2
Media	2.2 - 2.9
Fina	1.5 - 2.2
Muy fina	1.5

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo de granulometría, se tomó una muestra de 500 gr, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM.

Una vez obtenida y pesada la muestra se procedió a tamizar en la serie para un tamaño máximo de 3/8", se realizó las respectivas pesadas del material retenido por el tamiz, la serie de tamices y especificaciones para el ensayo es la siguiente:

TAMIZ	
NUM	MM
3/8"	9,52
4	4,75
8	2,36
16	1,18
30	0,6
50	0,3
100	0,15

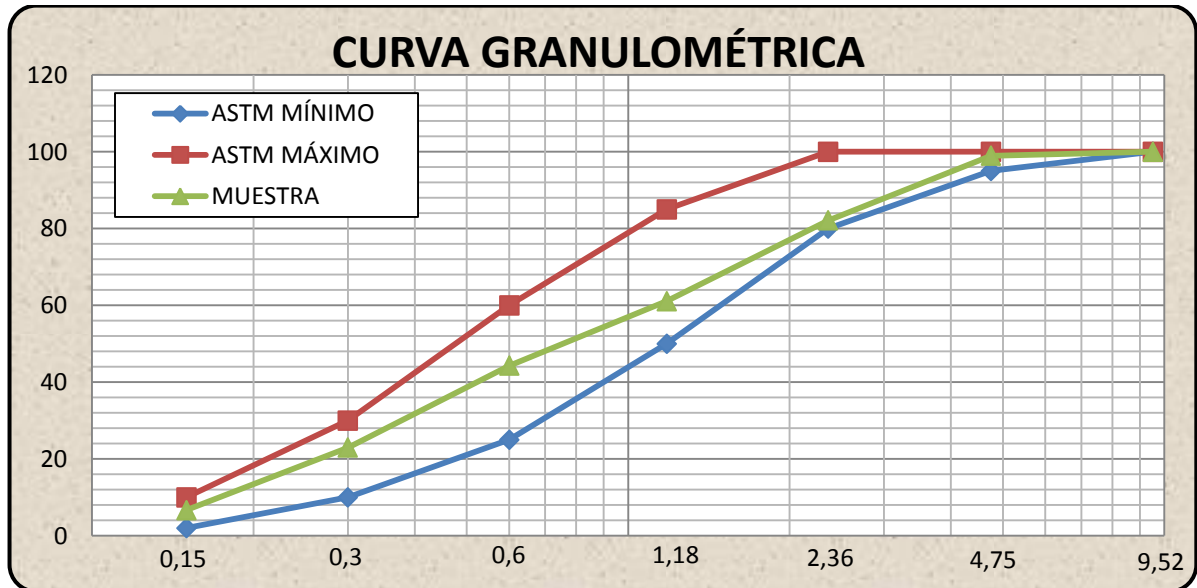
Una vez tamizado se procedió a pesar el material retenido por cada tamiz.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, acompañado de las especificaciones ASTM para el agregado fino.

TAMIZ		PORCENTAJES		ESPECIF. ASTM	
NUM	MM	% RET	% PASA	MIN.	MAX.
3/8"	9,52	0,00	100,00	100	100
4	4,75	1,04	98,96	95	100
8	2,36	16,85	82,11	80	100

16	1,18	21,02	61,09	50	85
30	0,6	16,78	44,31	25	60
50	0,3	21,36	22,96	10	30
100	0,15	16,28	6,68	2	10



MÓDULO DE FINURA :	2,84
--------------------	------

Como se puede observar, la curva granulométrica de la muestra (Arena) se encuentra dentro de las curvas especificadas por la norma ASTM C33. Según a la clasificación de la arena por el módulo de finura del mismo, se trata de una arena mediana.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.2.1) (Ensayos de Laboratorio).

- **Peso unitario.**

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen.

Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie cúbico o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que éste está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que se calcula con el material con humedad ambiente.

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo, la muestra debe ser tomada mediante cuarteo, a la humedad ambiente, y no así la muestra secada al horno.

Una vez tomada la muestra por cuarteo, se procede a llenar el molde cilíndrico (se utilizó un molde cilíndrico de 1/10 de pie cubico, el cual se utiliza para agregados con partículas de menores a 1/2"), en tres capas compactando con una varilla metálica, una vez llenada el molde se enraza al nivel del cilindro.

Se procede a pesar el molde más la muestra, seguidamente se pesa el molde, la resta de estos pesajes, resulta el peso de la muestra, dividiendo el peso de la muestra entre el volumen del cilindro se obtiene el peso unitario del agregado.

Resultados obtenidos:

El peso neto del agregado 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 de la muestra.

Capacidad del molde (m3):	0,003
Peso de la muestra(Kg):	5,255
Peso unitario de la muestra(Kg/m3):	1751,667

Según los cálculos realizados, el peso específico de la arena mediana es de 1752 kg/m3.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.2.2) (Ensayos de Laboratorio).

- ***Peso específico y Absorción.***

El ensayo 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.

Procedimiento del ensayo:

Primeramente se sumerge la muestra de 1 Kg. durante un periodo de 24 horas, una vez pasada las 24 horas se saca la muestra y se seca de manera uniforme.

Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde conico y luego se retira este. Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto indica que la muestra ha sido secada mas d lo necesario y perdió su estado de saturado, por lo cual se debe rociar con agua y dejarlo reposar por 30 minutos antes de volver a colocar el cono.

Seguidamente se colocan 500 gr. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope, con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz sobre si mismo y luego se coloca en un baño a temperatura ctte de 20°C, se deveran hacer las correcciones del caso siguiendo la curva de calibración, luego se obtiene el peso del matraz lleno.

Luego se vacia el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura ctte (105°C) y se pesa.

Resultados obtenidos:.

PROMEDIO DE LOS TRES ENSAYOS	
Peso Específico a granel (gr/cm ³) :	2,26
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³) :	2,32
Peso Específico aparente (gr/cm ³) :	2,40
% de absorción (%) :	2,99

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.2.3) (Ensayos de Laboratorio).

3.1.3. Áridos reciclados.

El árido reciclado para la elaboración de las probetas estandarizadas, fueron obtenidas de la demolición del mercado Central de Tarija, dicha materia prima fue sometida a un

proceso previo a ser caracterizada, proceso que consistió en: Obtención de la materia prima, selección de materiales y triturado.

Los ensayos realizados en el agregado reciclado son los mismos que los agregados naturales, con el fin de realizar una comparación entre ambos agregados, de esta manera se presenta a continuación los ensayos y resultados obtenidos.

3.1.3.1. Caracterización de Áridos reciclados (Ensayos en laboratorio).

- *Granulometría*

Los agregados gruesos deben cumplir ciertas características granulométricas para darles un uso óptimo en la construcción civil, de esta manera también los agregados reciclados. La norma ASTM C-33, proporciona una tabla de granulometría para distintos tamaños nominales, y los rangos en % que pasa por los tamices comprendidos para dicho tamaño nominal, en nuestro caso se utilizara agregado de tamaño nominal de igual tamaño al agregado natural ($\frac{3}{4}$ ").

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo de granulometría, se tomó una muestra de 5000 gr, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM el cual indica lo siguiente:

Tamaño Máximo de las partículas en pulgadas.	Peso mínimo de la Muestra en gr.
$\frac{3}{8}$	1000
$\frac{1}{2}$	2500
$\frac{3}{4}$	5000
1	10000
1 $\frac{1}{2}$	15000
2	20000
2 $\frac{1}{2}$	25000
3	30000
3 $\frac{1}{2}$	35000

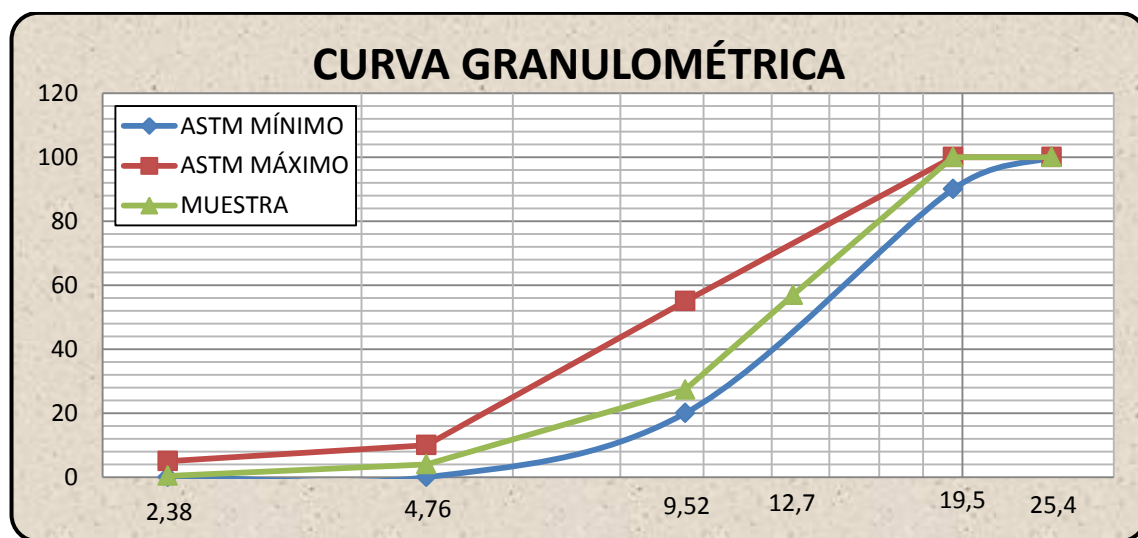
Una vez obtenida y pesada la muestra se procedió a tamizar en la serie para un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", se realizó las respectivas pesadas del material retenido por el tamiz, la serie de tamices y especificaciones para el ensayo es la siguiente:

TAMIZ	ESPECIF. ASTM	
	PULG.	MIN. MAX.
1"	100	100
3/4"	90	100
1/2"	.....	.....
3/8"	20	55
# 4	0	10
# 8	0	5

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, acompañado de las especificaciones ASTM para un tamaño nominal de 3/4".

TAMIZ		PORCENTAJES		ESPECIF. ASTM	
PULG.	MM	% RET	% PASA	MIN.	MAX.
1"	25,4	0	100	100	100
3/4"	19,5	0,000	100	90	100
1/2"	12,7	43,076	56,92	.....	.....
3/8"	9,52	29,544	27,38	20	55
# 4	4,76	23,356	4,02	0	10
# 8	2,38	3,632	0,391995	0	5



Como se puede observar, la curva granulométrica de la muestra (árido reciclado de escombros de hormigón) se encuentra dentro de las curvas especificadas por la norma ASTM C33.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.3.1) (Ensayos de Laboratorio).

- ***Peso unitario.***

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie cúbico o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que éste está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que se calcula con el material con humedad ambiente.

Procedimiento del ensayo:

Para la realización del ensayo, la muestra debe ser tomada mediante cuarteo, a la humedad ambiente, y no así la muestra secada al horno.

Una vez tomada la muestra por cuarteo, se procede a llenar el molde cilíndrico (se utilizó un molde cilíndrico de ½ pie cubico, el cual se utiliza para agregados con partículas de un diámetro entre ½” a 1 ½”), en tres capas compactando con una varilla metálica, una vez llenada el molde se enraza al nivel del cilindro.

Se procede a pesar el molde más la muestra, seguidamente se pesa el molde, la resta de estos pesajes, resulta el peso de la muestra, dividiendo el peso de la muestra entre el volumen del cilindro se obtiene el peso unitario del agregado.

Resultados obtenidos:

El peso neto del agregado 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 de la muestra.

Capacidad del molde (m3):	0,014
Peso de la muestra(Kg):	17,414
Peso unitario de la muestra(Kg/m3):	1243,857

Según los cálculos realizados, el peso específico del material reciclado es de 1244 kg/m³.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.3.2) (Ensayos de Laboratorio).

- ***Peso específico y Absorción.***

Para el caso de los agregados reciclados se emplea el peso específico relativo o peso específico en condición saturada y superficialmente seca para determinar el atributo de su densidad, este viene definido como el peso de un cierto agregado en condición de saturado y seco superficialmente, entre el peso de un volumen igual de agua destilada.

El peso específico generalmente viene ligado con la porosidad, y es posible considerar al peso específico como un buen índice de su porosidad.

El peso específico no influye grandemente en las condiciones de resistencia o expansión del hormigón, sobre todo influye en el peso que tendrá este.

El porcentaje de absorción está relacionada entre el peso de la muestra saturada con superficie seca y el peso de la muestra secada en horno, expresado en porcentaje.

Procedimiento del ensayo:

Primeramente se sumerge la muestra durante un periodo de 24 horas, una vez pasada las 24 horas se saca la muestra y se seca con un paño hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, se obtiene el peso de esta muestra.

Luego de obtener el peso, se vuelve a sumergir la muestra en un canastillo metálico y se obtiene el peso de la muestra sumergida en el agua, seguidamente se procede a secar la muestra en el horno a temperatura constante, se saca la muestra del horno y se realiza el pesaje de la muestra secada en el horno.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos mediante el ensayo se presentan en el siguiente cuadro:

Peso específico a granel (gr):	2,262461
Peso específico saturada, con superficie seca (gr):	2,378817
Peso específico aparente (gr):	2,560376
% de Absorción:	5,142901

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.3.3) (Ensayos de Laboratorio).

- ***Resistencia al desgaste.***

Una característica fundamental de los agregados gruesos es la resistencia al desgaste, para dicho objetivo se utiliza la Máquina de desgaste de los ángeles, q consiste en un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consistirá de bolas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo, para el caso de 3/4" que pertenece a la gradación B se usara 11 bolas de acero.

Gradación	Nro de esferas	Peso de carga
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15
E	12	5000+25
F	12	5000+25
G	12	5000+25

La muestra de ensayo consistirá en 5000 gr. Se presenta el siguiente cuadro para los tipos de gradación.

Tamaño de tamiz		Gradación y peso de la muestra de ensayo en (gr)						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 ½"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2 ½"	2"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2"	1 ½"	.....	.....	.....	.....	5000	5000	.....
1 ½"	1"	1250	.....	.....	.....	.....	5000	.....
1"	¾"	1250	.....	.....	.....	.....	.....	.....
¾"	½"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
½"	3/8"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
3/8"	Nro 3	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro 3	Nro 4	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro 4	Nro 8	.....	.....	.....	5000	.....	.....	.....

Procedimiento del ensayo:

Se coloca la muestra de ensayo en la máquina de los ángeles, seguidamente se coloca las bolas de acero según el tipo de gradación, se cierra la tapa y se programa para 500 revoluciones a razón de 30 a 33 revoluciones por minuto, una vez terminado las 500 revoluciones se retira la muestra y se lava, se seca en el horno a temperatura constante, se pesa, la diferencia entre el peso de inicio y final del ensayo dividido entre el peso inicial y multiplicado por 100 nos da el porcentaje de desgaste de la muestra.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Peso de la Bandeja (Kg):	0,314
Peso de la muestra + la bandeja (Kg):	5,314
Peso de la muestra pasa 3/4" ret. 1/2"(Kg):	2,500
Peso de la muestra pasa 1/2" ret. 3/8"(Kg):	2,500
Peso después del ensayo ret. # 12 + Bandeja (Kg):	3,363

Peso de la muestra ret. Tamiz # 12 (Kg) :	3,049
Porcentaje de desgaste (%)	32,740

El porcentaje de desgaste de la grava chancada es de 33 %, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.4) (Ensayos de laboratorio).

3.2. Diseño de las mezclas de concreto.

3.2.1 Diseño de la mezcla patrón y correcciones

Para determinar las respectivas cantidades de los materiales que intervienen para la elaboración de las probetas, existen varios métodos, para el presente trabajo de investigación se realiza mediante el método ACI 211 (American Concrete Institute), el cual está basado en el empleo de tablas confeccionadas por el comité ACI 211 ; la secuencia de diseño de una mezcla para este método es la siguiente, tomando como ejemplo el hormigón patrón (sin agregado reciclado):

a). Selección de la resistencia requerida (f'_{cr})

La "resistencia característica" (f_{ck}) del hormigón, utilizada para desarrollar los cálculos estructurales, corresponde a un valor ponderado o nominal de resistencia unitaria a la rotura por compresión, asignado a todo el hormigón de la misma "clase" utilizado en la misma estructura, en base a lo previsto como resultado de la dosificación proyectada y verificada con el ensayo de las probetas.

La "resistencia característica" (f_{ck}) es menor a la "resistencia media" (f_{cm}) obtenida del promedio de ensayos de un grupo determinado de probetas, debido a que es necesario que la resistencia utilizada en el cálculo (la "característica") contemple las posibles desviaciones y/o dispersión de calidad, resultado de las condiciones de elaboración, heterogeneidad de los materiales, circunstancias climáticas, precisión de la medición de los materiales de acuerdo a la dosificación, modos de colocación, compactación, etc., propios de este tipo de material.

La relación entre "resistencia característica" y "resistencia media", está establecida según pautas muy estrictas por el CBH, que además de la elaboración y los materiales componentes, contempla la cantidad de ensayos, consideraciones estadísticas y otras condiciones, concentradas en fórmulas y coeficientes que vinculan ambos tipos de resistencia.

La resistencia característica para el diseño de la mezcla, es de 210 kg/cm^2 , debido a que se pretende utilizar este hormigón para elementos estructurales.

Para el cálculo de la resistencia de diseño para la mezcla, existen varios criterios, para el trabajo de investigación se utilizara el criterio del ACI que es el siguiente:

De acuerdo con las recomendaciones del Código Boliviano del Hormigón (CBH), el concreto se debe diseñar y producir para asegurar una resistencia a la compresión promedio (f_{cm}) lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de resultados de pruebas de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión específica del concreto (f_{ck}) la resistencia a la compresión promedio o resistencia de diseño de la mezcla es calculada de la siguiente expresión:

$$F'_{cm} = f'_{c} + (t s) \quad (1)$$

Donde:

f'_{cm} : promedio requerido de resistencia o resistencia de diseño de la mezcla (Kg/cm^2)

f'_{c} : Resistencia específica del concreto (Kg/cm^2)

t: constante que depende de la proporción de pruebas que puede caer por debajo del valor de $f'c$ y el número de muestras usadas para hallar el valor de “s”; preferiblemente al menos de 30 muestras que deben ser usadas.

S: valor pre estimado de la desviación estándar en Kg/cm^2

Como es sabido, los requerimientos del ACI y del CBH-87 son:

- a) la probabilidad de obtener resultados de pruebas por debajo de $f - 35 \text{ Kg/cm}^2$ (500psi) no debe exceder de 1 en 100
- b) la probabilidad de que el promedio de tres pruebas consecutivas sea inferior a f_c no debe exceder de 1 en 100

Tabla a1 : Valores de t

Porcentajes de pruebas que caen dentro de los limites	Probabilidad de que caigan por debajo del limite inferior	Valor de t
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

De tal manera que aplicando estas condiciones a las fórmulas planteadas por el código ACI estipula lo siguiente “ la resistencia promedio requerida f_{cm} en Kg/cm^2 que se utiliza para diseñar una mezcla de concreto debe ser la mayor parte de la obtenidas con las siguientes ecuaciones, utilizando la desviación estándar”:

$$f_{cm} = f_c - 35 + (2.33 s) \quad (2)$$

$$f_{cm} = f_c + (2,33 s / \text{SQR } 3) = f_c + (1,44 s) \quad (3)$$

Donde los valores están en Kg/cm². Cuando la desviación estándar esta debajo de cerca de 35 Kg/cm². la ecuación 3 gobierna, pero para desviaciones estándar mas altas, la ecuación 2 es la que determina el valor de f_{cm}

Pero la resistencia de diseño de la mezcla hallada por medio de estas expresiones solo puede ser empleada cuando existen suficientes datos disponibles (al menos 30 pruebas) sin embargo si se tienen mas de 15 registros pero menor de 30, la desviación estándar empleada en las fórmulas debe ser la desviación estándar calculada de los datos multiplicada por el coeficiente de modificación indicado en la tabla a2.

**Tabla a2 : Coeficiente de modificación
para la desviación estándar cuando hay menos de 30 pruebas disponibles**

Número de pruebas	Coeficiente de modificación
Menos de 15	Use la tabla (a3)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1.00

Por ultimo 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/cm² se debe determinar de acuerdo con la tabla a3

**Tabla a3 : Resistencia requerida de diseño
Cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar**

Resistencia especificada f _{ck} (Kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f _{cm} (Kg/cm ²)
Menos de 210 Kg/cm ²	f _{ck} + 70 Kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 Kg/cm ²	f _{ck} + 85 Kg/cm ²
Mas de 350 Kg/cm ²	f _{ck} + 100 Kg/cm ²

Entonces tenemos una resistencia de diseño de:

$$f_{cm} = f_{ck} + 85 \quad \gg \quad \boxed{f_{cm} = 210 + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2}$$

b). Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

La determinación del tamaño máximo nominal del árido más grueso de la dosificación del hormigón se efectúa con la tabla (b), que establece un rango de tamaños máximos aplicables a diversos elementos estructurales en función de la dimensión mínima de la sección. El T.M.N. (Tamaño Máximo Nominal) debe precisarse en el rango señalado, aumentándolo mientras mayor sea la dimensión del elemento.

**Tabla b : Tamaño Máximo Nominal (mm)
recomendado en función de la dimensión mínima de la sección (ACI)**

Dimensión Mínima de la Sección (cm)	Tamaño Máximo Recomendado en [mm.]			
	Muros armados, vigas y pilares	Muros sin armadura	Losas muy armadas	Losa débilmente armada o sin armadura.
6 - 12	12,5 - 20	20	20 - 25	20 - 40
14 - 28	20 - 40	40	- 40	40 - 75
30 - 74	40 - 75	75	40 - 75	- 75
≥ 76	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150

El CBH – 87 (Código Boliviano del Hormigón) indica lo siguiente:

“En pilares de sección rectangular, la dimensión mínima no será inferior a 20 cm.”

“En los pilares que formen parte de pórticos de edificación ejecutados en obra, su dimensión mínima no podrá ser inferior a 25 cm.”

Para el diseño de la mezcla utilizaremos un valor de 20 mm que es equivalente a $\frac{3}{4}$ ”

c). Selección del asentamiento.

Las primeras consideraciones que se deben tomar en cuenta para especificar una consistencia determinada en el concreto fresco, son el tamaño y tipo de la sección que se va a construir y la cantidad y espaciamiento del acero de refuerzo. Es claro que cuando la sección es estrecha y complicada, o cuando hay numerosas esquinas o partes inaccesibles, el concreto debe tener una alta manejabilidad de modo que pueda lograrse la mejor compactación posible con una cantidad razonable de esfuerzo.

El segundo aspecto que se debe considerar son las condiciones de colocación, ya que hoy en día existen múltiples sistemas de vaciado como el bombeo, las bandas transportadoras, el tubo embudo tremie y las pavimentadoras, entre otros, que requieren de una mayor o menor plasticidad (cohesión) 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 concreto (con agregados pétreos de peso normal) es máxima.

Sin embargo el método del ACI presenta el siguiente cuadro de asentamiento según el tipo de estructura para el cual se diseñara la mezcla.

Tabla c : Asentamientos para diferentes tipos de estructura

Tipo de Estructura	Asentamiento (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3	1
Cimentaciones simples y calzaduras	3	1
Vigas y muros armados	4	1
Columnas	4	2
Muros y pavimentos	3	1
Concreto ciclópeo	2	1

En nuestro caso será para columnas, el cual utilizaremos un asentamiento de 3 pulg.

d). Selección del contenido de aire atrapado

Como es sabido durante la operación de mezclado queda aire naturalmente atrapado dentro del concreto, pero cuando se prevea que habrá condiciones de exposición severa es conveniente incluir aire en el concreto. Bajo estas condiciones los comités 211 y 318 de ACI indican las cantidades aproximadas de aire atrapado que pueden ser esperadas en concreto sin aire incluido, y los niveles recomendados de aire intencionalmente incluido para diferentes tamaños máximos de agregado.

Tabla d : Porcentaje d aire atrapado para diferentes TMN de agregado

TMN del agregado grueso (pulg.)	Aire atrapado (%)
3/8	3,0
1/2	2,5
3/4	2,0
1	1,5
1 1/2	1,0
2	0,5
3	0,3
4	0,2

Para un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", tenemos 2,0 % de aire atrapado.

e). Seleccionar el contenido de agua

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

El comité del ACI ha desarrollado una tabla que relaciona la cantidad de agua de mezclado necesario para producir un determinado asentamiento para distintos tamaños máximos nominales de agregado grueso con o sin aire incorporado, el cual se presenta a continuación:

Tabla e : Cantidad de agua de mezclado

Asentamiento (pulg)	Agua en lts/m ³ , para TMN agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin Aire incorporado								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	.....
Concreto con Aire incorporado								
1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7	216	205	187	184	174	166	154	.....

De acuerdo al asentamiento y tamaño máximo elegidos, la cantidad de agua es de 205 lts/m³, para un concreto sin aire incorporado.

f). Selección de la relación agua/cemento (a/c)

Debido a que la resistencia del concreto se rige principalmente por la resistencia e integración de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfaces de adherencia pasta-agregado, es común que los diferentes 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.

De otra parte la relación agua cemento no solo determina los requisitos de resistencia, sino también factores pertinentes a la durabilidad y propiedades para acabado del concreto, debido a que este 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.

Es sabido que un concreto de resistencia razonable y adecuadamente colocado, es durable bajo condiciones ordinarias, pero cuando no es necesario que posea alta resistencia y las condiciones de exposición sean tales que la alta durabilidad sea vital, son estas las que deben determinar la relación agua-cemento a usarse. Por otra parte para condiciones severas de exposición, la relación agua-cemento debe mantenerse baja, aun cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto.

Para ello debe consultarse la tabla f (relación agua-cemento para diferentes resistencias con o sin aire incorporado) que han sido desarrolladas por el comité ACI.

Tabla f : Relación a/c para diferentes resistencias

f'ck (kg/cm ²)	Relacion a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40

De la tabla se tiene la relación:

$$a/c = 0,55$$

g). Cálculo del contenido de cemento.

Una vez que el contenido de agua de mezclado y la relación de agua cemento han sido determinados, el contenido de cemento por metro cúbico de concreto es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua cemento:

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

Dónde:

C = contenido de cemento en Kg/m³

A = requerimiento de agua de mezclado en lts/m³

A/C = relación agua cemento por peso.

$$C=205/0,55 = 373 \text{ kg}$$

h). Seleccionar el peso del agregado grueso.

Este método del ACI tiene su fundamento en la expresión b/b_0 que fue introducida por Richart y Talbot entre 1921 y 1923 en los Estados Unidos de América. En esta expresión:

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto

b_o = Volumen absoluto o solido del agregado grueso por unidad de volumen compactada de agregado grueso

b/b_o = Volumen compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Esta relación y su significado se comprenderán fácilmente haciendo la siguiente consideración:

$$V = b + (PV)$$

Dónde:

V = Volumen seco y compactado del agregado grueso por volumen unitario de concreto (volumen de las partículas de agregado más el volumen de espacios entre partícula y partícula)

b = Volumen absoluto o solido del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

P = porcentaje de vacíos en el conjunto

Pero el volumen b_o puede ser expresado como:

$$B_o = 1 - (PI)$$

Luego

$$P = 1 - b_o$$

Reemplazando este valor en la ecuación se obtiene:

$$V = b + (1 - b_o)V$$

$$V = b + V - b_o V$$

Luego:

$$b = b_o V$$

$$V = b / b_o$$

El valor de b_o se puede calcular a partir de la masa unitaria seca y compactada con varilla del agregado grueso y de su densidad aparente seca, puesto que:

$$b_o = \text{Masa unitaria compactada} / \text{Densidad aparente seca}$$

De acuerdo con el método ACI 211 aprovecha el hecho de que la relación óptima del volumen seco y compactado de agregado grueso al volumen total de concreto depende únicamente del tamaño máximo del agregado y de la granulometría del agregado fino en este caso la forma de las partículas del agregado grueso no entra directamente en la relación, debido a que por ejemplo el agregado triturado tiene un volumen aparente mayor para un mismo peso (es decir masa unitaria menor) que un agregado bien redondeado. Por lo tanto el factor de forma es automáticamente tomado en cuenta en la determinación de la masa unitaria.

La tabla h es ampliamente conocida por los usuarios del método ACI 211 y en ella se dan valores de b/b_o en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura de la arena.

Tabla h : valores de b/b_o en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura de la arena

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos Modulos de fineza del fino (b/b_o)			
	2,4	2,6	2,8	3,0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.54	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

En este método el peso seco del agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto es simplemente igual al valor tomado de la tabla h, multiplicado por su respectivo peso unitario compactado en Kg/m^3 de modo que, después de obtener el peso seco del agregado grueso, los peso de todos los demás ingredientes han sido estimados, excepto aquel del agregado fino. Su cantidad es determinada por diferencia.

De acuerdo a los ensayos realizados, tenemos un módulo de finura de la arena de 2,8, para un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ “, se tiene la relación :

$$b/b_0 = 0,62$$

i). Calcular el volumen absoluto de todos los materiales sin el agregado fino.

Para el cálculo de los volúmenes de los componentes del hormigón se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_o = \frac{P}{\gamma}$$

Dónde:

P = Peso del material (Kg)

γ = Peso específico del material (Kg/m³)

V_o = Volumen del material (m³)

Es una formula general que se tiene para el cálculo de los volúmenes de cada material por m³ de hormigón.

Volumen del cemento:

$$V_c = \frac{373}{3140} = 0,119 \text{ m}^3$$

Volumen de la grava:

Primeramente se realiza el cálculo del peso del agregado grueso.

$$b = 0,62 * b_0 = 0,62 * 1600$$

$$b = 992 \text{ kg}$$

Peso del agregado grueso

$$V_g = \frac{992}{2609,31} = 0,38 \text{ m}^3$$

Volumen del Agua:

$$V_w = \frac{205}{1000} = 0,205 \text{ m}^3$$

Volumen de Aire atrapado:

$$V_a = 0,02 * 1 = 0,02 \text{ m}^3$$

Suma de todos los volúmenes sin arena:

$$V_{sa} = 0,119 + 0,38 + 0,205 + 0,02 \text{ m}^3$$

$$V_{sa} = 0,724 \text{ m}^3$$

j). Cálculo del agregado fino.

Una vez teniendo el volumen total del hormigón sin incorporar el agregado fino, el cálculo del mismo se realiza por simple resta, ya que los volúmenes son para 1 m³ de hormigón, entonces se tiene :

$$V_{af} = 1 - 0,724 \text{ m}^3$$

$$V_{af} = 0,276 \text{ m}^3$$

k). Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.

Teniendo el volumen de la arena, se calcula el peso de la misma, multiplicando el peso específico por su volumen.

$$P = \gamma * V_o = 2400 * 0,276$$

$$P = 662 \text{ Kg}$$

l). Presentación del diseño en estado seco.

Se presenta el diseño de la mezcla en estado seco de cada material.

Dosificación por m3:			
Agua	Cemento	Arena	Grava
205	373	662	992
relación	1	1,8	2,7

m). Corrección del diseño por el aporte de humedad y absorción de los agregados.

El diseño de la mezcla es para materiales en estado seco, sin embargo los materiales como ser la arena y la grava suelen presentar un porcentaje de agua (% de humedad) y un porcentaje de absorción, por lo cual las cantidades variarían, para las correcciones se realizan los siguientes pasos.

- **Cantidad de agua en los materiales por humedad.**

Los agregados suelen presentarse húmedos, por lo cual debe corregirse las cantidades de agua:

$$\text{Agua en la arena} = \%w * Paf = 0$$

$$\text{Agua en la grava} = \%w * Pg = 0$$

Dónde:

$\%w$ = Porcentaje de humedad en el agregado (decimal)

Paf = Peso de la arena (Kg)

Pg = Peso de la grava (Kg)

Para nuestro caso el contenido de humedad es cero, debido a que los agregados fueron secados.

- **Cantidad de agua en los materiales por absorción.**

Los agregados absorben el agua de mezclado, por lo cual se debe realizar una corrección por absorción en los materiales.

$$\text{Agua que absorbe la arena} = \%Abs * Psaf = \left(\frac{3,00}{100}\right) * 662 = 19,86 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua que absorbe la grava} = \%Abs * Psg = \left(\frac{1,23}{100}\right) * 992 = 12,20 \text{ Kg}$$

Dónde:

$\%Abs$ = Porcentaje de absorción del agregado (decimal)

$Psaf$ = Peso seco de la arena (Kg)

P_{sg} = Peso seco de la grava (Kg)

La cantidad total del agua corresponde a la sumatoria del agua de mezclado en estado seco, más el agua en los agregados húmedos y el agua que absorbe los agregados.

$$A_t = 205 + 19,86 + 12,20 = 237 \text{ Lts/m}^3$$

- **Cantidad de cemento.**

La relación a/c no debe cambiar, ya que es un dato para una resistencia requerida, por lo cual la cantidad de cemento no se incrementara, ya que el agua de mezclado no cambia y el agua corregida es absorbida por los agregados.

- **Cantidad de agregados.**

Debido al aumento de la cantidad de agua por humedad.

$$P_{haf} = (1 + \%w) * P_{haf}$$

$$P_{hg} = (1 + \%w) * P_{hg}$$

Donde:

$\%w$ = Porcentaje de humedad del agregado (decimal)

P_{haf} = Peso húmedo de la arena (Kg)

P_{hg} = Peso húmedo de la grava (Kg)

$$P_{haf} = (1 + 0) * 662 = 662 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_{hg} = (1 + 0) * 992 = 992 \text{ Kg/m}^3$$

n). Presentación del diseño en estado húmedo.

Se presenta el diseño final en estado húmedo.

		AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ESCOMBRO
DISEÑO FINAL (HUMEDAD AMBIENTE)	Pre diseño por m3	205,0	372,7	661,5	992,0	0,0
	% de humedad	.....	.....	0,00	0,00	0,00
	% de absorción	.....	.....	3,00	1,23	5,14
	Diseño final por m3	237	373	662	992	0
	Relación de agregados :		1,0	1,8	2,7	0,0

o). Corrección del diseño para variaciones de agregado reciclado.

A consecuencia de la incorporación de agregado reciclado en la mezcla, al tener un mayor porcentaje de absorción, se aumentara la cantidad de agua y por ende la cantidad de cemento, para las correcciones primeramente se calculara el volumen del agregado reciclado al porcentaje correspondiente, con este volumen se calculara el peso del mismo, y se realizara los mismos pasos de correcciones para el hormigón patrón, con la incorporación del agregado reciclado.

Se presenta la dosificación para diferentes porcentajes de agregado reciclado en estado seco y en estado húmedo (corregido):

HORMIGÓN CON 10 % DE A.R. (TH1)

Estado seco:

Dosificación por m3:			
Agua	Cemento	Arena	Grava
205	373	662	992
relación	1	1,8	2,7
Reemplazo de 10 % de A.N por A.R. :			
		%	Kg
Grava natural :		90	892,8
A. reciclado :		10	77,128

Corregido:

		AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ESCOMBRO
DISEÑO FINAL (HUMEDAD AMBIENTE)	Pre diseño por m3	205,0	372,7	661,5	892,8	77,1
	% de humedad	.....	.....	0,00	0,00	0,00
	% de absorción	.....	.....	3,00	1,23	5,14
	Diseño final por m3	240	373	662	893	77
	Relación de agregados :		1,0	1,8	2,4	0,2

HORMIGÓN CON 20 % DE A.R. (TH2)

Estado seco:

Dosificación por m3:			
Agua	Cemento	Arena	Grava
205	373	662	992
relación	1	1,8	2,7
Reemplazo de 20 % de A.N por A.R. :			
		%	Kg
Grava natural :		80	793,6
A. reciclado :		20	154,256

Corregido:

		AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ESCOMBRO
DISEÑO FINAL (HUMEDAD AMBIENTE)	Pre diseño por m3	205,0	372,7	661,5	793,6	154,3
	% de humedad	.....	.....	0,00	0,00	0,00
	% de absorción	.....	.....	3,00	1,23	5,14
	Diseño final por m3	243	373	662	794	154
	Relación de agregados :		1,0	1,8	2,1	0,4

HORMIGÓN CON 30 % DE A.R. (TH3)

Estado seco:

Dosificación por m3:			
Agua	Cemento	Arena	Grava
205	373	662	992
relación	1	1,8	2,7
Reemplazo de 30 % de A.N por A.R. :			
		%	Kg
Grava natural :		70	694,4
A. reciclado :		30	231,384

Estado húmedo:

		AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ESCOMBRO
DISEÑO FINAL (HUMEDAD AMBIENTE)	Pre diseño por m3	205,0	372,7	661,5	694,4	231,4
	% de humedad	.....	.....	0,00	0,00	0,00
	% de absorción	.....	.....	3,00	1,23	5,14
	Diseño final por m3	245	373	662	694	231
	Relación de agregados :		1,0	1,8	1,9	0,6

HORMIGÓN CON 40 % DE A.R. (TH4)

Estado seco:

Dosificación por m3:			
Agua	Cemento	Arena	Grava
205	373	662	992
relación	1	1,8	2,7
Reemplazo de 40 % de A.N por A.R. :			
		%	Kg
Grava natural :		60	595,2
A. reciclado :		40	308,512

Estado húmedo:

		AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ESCOMBRO
DISEÑO FINAL (HUMEDAD AMBIENTE)	Pre diseño por m3	205,0	372,7	661,5	595,2	308,5
	% de humedad	.....	.....	0,00	0,00	0,00
	% de absorción	.....	.....	3,00	1,23	5,14
	Diseño final por m3	248	373	662	595	309
	Relación de agregados :		1,0	1,8	1,6	0,8

La dosificación para cada porcentaje de sustitución de agregado grueso se encuentra en el Anexo C

3.3. Elaboración de probetas estandarizadas

La determinación de la resistencia a compresión de probetas de hormigón sirve para conocer la calidad del hormigón fabricado. Esta resistencia puede ser garantizada si las probetas para el ensayo son confeccionadas, protegidas y curadas siguiendo métodos normalizados. Si en cambio, se permite que varíe las condiciones de muestreo, métodos de llenado, compactación, terminación y curado de las probetas, los resultados de resistencia que se obtengan en el ensayo respectivo carecerá de valor, ya que no podrá determinarse si eventuales resistencias bajas son debidas a la mala calidad del hormigón o a fallas cometidas durante las operaciones de preparación de las probetas, previas al ensayo.

3.3.1. Materiales y herramientas utilizadas.

Moldes.

Los moldes para realizar las probetas de hormigón son de material no atacable por el cemento, indeformables y de material estanco. Son de forma cilíndrica, para confeccionar una probeta que tenga una base de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.



Molde cilíndrico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura Cono de habrams



Mezcladora.



Balanza.



3.3.2. Preparación.

Una vez obtenida y calculada la dosificación en peso, se procede al pesaje de cada material, seguidamente se realiza el mezclado del mismo mediante una mezcladora, una vez obtenida la mezcla se procede al control de la consistencia mediante el cono de abrams.

Seguidamente el llenado de las probetas se realiza en 3 capas, se coloca hormigón hasta cubrir la tercera parte de la altura del molde cada vez. Una vez colocada cada capa, se la compacta con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie.

En la primera capa, los golpes deben atravesarla íntegramente pero no golpear el fondo del molde. La compactación de la segunda y la tercera capa se realiza atravesando cada una de ellas y penetrando solamente la parte superior de la capa siguiente. Finalmente, se enrasa la probeta al nivel del borde superior del molde, mediante una cuchara de albañil, retirando el sobrante de hormigón y trabajando la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa. La finalidad de compactar el hormigón dentro de los moldes es la de eliminar los huecos que pueden quedar dentro de la masa por diferencias en las formas y tamaños de los componentes que, al disminuir la sección de la probeta, le hacen perder resistencia.



Varillado del hormigón 25 golpes por capa

Pasado 24 horas del vaciado de las probetas se procede al desmolde y posterior curado en agua para luego ser ensayadas a los 14 y 28 días de edad del hormigón.



Desmoldado de probetas pasado las 24 horas de vaciado

3.4. Ensayo de hormigones

3.4.1. Ensayos en estado fresco

- *Consistencia.*

Para la adecuada colocación y compactación del hormigón en los encofrados se requiere que éste tenga una consistencia apropiada. Mayor fluidez en hormigones se logra con la incorporación de aditivos y/o el incremento del agua. Un factor adverso a la resistencia del hormigón es la mayor cantidad de agua, en razón de que la relación agua/cemento es inversamente proporcional a la resistencia unitaria del hormigón. Por esta causa la fluidez no deberá ser mayor que la indispensable.

La medida de la consistencia (fluidez) se verifica en el cono de Abrams (se mide en cm) y debe coincidir con la prevista en el cálculo de la dosificación.

El cono de Abrams es un cono truncado de chapa de acero, sin bases (alto 30 cm, ϕ mayor 20 cm, ϕ menor 10 cm), que se llena de hormigón y que al retirarse permite que

el hormigón se asiente al no estar ya contenido. La diferencia entre la altura del cono y la final, se mide en cm y es la medida del asentamiento, que aumenta con la mayor fluidez (o menor consistencia).



Determinación de la consistencia del hormigón

- *Densidad.*

La densidad del hormigón en estado fresco depende del tamaño máximo del agregado grueso, el peso de los agregados y el porcentaje de aire atrapado en el hormigón.

Para la determinación de la densidad, primeramente se pesa el molde en el cual se verterá el hormigón, una vez relleno y compactado el hormigón en el molde se procede a pesar el mismo, de este pesaje se resta el peso del molde, obteniendo de esta manera el peso del hormigón fresco.

Seguidamente se calcula la densidad dividiendo el peso del hormigón fresco entre el volumen que ocupa (volumen del cilindro).

3.4.2. Ensayos en estado endurecido

- *Densidad.*

La densidad del Hormigón en estado endurecido no es más que la relación entre el peso y el volumen de una probeta.

- *Resistencia a compresión.*

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para el diseño de estructuras.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión y se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de Megapascales (MPa).

La falla de los cilindros de concreto generalmente se presenta según planos inclinados respecto a la dirección de carga, porque la fricción que se genera entre el espécimen y los platos de carga restringe los movimientos laterales. La forma usual de falla es en cono, sin embargo, algunas veces el error se produce en las formas que aparecen en la Figura .

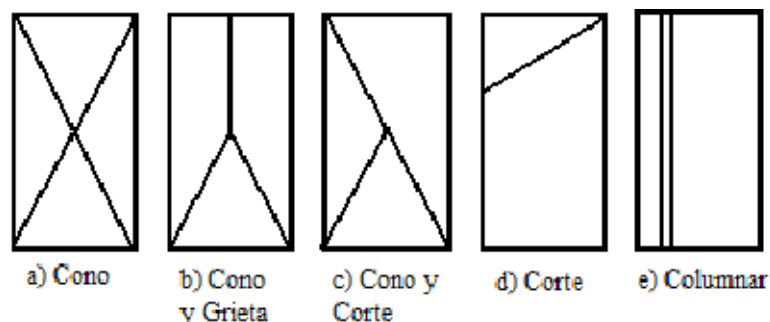


Figura : Tipos de falla de los cilindros de concreto

Para el ensayo de compresión de los cilindros, primeramente se pesa el mismo, seguidamente se coloca la muestra en la máquina, y se somete a la carga hasta que que la probeta se fracture, se realiza la lectura correspondiente.

El laboratorio de hormigones de la U.A.J.M.S. cuenta con una prensa la cual directamente nos da la resistencia a la compresión en MPa.

CAPÍTULO IV

DATOS OBTENIDOS, CÁLCULOS, RESULTADOS Y ANALISIS

4.1. Datos obtenidos y cálculos

Una vez obtenida los datos de ensayos realizados tanto en estado fresco y endurecido del hormigón se procedió al realizar los cálculos correspondientes, que se presentan a continuación de forma tabulada para cada porcentaje de sustitución de la grava por A.R.

Tabla 1a : Datos obtenidos y cálculos en estado fresco THp (0% A.R.)

TH	Nro	As. Dis. (cm)	As. Ens. (cm)	P. M. (Kg)	P. M+H (Kg)	P. H. (kg)	Vol. (m3)	Den. (Kg/m3)
THp (0% A.R.)	1	7,5	6,50	8,185	20,789	12,604	0,0140	900
	2	7,5	6,50	8,185	19,520	11,335	0,0106	1069
	3	7,5	6,50	8,185	20,056	11,871	0,0106	1120
	4	7,5	6,50	8,185	20,228	12,043	0,0106	1136
	5	7,5	6,50	8,185	20,371	12,186	0,0106	1150
	6	7,5	6,50	8,185	20,161	11,976	0,0106	1130
	7	7,5	6,50	8,185	20,419	12,234	0,0106	1154
	8	7,5	7,00	8,185	20,762	12,577	0,0106	1187
	9	7,5	7,00	8,185	19,496	11,311	0,0106	1067
	10	7,5	7,00	8,185	20,406	12,221	0,0106	1153
	11	7,5	7,00	8,185	20,202	12,017	0,0106	1134
	12	7,5	7,00	8,185	20,345	12,160	0,0106	1147
	13	7,5	7,00	8,185	20,135	11,950	0,0106	1127
	14	7,5	7,00	8,185	20,393	12,208	0,0106	1152

Tabla 1b : Datos obtenidos y cálculos en estado fresco TH 1 (10% A.R.)

TH	Nro	As. Dis. (cm)	As. Ens. (cm)	P. M. (Kg)	P. M+H (Kg)	P. H. (kg)	Vol. (m3)	Den. (Kg/m3)
TH1 (10% A.R.)	1	7,5	7,00	8,185	20,750	12,565	0,0106	1185
	2	7,5	7,00	8,185	20,114	11,929	0,0106	1125
	3	7,5	7,00	8,185	20,019	11,834	0,0106	1116
	4	7,5	7,00	8,185	20,191	12,006	0,0106	1133
	5	7,5	7,00	8,185	20,333	12,148	0,0106	1146
	6	7,5	7,00	8,185	20,124	11,939	0,0106	1126
	7	7,5	7,00	8,185	19,488	11,303	0,0106	1066
	8	7,5	6,50	8,185	20,737	12,552	0,0106	1184
	9	7,5	6,50	8,185	20,101	11,916	0,0106	1124
	10	7,5	6,50	8,185	20,007	11,822	0,0106	1115
	11	7,5	6,50	8,185	20,178	11,993	0,0106	1131
	12	7,5	6,50	8,185	20,132	11,947	0,0106	1127
	13	7,5	6,50	8,185	20,191	12,006	0,0106	1133
	14	7,5	6,50	8,185	19,476	11,291	0,0106	1065

Tabla 1c : Datos obtenidos y cálculos en estado fresco TH 2 (20% A.R.)

TH	Nro	As. Dis. (cm)	As. Ens. (cm)	P. M. (Kg)	P. M+H (Kg)	P. H. (kg)	Vol. (m3)	Den. (Kg/m3)
TH2 (20% A.R.)	1	7,5	7,00	8,185	20,591	12,406	0,0106	1170
	2	7,5	7,00	8,185	19,869	11,684	0,0106	1102
	3	7,5	7,00	8,185	19,342	11,157	0,0106	1053
	4	7,5	7,00	8,185	20,038	11,853	0,0106	1118
	5	7,5	7,00	8,185	20,179	11,994	0,0106	1132
	6	7,5	7,00	8,185	19,972	11,787	0,0106	1112
	7	7,5	7,00	8,185	20,227	12,042	0,0106	1136
	8	7,5	6,50	8,185	20,552	12,367	0,0106	1167
	9	7,5	6,50	8,185	19,832	11,647	0,0106	1099
	10	7,5	6,50	8,185	19,306	11,121	0,0106	1049
	11	7,5	6,50	8,185	20,001	11,816	0,0106	1115
	12	7,5	6,50	8,185	20,141	11,956	0,0106	1128
	13	7,5	6,50	8,185	19,935	11,750	0,0106	1108
	14	7,5	6,50	8,185	20,188	12,003	0,0106	1132

Tabla 1d : Datos obtenidos y cálculos en estado fresco TH 3 (30% A.R.)

TH	Nro	As. Dis. (cm)	As. Ens. (cm)	P. M. (Kg)	P. M+H (Kg)	P. H. (kg)	Vol. (m3)	Den. (Kg/m3)
TH3 (30% A.R.)	1	7,5	6,50	8,185	19,405	11,220	0,0106	1058
	2	7,5	6,50	8,185	19,480	11,295	0,0106	1066
	3	7,5	6,50	8,185	19,935	11,750	0,0106	1109
	4	7,5	6,50	8,185	20,106	11,921	0,0106	1125
	5	7,5	6,50	8,185	20,031	11,846	0,0106	1118
	6	7,5	6,50	8,185	20,039	11,854	0,0106	1118
	7	7,5	6,50	8,185	20,166	11,981	0,0106	1130
	8	7,5	7,00	8,185	19,333	11,148	0,0106	1052
	9	7,5	7,00	8,185	19,408	11,223	0,0106	1059
	10	7,5	7,00	8,185	20,109	11,924	0,0106	1125
	11	7,5	7,00	8,185	20,029	11,844	0,0106	1117
	12	7,5	7,00	8,185	19,955	11,770	0,0106	1110
	13	7,5	7,00	8,185	19,963	11,778	0,0106	1111
	14	7,5	7,00	8,185	20,008	11,823	0,0106	1115

Tabla 1e : Datos obtenidos y cálculos en estado fresco TH 4 (40% A.R.)

TH	Nro	As. Dis. (cm)	As. Ens. (cm)	P. M. (Kg)	P. M+H (Kg)	P. H. (kg)	Vol. (m3)	Den. (Kg/m3)
TH4 (40% A.R.)	1	7,5	6,50	8,185	19,849	11,664	0,0106	1100
	2	7,5	6,50	8,185	19,855	11,670	0,0106	1101
	3	7,5	6,50	8,185	19,266	11,081	0,0106	1045
	4	7,5	6,50	8,185	19,958	11,773	0,0106	1111
	5	7,5	6,50	8,185	20,131	11,946	0,0106	1127
	6	7,5	6,50	8,185	19,893	11,708	0,0106	1104
	7	7,5	6,50	8,185	19,741	11,556	0,0106	1090
	8	7,5	7,50	8,185	20,103	11,918	0,0106	1124
	9	7,5	7,50	8,185	19,183	10,998	0,0106	1038
	10	7,5	7,50	8,185	19,841	11,656	0,0106	1100
	11	7,5	7,50	8,185	19,894	11,709	0,0106	1105
	12	7,5	7,50	8,185	20,066	11,881	0,0106	1121
	13	7,5	7,50	8,185	19,828	11,643	0,0106	1098
	14	7,5	7,50	8,185	19,678	11,493	0,0106	1084

Una vez obtenidos los datos de rotura de los cilindros, se procede a la depuración de datos que se encuentren fuera del rango establecido, dicho rango se calcula sumando la media aritmética de todos los datos \pm la desviación estándar.

Cálculo de la media aritmética

$$X_m = \frac{x_1 + x_2 \dots \dots \dots + x_n}{n}$$

Dónde:

X_m : Media aritmética

x_1, x_2, \dots, x_n : Datos individuales

n : Número de datos

Calculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_m)^2}{n - 1}}$$

Dónde:

S : Desviación estándar

X_m : Media aritmética

x_i : Datos individuales

n : Numero de datos

El valor representativo para el análisis de las muestras, será el promedio de los datos que se encuentren dentro del rango establecido.

$$x_m - s \leq X \leq x_m + s$$

Tabla 2a : Ubicación de datos fuera del intervalo de confianza THp (0% A.R)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Días)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
THP (0% A.R.)	1	14	12,554	0,014	896,71	345,3	195,40	180	1114
	2	14	11,290	0,0106	1065,06	295,6	167,28		
	3	14	12,178	0,0106	1148,88	315,0	178,25		
	4	14	12,355	0,0106	1165,53	316,8	179,27		
	5	14	12,501	0,0106	1179,36	310,9	175,93		
	6	14	12,286	0,0106	1159,01	319,8	180,97		
	7	14	12,551	0,0106	1184,02	326,7	184,87		
	Desviacion Estandar =			8,60		Rango (Xo ; X1)		188,88	171,69
	8	28	12,410	0,0106	1170,75	381,1	215,66	222	1148
	9	28	11,603	0,0106	1094,65	385,7	218,26		
	10	28	12,172	0,0106	1148,34	412,6	233,48		
	11	28	12,328	0,0106	1163,02	386,7	218,83		
	12	28	12,195	0,0106	1150,49	390,8	221,15		
	13	28	12,259	0,0106	1156,52	401,6	227,26		
14	28	12,201	0,0106	1151,07	389,7	220,53			
Desviacion Estandar =			6,14		Rango (Xo ; X1)		228,31	216,02	

Tabla 2b : Ubicación de datos fuera del intervalo de confianza TH 1 (10% A.R)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Días)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
TH1 (10% A.R.)	1	14	12,312	0,0106	1161,51	310,1	175,48	177	1118
	2	14	11,881	0,0106	1120,86	319,8	180,97		
	3	14	11,787	0,0106	1111,97	336,1	190,19		
	4	14	11,958	0,0106	1128,08	318,6	180,29		
	5	14	11,850	0,0106	1117,92	306,1	173,22		
	6	14	11,891	0,0106	1121,77	312,1	176,61		
	7	14	11,258	0,0106	1062,09	284,7	161,11		
	8	28	12,502	0,0106	1179,42	389,6	220,47	218	1121
	9	28	11,869	0,0106	1119,67	390,1	220,75		
	10	28	11,774	0,0106	1110,79	386,9	218,94		
	11	28	11,945	0,0106	1126,89	381,2	215,72		
	12	28	11,899	0,0106	1122,58	370,0	209,38		
	13	28	11,958	0,0106	1128,11	392,0	221,83		
	14	28	11,246	0,0106	1060,97	389,0	220,13		

Tabla 2c : Ubicación de datos fuera del intervalo de confianza TH 2 (20% A.R)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO						Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Dias)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)			
TH2 (20% A.R.)	1	14	12,356	0,0106	1165,70	295,3	167,11	175	1113	
	2	14	11,638	0,0106	1097,90	311,2	176,10			
	3	14	11,112	0,0106	1048,30	298,6	168,97			
	4	14	11,806	0,0106	1113,77	312,5	176,84			
	5	14	11,946	0,0106	1126,99	325,6	184,25			
	6	14	11,740	0,0106	1107,55	309,3	175,03			
	7	14	11,993	0,0106	1131,45	310,4	175,65			
	8	28	12,317	0,0106	1161,99	386,7	218,83	216	1110	
	9	28	11,601	0,0106	1094,40	365,8	207,00			
	10	28	11,077	0,0106	1044,96	378,7	214,30			
	11	28	11,768	0,0106	1110,23	382,7	216,56			
	12	28	11,908	0,0106	1123,40	395,7	223,92			
	13	28	11,703	0,0106	1104,02	379,1	214,53			
	14	28	11,955	0,0106	1127,84	380,0	215,04			

Tabla 2d : Ubicación de datos fuera del intervalo de confianza TH 3 (30% A.R)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO						Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Dias)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)			
TH3 (30% A.R.)	1	14	11,175	0,0106	1054,21	308,4	174,52	172	1099	
	2	14	11,250	0,0106	1061,33	287,6	162,73			
	3	14	11,703	0,0106	1104,09	307,6	174,07			
	4	14	11,873	0,0106	1120,09	301,0	170,31			
	5	14	11,798	0,0106	1113,06	295,4	167,14			
	6	14	11,807	0,0106	1113,83	309,7	175,25			
	7	14	11,933	0,0106	1125,75	318,6	180,29			
	8	28	11,103	0,0106	1047,46	374,4	211,87	213	1094	
	9	28	11,178	0,0106	1054,54	378,5	214,19			
	10	28	11,876	0,0106	1120,41	386,9	218,94			
	11	28	11,797	0,0106	1112,92	375,0	212,21			
	12	28	11,723	0,0106	1105,93	371,3	210,09			
	13	28	11,731	0,0106	1106,69	381,5	215,90			
	14	28	11,776	0,0106	1110,91	369,8	209,26			

Tabla 2e : Ubicación de datos fuera del intervalo de confianza TH 4 (40% A.R)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Dias)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
TH4 (40% A.R.)	1	14	11,617	0,0106	1095,95	264,9	149,90	160	1093
	2	14	11,624	0,0106	1096,56	286,3	162,01		
	3	14	11,037	0,0106	1041,23	269,0	152,22		
	4	14	11,726	0,0106	1106,26	287,5	162,69		
	5	14	11,898	0,0106	1122,49	295,7	167,33		
	6	14	11,661	0,0106	1100,08	284,6	161,03		
	7	14	11,510	0,0106	1085,84	285,6	161,60		
	8	28	11,870	0,0106	1119,80	370,6	209,72	202	1084
	9	28	10,954	0,0106	1033,39	350,7	198,46		
	10	28	11,609	0,0106	1095,23	356,0	201,44		
	11	28	11,456	0,0106	1080,75	359,7	203,57		
	12	28	11,523	0,0106	1087,08	360,8	204,17		
	13	28	11,597	0,0106	1094,04	356,4	201,66		
	14	28	11,447	0,0106	1079,88	340,6	192,74		

**Tabla 3a : Depuración de datos y cálculo del promedio de los datos
que se encuentran dentro del intervalo de confianza**

THp (0% A.R.) – TH 1 (10% A.R.)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Días)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
THP (0% A.R.)	1	DEPURADO					180	1167	
	2	DEPURADO							
	3	14	12,178	0,0106	1148,88	315,0			178,25
	4	14	12,355	0,0106	1165,53	316,8			179,27
	5	14	12,501	0,0106	1179,36	310,9			175,93
	6	14	12,286	0,0106	1159,01	319,8			180,97
	7	14	12,551	0,0106	1184,02	326,7			184,87
	8	DEPURADO					221	1143	
	9	28	11,603	0,0106	1094,65	385,7			218,26
	10	DEPURADO							
	11	28	12,328	0,0106	1163,02	386,7			218,83
	12	28	12,195	0,0106	1150,49	390,8			221,15
	13	28	12,259	0,0106	1156,52	401,6			227,26
	14	28	12,201	0,0106	1151,07	389,7			220,53
TH1 (10% A.R.)	1	14	12,312	0,0106	1161,51	310,1	175,48	177	1130
	2	14	11,881	0,0106	1120,86	319,8	180,97		
	3	DEPURADO							
	4	14	11,958	0,0106	1128,08	318,6	180,29		
	5	14	11,850	0,0106	1117,92	306,1	173,22		
	6	14	11,891	0,0106	1121,77	312,1	176,61		
	7	DEPURADO							
	8	28	12,502	0,0106	1179,42	389,6	220,47	219	1120
	9	28	11,869	0,0106	1119,67	390,1	220,75		
	10	28	11,774	0,0106	1110,79	386,9	218,94		
	11	28	11,945	0,0106	1126,89	381,2	215,72		
	12	DEPURADO							
	13	DEPURADO							
	14	28	11,246	0,0106	1060,97	389,0	220,13		

**Tabla 3b : Depuración de datos y cálculo del promedio de los datos
que se encuentran dentro del intervalo de confianza**

TH2 (20% A.R.) – TH 3 (30% A.R.)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Días)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
TH2 (20% A.R.)	1	DEPURADO					175	1100	
	2	14	11,638	0,0106	1097,90	311,2			176,10
	3	14	11,112	0,0106	1048,30	298,6			168,97
	4	14	11,806	0,0106	1113,77	312,5			176,84
	5	DEPURADO							
	6	14	11,740	0,0106	1107,55	309,3			175,03
	7	14	11,993	0,0106	1131,45	310,4			175,65
	8	28	12,317	0,0106	1161,99	386,7	218,83	216	1110
	9	DEPURADO							
	10	28	11,077	0,0106	1044,96	378,7	214,30		
	11	28	11,768	0,0106	1110,23	382,7	216,56		
	12	DEPURADO							
	13	28	11,703	0,0106	1104,02	379,1	214,53		
	14	28	11,955	0,0106	1127,84	380,0	215,04		
TH3 (30% A.R.)	1	14	11,175	0,0106	1054,21	308,4	174,52	172	1101
	2	DEPURADO							
	3	14	11,703	0,0106	1104,09	307,6	174,07		
	4	14	11,873	0,0106	1120,09	301,0	170,31		
	5	14	11,798	0,0106	1113,06	295,4	167,14		
	6	14	11,807	0,0106	1113,83	309,7	175,25		
	7	DEPURADO							
	8	28	11,103	0,0106	1047,46	374,4	211,87	213	1086
	9	28	11,178	0,0106	1054,54	378,5	214,19		
	10	DEPURADO							
	11	28	11,797	0,0106	1112,92	375,0	212,21		
	12	28	11,723	0,0106	1105,93	371,3	210,09		
	13	28	11,731	0,0106	1106,69	381,5	215,90		
	14	DEPURADO							

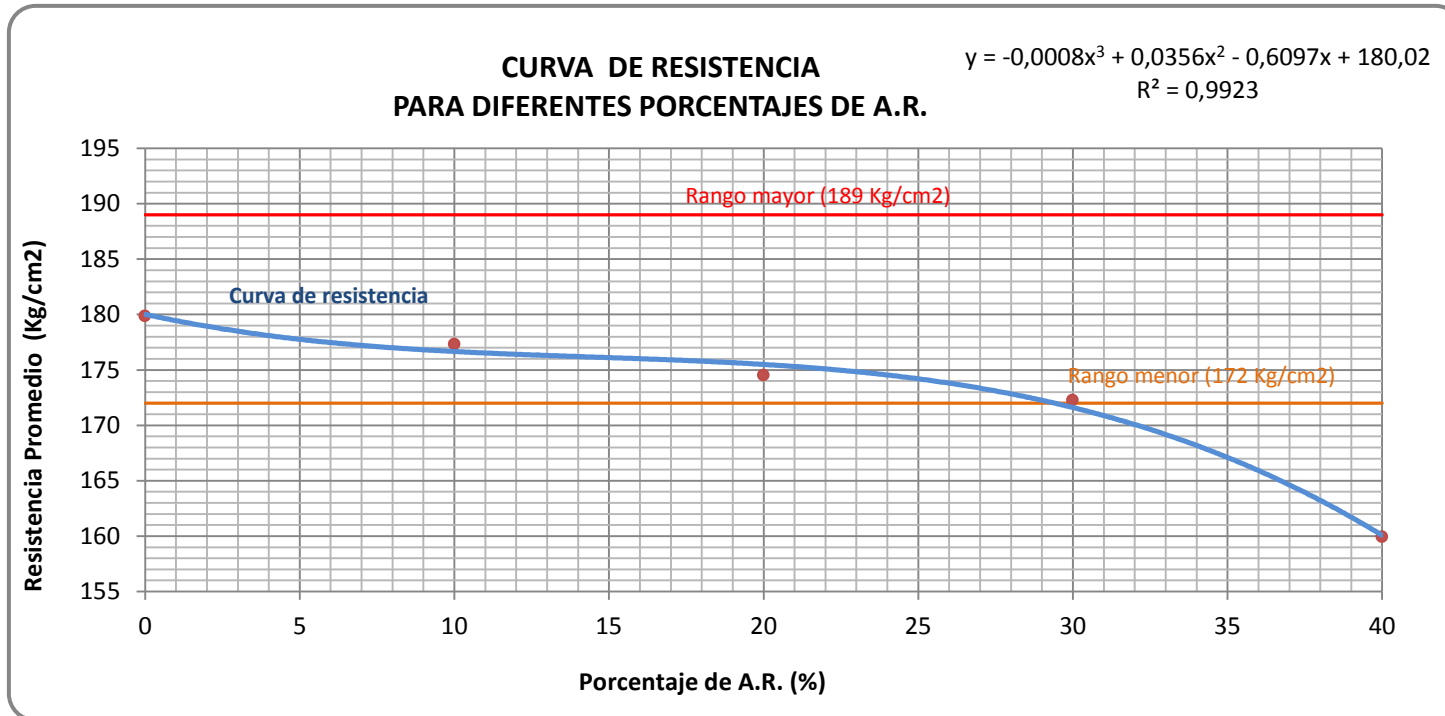
**Tabla 3c : Depuración de datos y cálculo del promedio de los datos
que se encuentran dentro del intervalo de confianza**

TH4 (40% A.R.)

TH	Nro	EDAD	ENSAYO EN ESTADO ENDURECIDO					Prom. Res.	Prom. P.U.
		(Días)	Peso (Kg)	Vol (m3)	P.U. (Kg/m3)	Lec. (KN)	Res.(Kg/cm2)		
TH4 (40% A.R.)	1	DEPURADO						160	1086
	2	14	11,624	0,0106	1096,56	286,3	162,01		
	3	14	11,037	0,0106	1041,23	269,0	152,22		
	4	14	11,726	0,0106	1106,26	287,5	162,69		
	5	DEPURADO							
	6	14	11,661	0,0106	1100,08	284,6	161,03		
	7	14	11,510	0,0106	1085,84	285,6	161,60		
	8	DEPURADO						202	1078
	9	28	10,954	0,0106	1033,39	350,7	198,46		
	10	28	11,609	0,0106	1095,23	356,0	201,44		
	11	28	11,456	0,0106	1080,75	359,7	203,57		
	12	28	11,523	0,0106	1087,08	360,8	204,17		
	13	28	11,597	0,0106	1094,04	356,4	201,66		
	14	DEPURADO							

4.2. Presentación de resultados Presentación de resultados para ensayos a los 14 días de edad

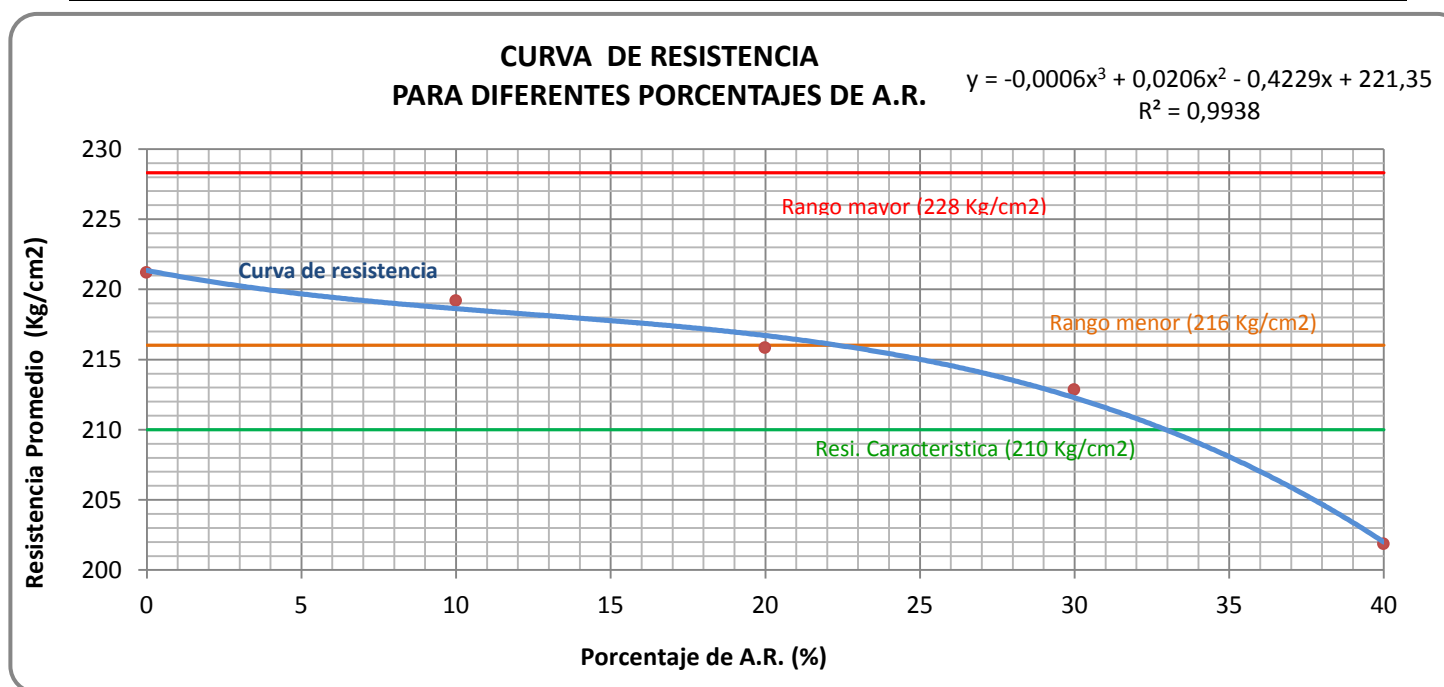
Nro	TH	% De A.R.	C. (kg/m3)	A. (kg/m3)	G. (kg/m3)	A. R. (kg/m3)	P.U. (kg/m3)	Resis. (kg/cm2)
1	THp	0	373	662	992	0	1167	180
2	TH1	10	373	662	893	81	1130	177
3	TH2	20	373	662	794	162	1100	175
4	TH3	30	373	662	694	243	1101	172
5	TH4	40	373	662	595	324	1086	160



De las curvas se puede determinar hasta qué porcentaje de sustitución de grava por A.R. se encuentran dentro del rango.

Presentación de resultados para ensayos a los 28 días de edad

Nro	TH	% De A.R.	C. (kg/m3)	A. (kg/m3)	G. (kg/m3)	A. R. (kg/m3)	P.U. (kg/m3)	Resis. (kg/cm2)
1	THp	0	373	662	992	0	1143	221
2	TH1	10	373	662	893	81	1120	219
3	TH2	20	373	662	794	162	1110	216
4	TH3	30	373	662	694	243	1086	213
5	TH4	40	373	662	595	324	1078	202



De las curvas se puede determinar hasta qué porcentaje de sustitución de grava por A.R. se encuentran dentro del rango.

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos determinar el porcentaje de variación de la densidad y la resistencia para cada porcentaje de sustitución de la grava por agregado reciclado, el cual se presenta en los cuadros siguientes:

Porcentaje de reducción de la densidad a los 14 días de edad del hormigón

Nro	TH	% De A.R.	P.U. (kg/m ³)	% De Reducc. Del P.U.
1	THp	0	1167	0,0
2	TH1	10	1130	3,2
3	TH2	20	1100	5,8
4	TH3	30	1101	5,7
5	TH4	40	1086	7,0

Porcentaje de reducción de la resistencia a los 14 días de edad del hormigón

Nro	TH	% De A.R.	Resis. (kg/cm ²)	% De Reducc. de Resis.
1	THp	0	180	0,0
2	TH1	10	177	1,4
3	TH2	20	175	3,0
4	TH3	30	172	4,2
5	TH4	40	160	11,1

Porcentaje de reducción de la densidad a los 28 días de edad del hormigón

Nro	TH	% De A.R.	P.U. (kg/m ³)	% De Reducc. Del P.U.
1	THp	0	1143	0,0
2	TH1	10	1120	2,1
3	TH2	20	1110	2,9
4	TH3	30	1086	5,0
5	TH4	40	1078	5,7

Porcentaje de reducción de la resistencia a los 28 días de edad del hormigón

Nro	TH	% De A.R.	Resis. (kg/cm ²)	% De Reducc. de Resis.
1	THp	0	221	0,0
2	TH1	10	219	0,9
3	TH2	20	216	2,4
4	TH3	30	213	3,8
5	TH4	40	202	8,7

4.3. Análisis de resultados

4.3.1. Análisis de resistencias.

Con los resultados obtenidos, podemos determinar el porcentaje adecuado de sustitución de la grava por agregado reciclado, de manera que la resistencia promedio supere la resistencia requerida.

De la curva de resistencia para diferentes porcentajes de agregado reciclado a la edad de 28 días, se puede determinar mediante la gráfica y/o ecuación, el porcentaje máximo que se puede sustituir la grava por agregado reciclado, sin que la resistencia caiga por debajo del intervalo de confianza del hormigón patrón.

De la ecuación:

$$y = -0,0006x^3 + 0,0206x^2 - 0,4229x + 221,35$$

Donde :

Y : Resistencia (Kg/cm²)

X : Porcentaje de sustitución de grava por A.R.

Resolviendo la ecuación para un porcentaje de 20 %

$$y = -0,0006 * 20^3 + 0,0206 * 20^2 - 0,4229 * 20 + 221,35$$

$$y = 216,33 \text{ Kg/cm}^2$$

De acuerdo a la gráfica y ecuación generada, se podría sustituir el 20 % de grava por Agregado reciclado, de manera que el comportamiento de resistencia del hormigón con incorporación de escombros sea similar al hormigón convencional.

Para el porcentaje de 20 % se tiene:

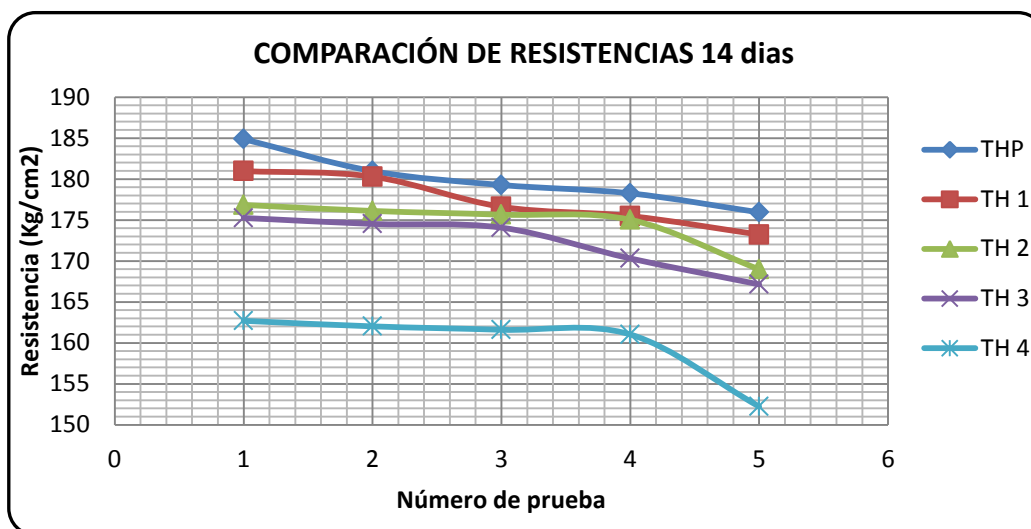
Una reducción de la densidad de 2,9 % respecto al hormigón patrón.

Para la resistencia, se tiene una reducción de 3,8 % respecto al hormigón patrón.

Se realiza una comparación de resistencias del hormigón con incorporación de agregado reciclado versus el hormigón patrón.

Tabla 4a : Comparación de resistencias a los 14 días

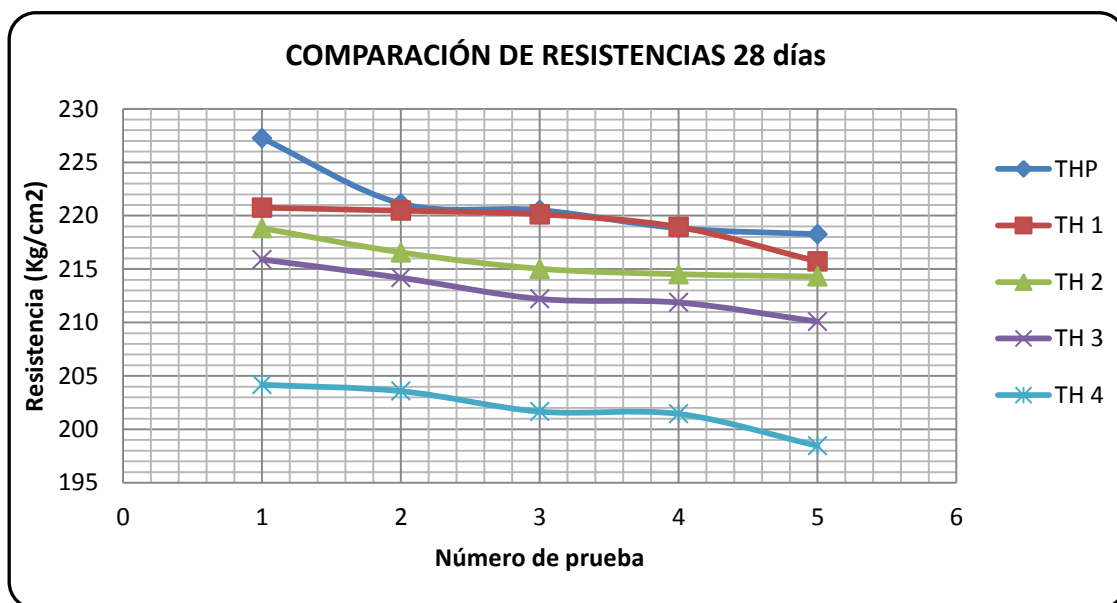
RESUMEN DE DATOS DE RESISTENCIA Y DENSIDAD A LOS 14 DÍAS DE EDAD										
Nro.	Porcentaje de sustitución (%)									
	0		10		20		30		40	
	Resis.	P.U.	Resis.	P.U.	Resis.	P.U.	Resis.	P.U.	Resis.	P.U.
1	185	1150	181	1121	177	1114	175	1114	163	1106
2	181	1125	180	1128	176	1098	175	1054	162	1097
3	179	1132	177	1122	176	1131	174	1104	162	1086
4	178	1115	175	1162	175	1108	170	1120	161	1100
5	176	1145	173	1118	169	1048	167	1113	152	1041



De la gráfica comparación de resistencias a los 14 días de edad del hormigón, se puede observar que la incorporación de Agregado reciclado (escombros de hormigón), hasta un 30 %, no presenta variaciones bruscas de resistencias, cuando este porcentaje se aumenta en un 10 % más, la resistencia sufre una caída brusca.

Tabla 4b : Comparación de resistencias a los 28 días

RESUMEN DE DATOS DE RESISTENCIA Y DENSIDAD A LOS 28 DÍAS DE EDAD										
Nro.	Porcentaje de sustitución (%)									
	0		10		20		30		40	
	Res.	P.U.	Res.	P.U.	Res.	P.U.	Res.	P.U.	Res.	P.U.
1	227	1123	221	1120	219	1162	216	1107	204	1087
2	221	1117	220	1179	217	1110	214	1055	204	1081
3	221	1118	220	1061	215	1128	212	1113	202	1094
4	219	1129	219	1111	215	1104	212	1047	201	1095
5	218	1063	216	1127	214	1045	210	1106	198	1033



De la gráfica comparación de resistencias a los 28 días de edad del hormigón, se puede observar que la incorporación de Agregado reciclado (escombros de hormigón), hasta un 30 %, no presenta variaciones bruscas de resistencias, cuando este porcentaje se aumenta en un 10 % más, la resistencia sufre una caída brusca.

4.3.1. Análisis de costos.

La producción de áridos reciclados para la elaboración de nuevos hormigones, tiene un costo reducido en comparación al agregado natural, se presenta un análisis y comparación del agregado reciclado con el agregado natural.

Tipo de producción		P.U. (Bs/m3)	% Reducción
A.R.	Manual	85.40	39
	C/Trituradora	68.31	51
Grava chancada		140	0

Reemplazando un 20 % de grava por agregado reciclado se tiene el siguiente cuadro:

Tipo de producción		P.U. (Bs/m3)	20 % A.R.	80 % A.N.	Total (Bs)	% Reducción	
A.R.	Manual	85.40	17	112	129	8	
	C/Trituradora	68.31	14	112	126	11	
Grava chancada (Bs/m3)		140					

Para una sustitución del 20 % de grava chancada por agregado reciclado se tiene una reducción de costo comprendida entre 8 a 11 %.

4.4. Contrastación de hipótesis

La hipótesis planteada para el presente trabajo de investigación es la siguiente:

“La incorporación de escombros de hormigón como agregados no convencionales en mezclas de concreto estructural, hasta un 30% logrará generar en estos características similares al hormigón convencional para uso estructural”.

Una vez realizado los ensayos correspondientes en las probetas de hormigón, se determinó que hasta un 20 % de incorporación de agregado reciclado, se obtienen características similares al hormigón convencional para uso estructural.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Realizado el trabajo de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El reciclaje del concreto demolido posee importantes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales, la gran ventaja es que soluciona paralelamente la eliminación de estos materiales (material de demolición) y que por medio del aprovechamiento de estos materiales se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.
- Con el reciclaje de concreto demolido solucionamos graves problemas medioambientales, creemos que es importante tener que introducir en la construcción algunos cambios que ayuden a la conservación y mejoramiento de nuestro entorno.
- Se realizó los ensayos característicos necesarios para la dosificación de hormigones como ser: granulometría, peso unitario, resistencia al desgaste, porosidad y absorción para los agregados gruesos (grava chancada y escombro de hormigón) y agregado fino (arena), los cuales se encuentran dentro del rango establecido por la ASTM. La absorción en el escombro arrojó un valor de 5,14 % , de la grava chancada 1,23% y de la arena 2,99 %. La resistencia al desgaste de la grava chancada arrojó un valor de 24%, mientras de del agregado reciclado nos dio un valor de 33 %.
- Se realizó la dosificación para diferentes porcentajes de sustitución de grava por agregado reciclado (de 0 a 40% con variaciones de 10% de A.R.) a partir de un hormigón convencional. Cuando mayor es el porcentaje de sustitución, la cantidad de agua aumenta, debido a que la absorción del escombro es más

elevado que la absorción de la grava natural, debido al mortero adherido que presentan las partículas del escombros.

- El porcentaje de sustitución de árido reciclado grueso es el factor más determinante sobre la densidad o Peso Unitario del hormigón, debido a la diferencia de pesos del agregado natural y del agregado reciclado. Cuando el porcentaje de sustitución es del 20% la densidad disminuye un 2,9 %. Si la sustitución es del 40% la reducción de densidad llega al 5,7 % .
- El asentamiento en los hormigones ensayados oscilan entre 6,5 y 7,5 cm, tanto para el hormigón patrón y para el hormigón con incorporación de escombros.
- La resistencia a compresión del hormigón reciclado se ve afectada únicamente por la calidad de los áridos reciclados empleados. La mayor calidad del árido reciclado está relacionada con menor cantidad de mortero adherido, menor absorción y ello conduce a una mayor resistencia final del hormigón.
- La resistencia a compresión cuando se sustituye el 20 % de grava por agregado reciclado, sufre una reducción de 3,8%, cuando la sustitución de grava por agregado reciclado es de 40 %, la resistencia disminuye en un 8,7 %,
- De acuerdo al análisis de datos, se estableció un rango de confianza para el hormigón Patrón, cuyo rango está comprendido por un valor máximo (228 Kg/cm^2) y un valor mínimo (216 Kg/cm^2), cuando se sustituye el 20 % de grava por agregado reciclado, se llega a una resistencia de $216,33 \text{ Kg/cm}^2$, esta resistencia se encuentra dentro del rango especificado, por lo cual se establece que el porcentaje máximo de sustitución de grava por agregado reciclado es de 20 %, de manera que el hormigón con incorporación de escombros tenga comportamientos similares respecto al hormigón convencional.
- Cuando se sustituye hasta un 20 % de grava por escombros, se tiene una reducción de costos de 8 a 11 %.

- Las características de resistencia de los agregados chancados ya sean naturales o reciclados depende del tipo de trituradoras que se utilicen ya sean de mandíbulas, de impacto o de martillos, siendo esta última la que produce menores fisuras a los agregados.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, los escombros de hormigón pueden ser utilizados en nuevos hormigones de uso estructural, ya que las características del hormigón con incorporación de escombros son similares al hormigón convencional de uso estructural.
- El análisis ambiental de acuerdo a la ley 1333 de un proyecto de Construcción, es un insumo importante para la evaluación socioeconómica y privada así como también para determinar la viabilidad técnica de un proyecto.
- La ley del Medio Ambiente (Nro. 1333) tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población, la optimización y racionalización del uso de los recursos naturales no renovables, garantizando su disponibilidad a largo plazo.
- Con el aprovechamiento de escombros de hormigón (producto de las actividades de construcción), contribuimos en la mejoría de la calidad de vida de los habitantes, ya que aportamos en las medidas de mitigación ambiental que indica la ley 1333 para los impactos de **suelo** (evitamos la sobreexplotación de canteras y ríos, además de reducir la contaminación ambiental producto del vertido de escombros en buzones y barrios periféricos de nuestra ciudad), **agua** (reducción de la contaminación ambiental producto del vertido de escombros en ríos y quebradas), **aire** (reducción de la contaminación ambiental a consecuencia de la producción de gases tóxicos, generación de polvo y ruido debido a la circulación de vehículos para la evacuación de escombros), y **socioeconómico** (contribuimos en la mejoría de la calidad de vida de la población, dando buen aspecto en calles y avenidas de nuestra ciudad).

5.2. Recomendaciones.

Realizado el trabajo de investigación se recomienda:

- Analizar en profundidad la influencia de la calidad del árido reciclado y de los posibles contaminantes en las propiedades del hormigón reciclado.
- Mediante la curva de resistencias se llegó a un porcentaje máximo de sustitución del 20%, pero se recomienda reemplazar como máximo un 15% de grava por escombros de hormigón, de manera que la resistencia de la misma se mantenga dentro del rango establecido para un hormigón convencional.
- Para el presente trabajo de investigación se utilizó agregado reciclado con un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", sería interesante realizar un hormigón a base de escombros con un tamaño máximo nominal mayor a $\frac{3}{4}$ ", para ver el comportamiento de la resistencia, y la influencia que tiene el mortero adherido en el agregado reciclado.
- Realizar un estudio con la incorporación de algún tipo de super plastificante, y la influencia que tiene la misma en la resistencia del hormigón.
- Utilizar agregados reciclados cuyos valores de resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles arroje un valor inferior o igual al 30 %.
- Incorporar los escombros de hormigón como agregados no convencionales en mezclas de concreto estructural para contrarrestar los efectos de la contaminación ambiental que indica la ley 1333 en suelos, aguas y aire, a consecuencia del traslado y vertido de estos escombros en ríos, quebradas y barrios periféricos de nuestra ciudad.