

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. TEMA

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE HORMIGÓN FABRICADO CON RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN MINERA

1.2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Toda extracción de agregados en los márgenes de los diferentes ríos es dañina en grado extremo, porque esos materiales jamás serán repuestos por la naturaleza, por tratarse de un río cuyo cauce ya no es libre desde la cabecera hasta la desembocadura; y porque las labores mecánicas de extracción generalmente aumentan la superficie de circulación de las aguas, con lo que la tasa de evaporación se hace mayor, al tiempo que el coeficiente de infiltración se incrementa en la medida en que hay más área de contacto entre la superficie aluvial y las aguas, esto reduce el volumen de agua disponible.

Para un buen control de la calidad de los Agregados es necesario conocer las propiedades que estos poseen para ser utilizados para fines ingenieriles.

La principal preocupación sería que los ríos comienzan a tener cicatrices dejadas por las extracciones de gravas y arenas pues se recurrirá a esas fuentes naturales gracias a su fácil acceso ya que las gravas y arenas tienen el mejor costo del mercado.

Los daños que se producen por la extracción de los agregados son:

- La sobreexplotación del cauce, daños de los márgenes y las terrazas del río.
- Rotura de la pendiente de equilibrio del río.
- Ramificación del cauce con lo que aumenta la evaporación y los niveles de infiltración hacia el acuífero.
- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con lubricantes y combustibles.

- Incremento de la cantidad de sólidos en suspensión, limitando el aprovechamiento de las aguas en la zona aguas abajo de la explotación.

1.2.1. ANTECEDENTES

Las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más importantes en términos de volumen son los estériles y desechos. La principal problemática es el gran volumen generado, que precisa grandes escombreras para su disposición en las proximidades del yacimiento.

Los residuos mineros cuantitativamente más importantes son los inertes, que se almacenan en escombreras o en forma de lodos, en balsas o presas. Habitualmente se emplean directamente para el relleno de huecos producidos en la extracción del mineral.

Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto, de forma que pueden provocar la contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana.

Principales efectos de la minería sobre el medio ambiente:

Como previamente se ha expuesto, las operaciones mineras conllevan frecuentemente el uso y transformación de grandes extensiones y volúmenes de terreno. Tanto en la etapa operacional como tras el abandono, se dan una serie de efectos ambientales de mayor o menor magnitud en función de las condiciones locales y el tipo de explotación. Se listan a continuación los principales efectos medioambientales de las actividades mineras, si bien hay que tener presente que no siempre se dan todos y su trascendencia es variable según los casos. Son los siguientes:

- Alteración del paisaje.
- Modificación del hábitat ecológico.
- Destrucción de cubierta vegetal.
- Ruido.
- Emisiones de polvo y sedimentación del mismo.

- Modificación de cursos de agua.
- Modificación de niveles piezométricos.
- Generación de residuos.
- Contaminación de suelos.
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

También cabe hacer mención a los problemas de seguridad para los bienes las personas, especialmente en explotaciones abandonadas. Se deben fundamentalmente a inestabilidad estructural de elementos tales como escombreras, balsas y galerías subterráneas, así como a la existencia de huecos en el terreno sin protección o señalización (p. ej. antiguos pozos de ventilación de galerías).

Todos estos residuos deben ser manipulados y tratados en forma adecuada desde la generación hasta su destino final. Dada la diversidad de residuos, ellos deben ser clasificados y manipulados separadamente de manera adecuada para cada tipo de residuo.

Una práctica común en gran parte de las minas como la codisposición de estériles y todos los otros tipos de residuos en una misma escombrera no se admite más sin que se pueda probar que ésta es la mejor forma de administrar el problema.

La localización y ubicación de las minas es de suma importancia para conocer la caracterización mineral y química de los agregados ya que podemos conocer los antecedentes de su formación.

En la localidad de Tasna, Departamento de Potosí. Debido a un acelerado crecimiento poblacional es necesario conocer con qué materiales se está elaborando nuevos proyectos y mejorando algunos de ellos. La industria de la construcción tiene en el hormigón a uno de sus materiales importantes para las consideraciones del diseño y costos de las obras que se proyectan y ejecutan.

Los Agregados son elementos inertes dentro del concreto ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, la tecnología moderna se establece que siendo este material el que mayor porcentaje de participación tendrá dentro de la

unidad cúbica de concreto sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto.

La evaluación del árido grueso (ganga) como producto de residuos de la extracción minera, desde un enfoque de desarrollo sostenible, requiere considerar aspectos socioeconómicos y medioambientales, considerando su ciclo de vida que contempla: su extracción, producción, distribución y utilización, no perdiendo de vista el consumo de energía, los contaminantes que produce, lo cual nos permite comparar diversas estrategias y cuantificar los impactos negativos y sus beneficios, de tal forma que nos permita definir el proceso más sostenible para el desarrollo, utilización y reutilización de estos recursos.

1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO

El presente trabajo es necesario para contar con un conocimiento importante para la ejecución correcta de los materiales en los diferentes tipos de construcciones.

Es indiscutible que la industria de la construcción requiere de un hormigón de calidad para la ejecución de sus obras, lo cual hace inevitable la necesidad de áridos o agregados de calidad, que cumplan las especificaciones señaladas en normas técnicas. Es así que debemos estar seguros que los áridos satisfacen plenamente otros requerimientos de la industria de la construcción, y así puedan ser usados en la preparación de concretos.

El hormigón no es otra cosa que piedra y arena cohesionados por el cemento, que toma la forma de encofrados o moldes diseñados previamente, o dicho en otras palabras, el hormigón es una cadena y como tal, es tan fuerte como el más débil de sus componentes por lo tanto fallará si uno solo de sus elementos es de baja calidad o escasa resistencia.

De allí la importancia de obtener áridos de óptima calidad, limpios y de alta resistencia, que cumpla con tamaños o granulometrías estipulados en las normas técnicas, permitiendo lograr el mejor hormigón. Como parte fundamental y de gran importancia en la planificación de una obra en ingeniería es necesario realizar estudios lo que

requieren de mucha dedicación y una profunda investigación con el objeto de descubrir problemas y sugerir posibles soluciones a los problemas encontrados.

1.2.3. PROBLEMA

Como se explica al inicio de este capítulo sobre la extracción de agregados naturales que ocasionan daños a los ríos además estos materiales son cada vez más escasos o está limitada su entrada es por esto que se busca otras opciones, como agregados procedentes de residuos de la extracción minera y estos puedan remplazar al agregado natural y generar resistencias similares.

La calidad del concreto es un factor determinante en la seguridad de una estructura. Pero esta se obtiene únicamente con un concreto diseño de mezcla para una obra, un eficiente mezclado y colocación, porque cumpliendo con todo esto, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia del concreto hecho bajo un mismo diseño.

Los ensayos de los materiales de los agregados se pueden efectuar para conocer las diferentes propiedades que contienen y con qué tipos de materiales se trabajan.

Si el Proyecto no se realizaría no podríamos estar hablando de que los materiales que se están utilizando cumplan o no con las diferentes especificaciones requeridas para la obtención de un buen hormigón, por eso es necesario realizar un ensayo de los agregados de residuos procedentes de las extracciones mineras con el fin de conocer cuáles son las propiedades que estos poseen.

Resistencia de Materiales; ya obtenidos las muestras podemos llegar a conclusiones para observar cuál de los hormigones elaborados con agregado grueso (ganga) llega a tener mayor resistencia, y cuál es la diferencia entre los agregados naturales. Limitando los factores para agregado grueso solamente.

1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación parte de la premisa de disminuir la cantidad final de residuos de la extracción minera como producto de industrias mineras establecidas en los

lugares de producción, preservando con ello al medio ambiente y al paisaje que nos rodea, mediante técnicas de reciclado, reutilizándolos en la elaboración de hormigones, analizando su posible aplicación estructural. Y de qué manera el agregado grueso (ganga) extraído de la Mina de la localidad de Tasna Provincia Nor Chichas Departamento de Potosí inciden en la resistencia del hormigón. Por lo que se estudia el comportamiento de las propiedades mecánicas que inciden en su resistencia.

1.2.5. ALCANCE

En el estudio denominaremos al residuo minero como ganga, se regirá en el diseño de un hormigón para uso estructural, basado en los ensayos A.S.T.M. para un diseño de mezcla de f'_{ck} de 210 kg/cm². Utilizando agregado grueso (ganga) procedente de residuos de la extracción minera con el propósito de determinar su incidencia en la resistencia mecánica a compresión en el hormigón y ver cómo actúan los resultados a las edades de 7, 14 y 28 días. Tratando de conservar o mejorar la resistencia mecánica a compresión de manera que el material (ganga) remplace totalmente al volumen de agregado grueso.

Se analizara la variación granulométrica del agregado grueso (ganga) procedente de la mina de la localidad de Tasna perteneciente a la Provincia Nor Chichas de Departamento de Potosí; Para ello se elaboraran 27 diseños de mezclas patrones de hormigón a las cuales se aplicaran los ensayos de resistencia a la compresión, que representa el valor más significativo de la variación general del hormigón. Tales diseños se realizaran 9 para 7 días, 9 para 14 días y 9 para 28 días respectivamente. Cumpliendo así este trabajo de investigación para obtener resultados representativos.

1.3. OBJETIVOS

La presente propuesta de trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

1.3.1. GENERAL

- Determinar a través de esta investigación, las propiedades importantes en el diseño de mezclas de hormigón utilizando agregado grueso (ganga) procedente de residuos de la extracción minera.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Identificar las características físicas y mecánicas del agregado grueso (ganga) producto de residuos de extracción minera.
- Identificar los procesos y procedimientos de obtención y tratamiento del material de agregado grueso (ganga) producto del residuo de la extracción minera para la fabricación del agregado propuesto.
- Elaborar los Diseños de mezclas en laboratorio para un hormigón de resistencia de 210 kg/cm² para evaluar a los 7, 14 y 28 días respectivamente.
- Elaborar probetas cilíndricas de hormigón y curado.
- Ejecutar los ensayos de resistencia a la compresión.
- Obtener la curva Edad vs. Resistencia a compresión de hormigón fabricado con agregado grueso (ganga) producto de residuos mineros.
- Determinar la resistencia característica del hormigón fabricado con agregado grueso (ganga) producto de residuos mineros según diferentes autores.
- Identificar las aplicaciones del hormigón fabricado con agregado grueso (ganga) producto de residuos de extracción minera, en función a sus características mecánicas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Las razones por las cuales se elabora el trabajo de investigación son las siguientes:

1.4.1. TEÓRICA

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

1.4.2. METODOLÓGICA

A través de la selección de un hormigón patrón, se pretende remplazar al agregado grueso natural por agregados grueso (ganga) producto de residuos de la extracción minera que producen las empresas mineras, de manera que las partículas de este ocupen el mismo volumen del agregado extraído y generen las mismas características mecánicas requerida imitando a un hormigón convencional.

1.4.3. PRÁCTICA.

Los estudios de concreto con sustitución de agregados gruesos naturales por los agregados gruesos (ganga) prometen un camino factible para su práctica, un ahorro de energía, mejoras medioambientales y solución para los millones de toneladas al año de éstos desechos que genera. La garantía de su posible aplicación estructural se centra en el estudio del comportamiento de propiedades tales como la resistencia mecánica que inciden en el hormigón, provocando variaciones en sus coeficientes de comportamiento y restringiendo su aplicación si éstas se omiten o equiparan con los concretos convencionales.

CAPÍTULO II

1. MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS MINEROS

Se entiende por residuos extractivas mineras todos los establecimientos y empresas que practican la extracción en superficie o subterránea de recursos minerales con fines comerciales, incluida la extracción mediante perforación o el tratamiento del material

extraído. Los “residuos de las industrias extractivas”, denominados en la normativa “residuos mineros” son aquellos residuos sólidos, acuosos o en pasta que quedan tras la investigación y aprovechamiento de un recurso geológico, tales como son los estériles de mina, gangas, rechazos, y las colas de proceso e incluso la tierra vegetal y cobertera en determinadas condiciones, siempre que constituyan residuos tal y como se definen en la Ley 1333, de agua y medio ambiente.

¿DÓNDE SE GENERAN?

En la propia mina subterránea o a cielo abierto, o en las canteras o en las graveras o en las plantas de concentración (plantas de tratamiento físico-químico).

Estos residuos se almacenan en las denominadas “instalaciones de residuos mineros” y pueden ser de tres tipos:

- **Escombreras:** Son las instalaciones de residuos mineros construidas para el depósito de residuos mineros sólidos en superficie.
- **Balsas:** Son las instalaciones de residuos mineros naturales o construidas para la eliminación de residuos mineros de grano fino junto con cantidades diversas de agua libre, resultantes del tratamiento y beneficio de recursos minerales y del aclarado y reciclado del agua usada para dicho tratamiento y beneficio.
- **Presas mineras:** Son estructuras diseñadas y construidas para contener agua o residuos mineros en una balsa.

¿QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENEN?

Las características dependen del origen de la actividad minera. En el caso de los áridos, de los minerales industriales, de las rocas ornamentales (granito, mármol), etc., sus residuos suelen ser inertes; en el caso de la minería metálica, podrían clasificarse como peligrosos, estériles que generan ácido procedentes de la transformación de sulfuros; y otros residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales metálicos.

¿POR QUÉ SE DEBEN GESTIONAR ADECUADAMENTE?

Su abandono o gestión inadecuada puede afectar al paisaje, al suelo y vegetación; o en determinados casos a los ecosistemas acuáticos y a la salud humana. Además, en algunos casos, fallos estructurales en las instalaciones en caso de rotura, podrían afectar a las personas y bienes. La recogida y tratamiento de estos residuos, posibilita el reciclaje de calidad de los materiales que los conforman y permite su empleo en otros usos tales como materiales de construcción. Todo ello comporta un ahorro de materias primas y la conservación de los recursos naturales.

¿CUÁL ES SU CICLO DE GESTIÓN?

Los residuos se almacenan en instalaciones autorizadas desde las que se destinan a los usos que procedan, cuando por su naturaleza y características pueden ser reciclados. En el caso de los residuos de los que en la actualidad no haya tecnología disponible para su reciclado o que por sus características no sean susceptibles de ser reciclados, se mantienen depositados en las citadas instalaciones de residuos sometidos al control y vigilancia durante el plazo establecido en la normativa aplicable.

¿CÓMO SE PUEDEN PREVENIR?

Para minimizar el gran volumen de residuos que se produce en cualquier explotación minera se aplican métodos y técnicas de prevención. Estas técnicas son de especial relieve en la fase de investigación (geofísica, sondeos, etc.): ya que permiten evitar la apertura de frentes de explotación que por contener óxidos, fracturas, etc. sería necesario abandonar con la consiguiente producción de residuos. En la fase de operación o explotación se aplican las tecnologías más avanzadas (Mejores Técnicas Disponibles) que permiten racionalizar y aprovechar mayores concentraciones de mineral.

¿CÓMO SE RECOGEN?

En la mayoría de los casos los residuos mineros generados son mezclas de materiales de composición física y química distinta tal como ocurre en la minería del carbón y metálica. En el caso de los residuos originados por la explotación de rocas

ornamentales los residuos tienen la misma composición que la de las rocas que se explotan. A medida que se van generando durante las actividades de investigación o explotación de las minas, canteras o graveras se recogen por la entidad explotadora utilizando dumpers, cintas transportadoras, etc. que transportan los residuos desde el frente de explotación a las escombreras. En el caso de los lodos se transportan desde las plantas de concentrado mediante gravedad o bombeo a las balsas mineras.

¿QUÉ APLICACIONES TIENEN LOS MATERIALES RECICLADOS?

Las industrias extractivas que mayor volumen de residuos producen son las de rocas ornamentales (granito, mármol, y pizarras de techar), las de carbón, y las de minería metálica.

De los residuos de mármol se obtienen una gran variedad de productos que se destinan a diversos usos tanto triturados como en forma de lodos de aserrado, tales como la cal viva, el carbonato de calcio precipitado, el carbonato de calcio micronizado. Sus usos abarcan desde correctores y reguladores de la acidez en productos farmacéuticos y agricultura, hasta carga para papel en la industria de la pintura, en la industria del caucho, aislamientos acústicos, áridos para morteros y hormigones.

Los residuos de la minería metálica en la que no se producen aguas ácidas pueden ser depositados separadamente en escombreras para utilizarlos posteriormente según sus propiedades físico-químicas en distintos usos tales como áridos para construcción, áridos para carreteras, balasto para vías de ferrocarril, usos industriales; sin embargo, en los residuos de la minería metálica en la que sí se producen aguas ácidas, no es posible el reciclado para estos usos.

TIPOS FUNDAMENTALES DE RESIDUOS GENERADOS EN LAS EXPLOTACIONES MINERAS

Ahora bien, salvo excepciones, el material así extraído no es un producto directamente vendible o si lo es, su precio será inferior que si se somete a procesos de tratamiento que aumenten su pureza o concentración. En la mayoría de las explotaciones mineras

se encuentran presentes, en mayor o menor medida, una serie de procesos conducentes a conseguir este enriquecimiento del producto a comercializar.

Los residuos mineros van a estar caracterizados en cuanto a su tipología por los procesos generadores de los mismos:

Residuos de la Extracción.- Aquí podemos incluir el suelo vegetal, los terrenos de recubrimiento, la roca estéril y el mineral de baja ley. Salvo los últimos, los demás se tratan simplemente de materiales inertes cuya principal problemática es el gran volumen generado, que precisa grandes escombreras para su disposición en las proximidades del yacimiento. Los minerales de baja ley, también se acopian en escombreras próximas al yacimiento de forma separada a los anteriores ante la previsión de su posterior recuperación.

Residuos del Tratamiento.- Pueden ser de diversos tipos, variando con el tratamiento sometido a los materiales:

Flotación.- Proceso que genera lodos residuales, constituido por una suspensión acuosa de la mena triturada y tratada, a la que se le ha extraído el componente mineral de interés mediante un proceso de flotación diferencial. Contiene también los residuos de los reactivos empleados en el proceso de tratamiento.

Lixiviación.- Va a generar residuos constituidos por la MENA triturada y tratada, a la que se le ha extraído el componente de interés mediante disolución con un agente lixivante, que puede ser ácido sulfúrico (en el caso del Cu) o cianuro sódico (en el caso del Au y Ag).

Fundición.- Genera residuos constituidos por escorias vítreas (generalmente de composición silicatada y de alta estabilidad que son depositadas en escombreras), “polvos de humo” (materia particulada con alto contenido en metales pesados, resultante de la depuración de las emisiones atmosféricas) y lodos o barros de similar composición.

Refino Electrolítico.- Genera residuos como los lodos electrolíticos (con alto contenido en metales que pueden ser procesados posteriormente para su recuperación).

2.2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La importancia de saber con qué tipo de materiales se está trabajando es lo que influye a conocer si se obtienen de buena manera o si las propiedades que poseen son las más apropiadas para tomar en cuenta su intervención en el momento de la elaboración del hormigón.

Desde hace mucho tiempo atrás no se ha puesto la verdadera importancia que se merece la calidad de los materiales con los que se está elaborando los diferentes tipos de obras civiles solamente se solicita el material y el cual se lo transporta al sitio de la construcción.

El constructor utiliza para la elaboración del hormigón: arena, grava, cemento ya que en proporciones arbitrarias de acuerdo al tipo de obra a ejecutarse, sin preocuparse que los materiales cumplan con determinadas condiciones físicas.

El Contratista debe suministrar la mano de obra, materiales, equipos, como parte fundamental y de gran importancia en la planificación de la obra. Por ser los agregados más baratos que el cemento, resulta económico poner en la mezcla un máximo de agregados y un porcentaje óptimo de cemento, pero la economía no es el único parámetro que se debe considerar, pues los agregados confieren considerables ventajas al hormigón como: mejor estabilidad de la mezcla y mayor durabilidad.

Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de esos tamaños de grano) de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los áridos sean adecuadas y que los áridos estén libres de impurezas.

Los constructores son las personas que más tienen relación con las construcciones, entonces sentimos la necesidad de realizar estudios de los materiales componentes del hormigón como los agregados que están íntimamente ligados. Para la extracción de los agregados no solamente se cuenta con la extracción del material de la cantera si no también una planificación y realizado bajo normas técnicas.

La composición, forma y tamaño de los agregados influyen sobre la resistencia y calidad del hormigón.

2.3. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

En los agregados es algo fundamental conocer como es su comportamiento y como debe encontrarse para el momento de ser utilizado, es algo tan importante saber que agregado es bueno y cual no lo es, simplemente con realizar ensayos que nos demuestren.

La investigación que se realiza es para tener una base de los comportamientos de los diferentes tipos de agregados que conseguimos en las principales minas de la localidad de Tasna del Departamento de Potosí.

2.4. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,5 mm, el agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como lo es por lavado.

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

Tiene una resistencia que está relacionada directamente con su dureza, densidad y módulo de elasticidad.

Lo forma aquellas partículas comprendidas entre los 4.5mm y los 15 cm de diámetro; es aquel material que se retiene en el tamiz # 4 de la A.S.T.M. (abertura = 4.75 mm).

El mismo que consta de grava, grava triturada, piedra triturada o una mezcla de éstas, siempre y cuando cumplan con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C-33.

Los agregados ocupan del 70 al 80% del volumen del concreto, por lo tanto muchas de las características del concreto dependen de las propiedades de los agregados.

Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. Hasta para la resistencia de 250 kg/cm² se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; para resistencias mayores investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de concreto para mayor resistencia (eficiencia), se obtiene con agregados de menor tamaño.

Se llama eficiencia del concreto a la relación entre la resistencia del concreto y el contenido de cemento. En concreto de alta resistencia, mientras más alta sea esta, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima. Para cada resistencia existe un margen estrecho del valor del tamaño máximo por debajo del cual es necesario aumentar el contenido del cemento. En concretos de mediana y baja resistencia mientras mayor sea el tamaño mayor es la eficiencia.

Características de un buen Agregado Grueso para el Concreto:

- Una buena gradación con tamaños intermedios, la falta de dos o más tamaños sucesivos pueden producir problemas de segregación.
- Un tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.
- Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua cuando esta sube a la superficie debido a la sedimentación de las partículas sólidas; esta agua almacenada bajo las partículas deja un espacio vacío cuando después del fraguado el agua evapora, por lo cual trae como consecuencia una notable reducción de la resistencia del concreto.
- Una adecuada densidad aparente entre 2.3 y 2.9 gr/cm³. Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5 %.

- Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.
- Una superficie rugosa, limpia y sin capa de arcilla.
- No debe contener terrones de arcilla, ni partículas deleznable; generalmente se limita al contenido de finos entre el 1 y 3 %, para que permita una adecuada adherencia de las partículas y el cemento en las mezclas.
- Agregados con partículas esféricas y cúbicas son las más convenientes para el concreto, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, o sea mayor cantidad de material por unidad de volumen.

2.5. AGREGADO FINO

Comúnmente conocido como arena es el de mayor responsabilidad dentro del hormigón, a tal punto que pueda decirse que no es posible hacer un buen hormigón.

La forma de aquellas partículas comprendidas entre los 4.7 mm. y los 0.075 mm. De diámetro; es aquel material que pasa del tamiz # 4 (abertura 4.75 mm.) y se retiene en el tamiz # 200 (abertura = 0.075mm).

Función.- El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento

Características de un buen Agregado Fino.- Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que puedan llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas. La cantidad de agregado fino que pasa los tamices

50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial del concreto.

Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz No 50 este entre 10% y 30%; se recomienda el límite inferior cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos, sin embargo en los pisos de concreto acabado a mano, o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino que pase cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado. Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Tabla N°1.- Clasificación Según el Tamaño de Partículas de la Arena

DENOMINACIÓN	TAMAÑO DEL GRANO (Diámetro en mm)	# TAMIZ (A.S.T.M.)
ARENA GRUESA	4.75 – 2.00	Pasa # 4 y Retiene # 10
ARENA MEDIA	2.00 – 1.00	Pasa #10 y Retiene # 18
ARENA FINA	Menor que 1.00	Pasa # 18

Fuente: Normas de la Asociación Americana Para el Ensayo de los Materiales

2.6. LOS MATERIALES CEMENTANTES

Son materiales que sirven para unir fragmentos minerales que contengan adherencia y cohesión requeridas, formando un solo material sólido que contenga resistencia y durabilidad adecuadas.

Para la fabricación del hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante el proceso de fraguado).

2.6.1. CEMENTOS

Los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto son productos que mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire, como bajo agua.

La clasificación de un cemento puede realizarse en función de:

- La naturaleza de sus componentes.
- Su categoría resistente.
- en su caso por sus características especiales.

CEMENTOS PÓRTLAND

Los cementos Pórtland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando son agregados como la arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción el Concreto.

El clinker, la materia prima para producir el cemento, se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. Las variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir. El tipo de materias primas y sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento deseado.

La norma ASTM C 150 establece diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción, se especifican algunos:

CLASIFICACIÓN. TIPO, NOMBRE Y APLICACIÓN:

Tipo I.- Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II.- El cemento Pórtland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. La Norma ASTM C 150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

Tipo III.- Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV.- El cemento Pórtland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con

los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo. En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos como el mineral de fierro cuando es necesario y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado Clinker.

Cementos Hidráulicos Mezclados.- Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción. La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- Cemento Pórtland de escoria de alto horno - Tipo IS.
- Cemento Pórtland puzolana - Tipo IP y Tipo P.
- Cemento de Escoria - Tipo S.
- Cemento Pórtland modificado con puzolana - Tipo I (PM).
- Cemento Pórtland modificado con escoria - Tipo I (SM).

Cementos Especiales:

- Cementos para Pozos Petroleros.
- Cementos Plásticos.
- Cementos Pórtland Impermeabilizados.

Otros Tipos de Cemento:

- Cementos de Albañilería.
- Cementos Expansivos.
- Cemento Portland Blanco.

2.7. AGUA

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del hormigón debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar.

Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará así mismo exenta de arcilla, lodo y algas.

AGUA DE MEZCLADO

El agua de mezclado, está compuesta por el agua agregada al elaborar un pastón más la proveniente de la humedad superficial de los agregados, siendo sus principales funciones:

- Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación.
- Actuar como un lubricante, contribuyendo a la trabajabilidad de la mezcla fresca.
- Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación.

CALIDAD DEL AGUA

En el curado el agua deberá ser de buena calidad, ya que necesita más agua y en este proceso es cuando se producen las reacciones.

- Deberá ser potable.
- Aptas.
- Aguas de montañas (son agresivas).

La no potable podrá ser utilizada en el amasado. Las sustancias nocivas son de especial cuidado

Problemas:

- Alteraciones en la velocidad de fraguado.
- Pérdidas de resistencia.
- Defectos estéticos.

2.8. DISEÑO DE MEZCLAS

Diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la cantidad de materiales (cemento, agua, agregados y aditivos) que deben emplearse para constituir un volumen unitario de concreto fresco cuya finalidad sea tal que cumpla con los requisitos especificados para la estructura que se pretende fabricar. Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado.

- Estudiar cuidadosamente los requisitos indicados.
- Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener en obra la resistencia de diseño especificada por el proyectista.
- Seleccionar, en función de las características del elemento estructural y del sistema de colocación del concreto, el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire incorporado o atrapado en la mezcla.
- Seleccionar la relación agua-cemento requerida para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural.

- Seleccionar, la relación agua-cemento requerida por condición de durabilidad. Se tendrá en consideración los diferentes agentes externos e internos que podrían atacar contra la vida de la estructura.

2.8.1. RELACIÓN AGUA / CEMENTO

La relación agua/cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua/cemento (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el coeficiente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

$$R = \frac{a}{c}$$

Dónde:

R = Relación agua / cemento.

a = Masa del agua del hormigón fresco.

c = Masa del cemento del hormigón.

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Una buena relación agua- cemento es lo que nos va a dar una buena calidad del hormigón. Habrá que tener un control de dosificación: Agua / cemento.

- Menos agua de amasado, más compacidad, fluidificante.

- Mayor dificultad de puesta en obra.
- Más agua de amasado, mayor trabajabilidad.
- Menor tiempo de colocación.

2.8.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco se lo obtiene mezclando los agregados, agua, y cemento para darle distintas formas en sus respectivas molduras, el tiempo del hormigón en estado fresco es muy corto, por lo que se debe analizar sus propiedades y darle forma antes de que el hormigón inicie la reacción de fraguado rápido.

El hormigón fresco debe cumplir una serie de propiedades, las cuales se las debe controlar con ensayos establecidos por normas nacionales e internacionales, para obtener el hormigón deseado en obra, las propiedades son:

Consistencia.- Se relaciona con el estado de fluidez de la mezcla y abarca un rango, desde las más secas hasta las más fluidas; la consistencia es una propiedad del hormigón fresco que determina la manejabilidad (capacidad de deformarse), permitiendo que sea colocado y compactado adecuadamente. Los principales factores que afectan la consistencia son:

- El contenido de agua en la mezcla, mientras más agua contenga, tiende a ser más fluida, pero no debe agregarse agua en exceso para hacer más trabajable la mezcla, llevándola a asentamientos en el cono de Abrams superiores a 15 cm. Esto no solo facilita la segregación de la mezcla, sino que, una vez colocado el hormigón, el agua en exceso busca escapar formando una gran cantidad de canales capilares que dejan las estructuras débiles, porosas y poco durables.
- La granulometría del agregado, cuanto más fina sea la graduación más rígida será la mezcla, y el área superficial de los agregados aumentará requiriendo mayor pasta para revestirlas, y por ende mayor cantidad de agua para una misma trabajabilidad.
- La forma y características superficiales de los agregados, las partículas angulares y las superficies ásperas requieren una mayor cantidad de pasta que la necesaria para partículas lisas y bien redondeadas, y también

requieren mayor cantidad de agua para la misma trabajabilidad que las lisas y bien redondeadas.

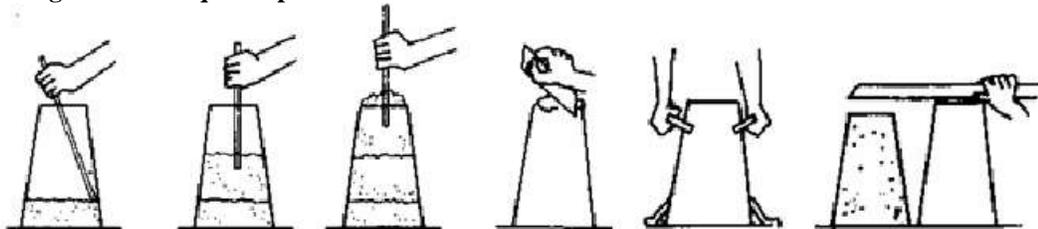
- La fluidez, que aumenta con la finura y el tipo de cemento.
- El empleo de plastificantes, aumenta la fluidez del hormigón.
- Insuficiente cantidad de cemento, lo que quita plasticidad a la mezcla.
- Un exceso de tiempo en el transporte o un mezclado prolongado, aún con el tambor mezclador girando, pueden influir negativamente en la trabajabilidad, el hormigón pierde fluidez por el aumento de la proporción de finos en la mezcla y de la superficie específica, demandando entonces una mayor cantidad de agua que la dosificada.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación, según los medios que se dispone de compactación, se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

El método más empleado para determinar la consistencia será:

El cono de Abrams es un molde troncocónico hueco de 30 cm de altura, se coloca sobre una superficie plana y rígida que sirve de fondo. Se introduce el hormigón en tres capas iguales, en cada capa se compacta 25 veces con una barra metálica con punta redondeada, de forma aleatoria y en toda superficie. Culminada las tres capas se enrasa el molde, luego se levanta el cono verticalmente de forma uniforme, con cuidado y sin sacudidas.

Imagen N°1.- Esquema para Medir el Asentamiento con el Cono de Abrams.



Fuente: Manual de Prácticas de Laboratorio de concreto Ing. Abraham Polanco Rodríguez.

La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada del cono truncado, expresada en centímetros, da la medida de su consistencia. En

nuestro estudio utilizaremos el Cono de Abrams con las siguientes especificaciones: ver Tabla N°18.

Trabajabilidad.- Una mezcla es trabajable cuando en estado fresco, el hormigón puede ser transportado sin que se separen los componentes, y una vez colocado llega a envolver completamente las armaduras, llenando todos los huecos, sin dejar oquedades, debe tener una adecuada trabazón, y facilidad para eliminar los agujeros o poros de su masa.

La trabajabilidad depende de:

- La cantidad de agua de amasado.
- La granulometría de los agregados.
- La forma de los agregados, ya que la docilidad es mayor para áridos redondeados que para los procedentes de machaqueo.
- La cantidad de cemento, en vista que la docilidad aumenta con la cantidad de cemento.
- La docilidad puede aumentarse mediante el empleo de plastificantes.

Homogeneidad.- Es la propiedad por la cual, los diferentes componentes del hormigón se presentan regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que, dos muestras tomadas de distintos lugares del mismo volumen resulten iguales.

La masa de hormigón debe ser homogénea, para lo cual, la mezcla debe efectuarse lo mejor posible, y se cuidará que durante el transporte, no se produzcan segregaciones de los agregados gruesos.

La homogeneidad puede permitirse por:

- La segregación que no es más, que la separación de los agregados gruesos y finos.
- La decantación, sudado o exudación, es una forma de segregación que es cuando los agregados gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie del hormigón recién colocado, se lo conoce también como

ganancia de agua y resulta de la incapacidad de los materiales constitutivos para almacenar toda el agua del mezclado.

Ambos fenómenos aumentan con la cantidad de agua; con el tamaño máximo del agregado, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre.

Para conseguir la homogeneidad es necesario un buen amasado haciendo una mezcla trabajable con una mínima cantidad de agua, un mayor contenido de cemento y arenas naturales que tengan un adecuado porcentaje de finos, para mantenerse, se requiere de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

La compactidad.-Se podría definir como la cantidad de material sólido contenido en el conjunto de volumen de hormigón.

$$C = \frac{V_r}{V_a}$$

Dónde:

V_r: Volumen real de los componentes del hormigón.

V_a: Volumen aparente del hormigón.

No se toma en cuenta el aire atrapado. En general, al ser un pseudo sólido es prácticamente imposible obtener un hormigón completamente compacto. Con dosificaciones adecuadas y una compactación idónea, debiera llegarse a compactidades del 97-98%.

La compactidad está muy ligada al peso específico.

Además, incide directamente en:

- La resistencia.
- La durabilidad.
- La impermeabilidad.

2.8.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de la dosificación inicial de los componentes básicos y complementarios, del proceso de mezclado, y del proceso de curado.

El hormigón endurece gracias a la reacción química que se produce entre el agua y el cemento, generalmente las características mecánicas del hormigón quedan especificadas a partir de su comportamiento en las siguientes propiedades.

Ductilidad.- Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente, a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive, si existe una disminución de la carga; una medida cuantitativa de esa ductilidad, sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

El índice de ductilidad por energía de deformación, se emplea como referente de la capacidad del hormigón para disipar energía, cuando incursiona dentro del rango de comportamiento inelástico, particularmente bajo sollicitaciones estructurales por encima del rango normal y eventual de trabajo, como en el caso de sismos de baja probabilidad de ocurrencia, que superan ampliamente al sismo de diseño.

Resistencia a la Compresión.- La resistencia a la compresión, se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) o en (MPa) a una edad de 28 días y se le designe con el símbolo f'_c .

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas, que duran unos pocos minutos.

Esta resistencia se la mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.

Imagen N°2.- Esquema para Ensayar Cilindros de Hormigón a Compresión



Fuente: Elaboración propia.

2.9. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Las probetas consisten en cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. La elaboración se lleva a cabo llenando un molde metálico en 3 capas de igual altura con la muestra en estado fresco. Cada capa se apisona con 25 golpes aplicados en diferentes sitios de la superficie del hormigón proporcionados con una varilla de 16 mm de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud. La varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente. Una vez terminada la compactación, se completa el molde con más mezcla y se alisa la superficie con un palustre o cualquier otra herramienta de acabado.

Elaborados los especímenes, se golpea las paredes con un martillo de caucho con el fin de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire que puede haber quedado atrapado dentro de la mezcla de hormigón. Después de 24 hrs. De fraguado en un lugar cubierto pasa al curado.

2.10. CURADO DEL HORMIGÓN

Luego del proceso de fraguado del concreto es necesario mantener el concreto tan saturado de agua como sea posible con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Por esta razón la resistencia del concreto depende en gran medida de la atención que se le preste a este factor.

Otro factor importante es su temperatura, debido a que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación lo cual afecta en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del concreto, pero con consecuencias adversas en la resistencia posterior.

2.11. RESISTENCIA

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

Aunque las resistencias deberían ser medidas en pruebas sobre la pasta de cemento puro, no se hace por la dificultad que tiene a ser moldeada dando origen a una gran variación en los resultados. De acuerdo con lo anterior en la mayoría de los países del mundo se mide la resistencia por medio de morteros hechos con materiales específicos y en condiciones muy controladas. Las pruebas de resistencia que resisten son a compresión, tensión y flexión, siendo la primera el más importante puesto a que las restantes tienen un valor muy pequeño relativo al de compresión.

2.12. RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia del hormigón a compresión, es una de las propiedades más importantes, para fines netamente estructurales, es así que en base a la resistencia a compresión del hormigón, se pueden realizar cálculos para diferentes obras de ingeniería civil, tales como: diseño de puentes, edificios y otras estructuras, así, estos cálculos o diseños, están basados en que el acero absorbe los esfuerzos de tracción, mientras que el hormigón se encarga de los esfuerzos de compresión. La resistencia mecánica es un requisito fundamental en todos los hormigones de aplicación estructural.

La resistencia del hormigón a compresión, se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial en probetas de hormigón de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, curados en condiciones estándar de laboratorio. Esta resistencia se expresa en Newton / m² o Mega Pascal (MPa) a una edad de 28 días; se puede usar otras edades

para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. A los 7 días tenemos la resistencia estimada como un 60% de la resistencia a los 28 días.

Para obtener un hormigón con resistencia mecánica a la compresión prefijada y que satisfaga la resistencia requerida, los materiales componentes indispensables se escogen por relación cuantitativa: cementos de diferente sitio, agregados gruesos y finos, distintas adiciones que aseguren la trabajabilidad de la mezcla o la resistencia a la temperatura.

Sobre la resistencia mecánica a la compresión del hormigón ejercen influencia muchos factores: la granulometría, que se dosifica de tal modo, que el volumen de vacíos en la mezcla de los agregados sea menor, las características de su superficie, la marca del cemento y su cantidad, la proporción de agua, etc. La superficie rugosa y angulosa de los agregados eleva su adherencia al mortero de cemento, por eso, los hormigones preparados con piedra triturada, poseen mayor resistencia mecánica a la compresión que los preparados con grava.

2.13. HIPÓTESIS

Como parte del método de este trabajo, se planteara la siguiente hipótesis:

- El diseño de mezclas de hormigón con agregado grueso (ganga) procedente de residuos mineros. Presenta una resistencia a compresión adecuada para considerarse como hormigón estructural.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE

El Enfoque a realizarse de acuerdo a la hipótesis:

Hipótesis:

- El diseño de mezclas de hormigón con agregado grueso (ganga) procedente de residuos mineros. Presenta una resistencia a compresión adecuada para considerarse como hormigón estructural.

En nuestra investigación con los indicadores a utilizarse podemos deducir que es una investigación cualitativamente ya que los resultados que utilizaremos serán números fraccionarios.

Estudio de Suelos; los datos a recibirse de este tipo de estudios serán resultados tanto en el lugar como serán llevados hacia el laboratorio con el fin de determinar sus propiedades como son: Granulometría, Contenido de Humedad, Peso Específico, Pesos Unitarios, Capacidad de Absorción.

Ensayo de Materiales; estos estudios para ensayar cada muestra de los diferentes agregados, y con las muestras obtenidas servirán para poder elaborar Hormigones con el fin de observar la resistencia que estos llegan a obtener después de su tiempo.

Resistencia de Materiales; ya obtenidos las muestras podemos llegar a conclusiones para observar cuál de los hormigones llega a tener mayor resistencia.

3.1.1. TIPO DE ESTUDIO

Las prácticas actuales de manejo de residuos sólidos en la industria apuntan hacia dos direcciones: por un lado la minimización y el reaprovechamiento de residuos, por otro el tratamiento y la disposición final. La minimización y el reaprovechamiento de residuos es una actividad hasta cierto punto constante en minería.

Siempre hubo interés en minimizar la relación estéril/mineral por razones de costo, de la misma manera que las principales empresas normalmente mantienen una búsqueda constante tratando de aumentar la recuperación de residuos de extracción minera en el proceso de beneficiamiento.

El reaprovechamiento de residuos se efectúa ya por la eventual recuperación de los depósitos de desechos. Modernamente, como consecuencia de presiones ambientales, algunas empresas de minería están procurando alternativas de utilización de residuos, como el chancado y la reutilización del material residual en caso de ser material sólido.

En este trabajo se propone el uso de agregado grueso (ganga) producto de residuos de extracción minera para fabricar hormigones y determinar su resistencia a compresión.

El estudio se regirá en el diseño de un hormigón para uso estructural, basado en los ensayos A.S.T.M. para una mezcla de hormigón con resistencia de f'_{ck} de 210 kg/cm².

El alcance de esta investigación es determinar para:

- Árido; Los ensayos que se realizaran para el árido como producto de la extracción minera serán: granulometría, humedad, densidad relativa, peso específico, absorción de agua.
- Hormigón fresco; Los ensayos para el hormigón fresco serán: consistencia de asentamiento con el cono de Abrams.
- Hormigón endurecido; Los ensayos de hormigón endurecido serán: Ensayo de resistencia a la compresión.

El estudio está dirigido a generar proporciones óptimas de un hormigón ligero de manera experimental exploratoria.

PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para asegurarse de obtener un hormigón de alto desempeño debemos preparar los materiales pétreos a utilizar, de manera que no contenga envoltura limosa o arcillosa es decir utilizar un material aparentemente limpio.

OBTENCIÓN DEL MATERIAL DE LOS RESIDUOS EXTRACTIVAS MINERAS

Se obtiene el material de la localidad de Tasna (mina de Tasna) provincia Nor Chichas del Departamento de Potosí. Se lo transporta hacia el Laboratorio de Suelos y Hormigones del Servicio Departamental de Caminos de Tarija, la cantidad será de 1000 Kg de agregado grueso y 800 Kg de agregado fino lo cual abastecerá para realizar los ensayos respectivos de materiales, mezclas definitivas de hormigón para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Es primordial conocer las características de los agregados que participaran tanto en la dosificación del hormigón patrón como en la dosificación de hormigón elaborado a

base de residuo producto de la extracción minera. Entre las características de los materiales que se realizará son:

- Granulometría del agregado grueso.
- Granulometría del agregado fino.
- Peso específico del agregado grueso.
- Peso específico del agregado fino.
- Peso unitario agregado grueso.
- Peso unitario agregado fino.

DOSIFICADO DE HORMIGÓN CON RESIDUOS EXTRACTIVAS MINERAS

El hormigón se lo amasará en una concreteira de capacidad de un saco de cemento, de manera que se logre homogeneidad en la mezcla. Ya encendido el motor que pone en funcionamiento al tambor giratorio de la concreteira, se procede a verter los componentes del hormigón, los cuales tendrán que guardar un cierto orden que será: agregado grueso, en seguida una tercera parte de agua, para luego colocar el agregado fino, una tercera parte de agua y el cemento, para al final colocar la última tercera parte de agua. Una vez colocado todos los materiales que componen el hormigón, se deberá mantener en funcionamiento la concreteira durante un tiempo mínimo de amasado de cinco minutos, esto se realiza para conseguir una mezcla homogénea de los distintos componentes, para luego verificar su consistencia con el ensayo de Asentamiento en el Cono de Abrams, siguiendo el procedimiento indicado en la Norma ASTM C 143, y con este valor se determina la trabajabilidad de la mezcla.

Una vez concluidos estos pasos se procede a fabricar las probetas cilíndricas de hormigón, basándose en el procedimiento indicado en la Norma ASTM 192 “Práctica para Fabricar y Curar Probetas Cilíndricas de Hormigón en el Laboratorio”.

Transcurridas las 24 horas de fabricación de las probetas estándar, se procede a desencofrar las probetas; es decir, a retirar el molde metálico tomando la precaución de no romper o despostillar los filos de los cilindros, los moldes deberán ser limpiados correctamente y sometidos a un nuevo engrasado, para ser reutilizados.

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.

ROTURA DE PROBETAS

Para determinar el número de probetas de hormigón que se ensayarán para cada una de las diferentes condiciones, se tendrá en cuenta el criterio de que el número mínimo de valores para representar confiablemente resultados aceptables son 9 cilindros, además se debe tener presente el tamaño nominal máximo del agregado para seleccionar el dimensionamiento de los cilindros de prueba.

Con el objetivo de aplicar un proceso satisfactorio, es necesario adoptar un número mínimo de probetas estándar de la siguiente manera:

- Muestra Pequeña: 9 probetas.
- Muestra Grande: mayor o igual a 30 probetas.

En el caso de esta investigación, necesitamos obtener resultados confiables, por lo que se adopta una muestra pequeña; se realizarán 9 probetas por cada resistencia expuesta en esta investigación para el análisis de las deformaciones a los 28 días.

Para el análisis de la resistencia a la compresión que se generan en las probetas a los 7, 14, y 28 días, en función del tiempo, se realizarán 27 probetas en su totalidad las cuales serán ensayadas en el siguiente orden:

- A los 7 días: 9 probetas.
- A los 14 días: 9 probetas.
- A los 28 días: 9 probetas.

Realizado este análisis tendremos un lote de producción de 27 probetas por cada resistencia requerida para esta investigación.

3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el Proyecto de Investigación la Modalidad de Investigación que se utilizaron fueron los siguientes.

Investigación Bibliográfica.- Se caracteriza por usar, en forma predominante, la información obtenida de libros, revistas, periódicos y documentos en general. Se ha utilizado ya que para la elaboración del Marco Teórico se necesitaba la consulta de diferentes autores observar la perspectiva que se obtiene de diferentes puntos de vista para la mejor elaboración de nuestro proyecto.

Investigación de Campo.- La investigación de Campo o Investigación Directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio. Se ha utilizado la investigación de Campo ya que necesitamos la recolección de muestras desde el lugar donde se ejecutara el proyecto para la verificación correspondiente de los datos a obtenerse.

Investigación de Laboratorio.- Se ha utilizado la Investigación de Laboratorio ya que se distingue entre el lugar donde se desarrolla la investigación, si las condiciones son diferentes que se necesite un laboratorio un centro de simulación de eventos, los datos que serán recolectados necesitan una verificación muy acertada para cualquier comprobación, entonces las muestras recolectadas serán llevadas al Laboratorio para su respectivo ensayo.

3.1.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez completada la recolección de datos se procederá a los cálculos matemáticos en el cálculo de gabinete.

- Junto al gráfico o junto a cada gráfico se recomienda escribir unas pocas palabras con el análisis y la interpretación del mismo en función de los objetivos, de la hipótesis y de la propuesta que se va a incluir (propuesta solución del problema).
- Análisis de resultados estadísticos, lógicamente destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo a los objetivos y la hipótesis.
- Interpretación de resultados, con el apoyo del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis (depende de los resultados e información que tenga).

➤ Establecimiento de Conclusiones y Recomendaciones.

3.2. ELEMENTOS DE APOYO ADMINISTRATIVO

3.2.1. PLANEAMIENTO PARA EL DESARROLLO

El calendario semestral tiene 18 semanas y el mismo tiene como fecha de inicio el 20 de julio del 2015 y fecha límite de cierre el 19 de diciembre del 2015, de las cuales se pretende trabajar 5 días a la semana y 6 hrs. Por día teniendo un total de 30 hrs. Semana.

3.2.2. PRESUPUESTO

El presupuesto del estudio de investigación está sujeto a variaciones en función a las proporciones de los materiales necesarios.

Una aproximación se detalla a continuación:

Tabla N°2.- Presupuesto de Trabajo de Investigación

PRESUPUESTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN						
ACTIVIDAD		CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO GLOBAL	UNIDAD
INFORMES						
1	RESMA DE HOJAS	4	Pz	34	136.00	Bs.
2	IMPRESIÓN	2000	Pz	0.2	400.00	Bs.
3	ANILLADO	6	Pz	4	24.00	Bs.
4	EMPASTADO	8	Pz	50	400.00	Bs.
MATERIA PRIMA						
5	CEMENTO	3	Pz	50	150.00	Bs.
6	ARENA	0.85	m3	115	97.75	Bs.
7	RESIDUO MINERAL	0.85	m3	250	212.50	Bs.
GASTOS GENERALES						

8	REFRIGERIO	-	-	-	100.00	Bs.
9	PASAJES	-	-	-	200.00	Bs.
10	APORTE AL LAB.	-	-	-	200.00	Bs.
PRESUPUESTO TOTAL:					2112.65	Bs.

Fuente: Elaboración propia.

LITERAL: DOS MIL CIENTO DOCE BOLIVIANOS 65/100

Financiamiento.- El Presente Proyecto como solamente se trata de un estudio será financiado por el proponente de este tema de consulta.

CAPÍTULO IV

4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

4.1. DATOS INFORMATIVOS DE LA MINA TASNA DEPARTAMENTO POTOSÍ

ENTREVISTA

1. NOMBRE DE LA CONCESIÓN MINERA:

Cooperativa Minera Locatarios Tasna LTDA.

2. NOMBRE DEL PROPIETARIO:

Sr. Daniel Llanos Representante Legal.

3. INICIO DE EXPLOTACIÓN Y PRODUCCION:

Año 1986 Yacimiento de Bismuto.

4. VOLUMEN DE EXPLOTACIÓN:

20-30 Toneladas Carga Bruta.

5. TIPO DE EXPLOTACIÓN:

CIELO ABIERTO	
SUBTERRÁNEA	X
OTROS	

6. TÉCNICA PARA CLASIFICAR LOS AGREGADOS:

ZARANDEO MECANICO	
ZARANDEO MANUAL	
TRITURADORA	X
OTROS	

7. TÉCNICA UTILIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE LOS AGREGADOS:

VOLADURA	X
MECÁNICA	X
MANUAL	
OTROS	

8. HA REALIZADO UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINA:

Si, se ha realizado un estudio de Impacto Ambiental.

9. LA CANTERA ES CONTROLADA POR ALGÚN MINISTERIO:

La Mina es controlada por la alcaldía de Cotagaita y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

10. UBICACIÓN:

La Mina se encuentra ubicada en la localidad de Tasna, Provincia Nor Chichas del Departamento de Potosí- Bolivia.

LUGAR Y FECHA: Tasna, Septiembre de 2015.

4.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS PROCEDENTES DE LA MINA DE TASNA

Imagen N°3.- Vista Panorámica de la Mina de Tasna-Potosí



Fuente: Elaboración propia

4.2.1. MUESTREO DE AGREGADOS

El muestreo de los agregados se realizó según la norma ASTM D 75, para la obtención del material pétreo en la mina; se tiene las siguientes consideraciones que exige la norma:

Donde se realizó el muestreo, es el lugar en donde se encontraba el producto final.

Las muestras tomadas para abrasión, no fueron sometidas a aplastamiento o reducción manual del tamaño de partículas.

4.2.2. REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADOS A TAMAÑO DE ENSAYO

Esta práctica se realizó según la norma ASTM C 702 en la cual describe tres métodos, para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para empleo en técnicas de ensayo.

El método A es usando un divisor mecánico, el método B se realiza mediante cuarteo y el método C como un depósito de pila miniatura. El método B o C se utiliza cuando el agregado tiene humedad libre en la superficie y el método A se usa cuando el agregado se encuentra más seco que la condición saturado-superficialmente-seco.

Por tener una muestra grande de agregado grueso y fino se realizó primero el método B, por cuarteo debido a que los agregados tienen humedad libre en la superficie.

Imagen N°4.- Método de Cuarteo del Material Grueso (ganga)



Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a secar al sol la muestra tomada por cuarteo, para inmediatamente cuando el agregado se encuentra más seco que la condición saturado-superficie-seca, pasar por el divisor mecánico los agregados llegando de esta manera a reducir a una muestra no menos de 5000 gramos

Imagen N°5.- Divisor Mecánico.



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Para obtener los mejores resultados de los análisis se tomaron muestras de los materiales, los mismos que se empleara los siguientes ensayos para demostrar si el agregado utilizado cumple con las propiedades mecánicas y si es apto para la elaboración del hormigón.

Se detallan a continuación los Tipos de Ensayos que se realizaron a los materiales de esta Mina.

Para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la mina de Tasna se realizó los siguientes ensayos, con las respectivas normas:

Tabla N°3.- Ensayos que se Realizaron a los Materiales.

ENSAYOS QUE SE REALIZARON A LOS ÁRIDOS			
MATERIAL	GRUESO (ganga)	ARENA	NORMA
ENSAYO			
Contenido de Humedad	X	X	ASTM C-566
Análisis Granulométrico	X	X	ASTM C -136
Densidad Aparente Suelto	X	X	ASTM C-29
Densidad Aparente Compactado	X	X	ASTM C-29
Densidad Real Agregado SSS	X	X	ASTM C-127 y C-128
Capacidad de Absorción	X	X	ASTM C – 70
Densidad del Cemento El Puente			ASTM C – 188

Fuente: Elaboración propia

4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de un agregado, es la cantidad de agua que necesita para pasar de un estado seco al horno, a su estado de humedad natural. Generalmente se expresa en un porcentaje relacionado con la masa total de la muestra de agregados.

Los valores obtenidos son usados para corregir las mezclas de hormigón, ya sean las definitivas o las de prueba, por lo que este ensayo se lo debe realizar un día antes de realizar las probetas de hormigón.

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma:

NORMA ASTM C 566

EQUIPO EMPLEADO

- Horno de secado.
- Balanza (A = 0,1 g).
- Recipientes metálicos.

FORMULAS USADAS

$$P = \frac{W - D}{D} * 100$$

Dónde:

P= contenido de humedad total evaporable, (%).

W= masa original de la muestra, (gr).

D= masa seca de la muestra, (gr).



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD

ÁRIDO GRUESO (ganga)

NORMA ASTM C - 566

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 21/10/15

Tabla N°4.- Contenido de Humedad Árido Grueso (ganga)

ÁRIDO GRUESO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO HÚMEDO	gr	365,5	342,3	516,7
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO SÉCO	gr	365,3	341,9	516,4
MASA DEL RECIPIENTE	gr	100,3	103	82
MASA DEL AGUA	gr	0,2	0,4	0,3
MASA DE ÁRIDO SECO	gr	265	238,9	434,4
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	0,08	0,17	0,07
PROMEDIO	%	0,10		

Fuente: Elaboración propia



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD

ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C – 566

ORIGEN: BANCO DE CHARAJA

FECHA: 21/10/15

Tabla N°5.- Contenido de Humedad Árido Fino

ARIDO FINO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO HÚMEDO	gr	339,5	303,6	278
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO SECO	gr	337,1	300,6	276,8
MASA DEL RECIPIENTE	gr	104	106	92
MASA DEL AGUA	gr	2,4	3	1,2
MASA DE ÁRIDO SECO	gr	233,1	194,6	184,8
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	1,03	1,54	0,65
PROMEDIO	%	1,07		

Fuente: Elaboración propia.

4.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El Análisis Granulométrico, es un proceso de tamización, que se realiza para determinar la distribución de los tamaños de las partículas que forman parte de una muestra de agregados, usando una serie de tamices (Serie de Tyler) y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total. El método de Ensayo para granulometría se describe en la Norma ASTM C 136.

El Tamaño Nominal Máximo (TNM), se escoge en base a las características de la estructura, obra o proyecto a desarrollarse, cuando estos parámetros no presentan problemas se debe tratar de utilizar el tamaño más grande del agregado, para disminuir el costo del hormigón, obtener mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica. Dada las condiciones físicas de las armaduras y de la graduación natural que se encuentra en gran parte de las canteras, el tamaño nominal máximo del granulado mayormente utilizado es 1 ½ pulgadas, es decir, 3.81 cm. Las arenas suelen caracterizarse con su módulo de finura, que es el número que da una idea de la granulometría del material. A mayor módulo de finura, más gruesa es la arena.

El tener una distribución por tamaños adecuada hace que los huecos dejados por las piedras más grandes sean ocupados por las del tamaño siguiente, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea mínima logrando la máxima "compacidad".

EQUIPO EMPLEADO

- Balanza (A = 0,1 g).
- Tamizadora mecánica.
- Juego de tamices.
- Máquina para cuarteo de muestras.
- Recipientes metálicos.

FORMULAS USADAS

MODULO DE FINURA

Árido fino

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido en toda la serie}}{100}$$

Árido grueso

$$MF = \frac{\% \text{ retenido en los tamices } \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + \text{No. 4} + \text{No. 8} \right) + (4 * 100)}{100}$$

Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{w_i}{w_t} * 100$$

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ pasa} = 100\% - \% \text{ retenido}$$

Tabla N°6.- Valores Límite Para la Curva Granulométrica Para el Árido Fino.

No	TAMIZ	LIMITES %	
1	No. 4	95	100
2	No. 8	80	100
3	No. 16	50	85
4	No. 30	25	60
5	No. 50	10	30
6	No. 100	2	10
7	No. 200		

Fuente: Norma ASTM C 33-99

Tabla N°7.- Valores Límite Para la Curva Granulométrica Para el Árido Grueso.

No	TAMIZ	LIMITES %	
1	2"	100	100
2	1 ½"	95	100
3	1"		
4	¾"	35	70
5	½"		
6	3/8"	10	30
7	¼"		
8	No. 4	0	5

Fuente: Norma ASTM C 33-99

Los valores límite de la curva granulométrica para agregados gruesos se selecciona según el TNM.

LABORATORIO DE SUELOS SEDECA REGIONAL

TARIJA

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE ÁRIDO GRUESO (ganga)

NORMA ASTM C 136

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 15/10/15

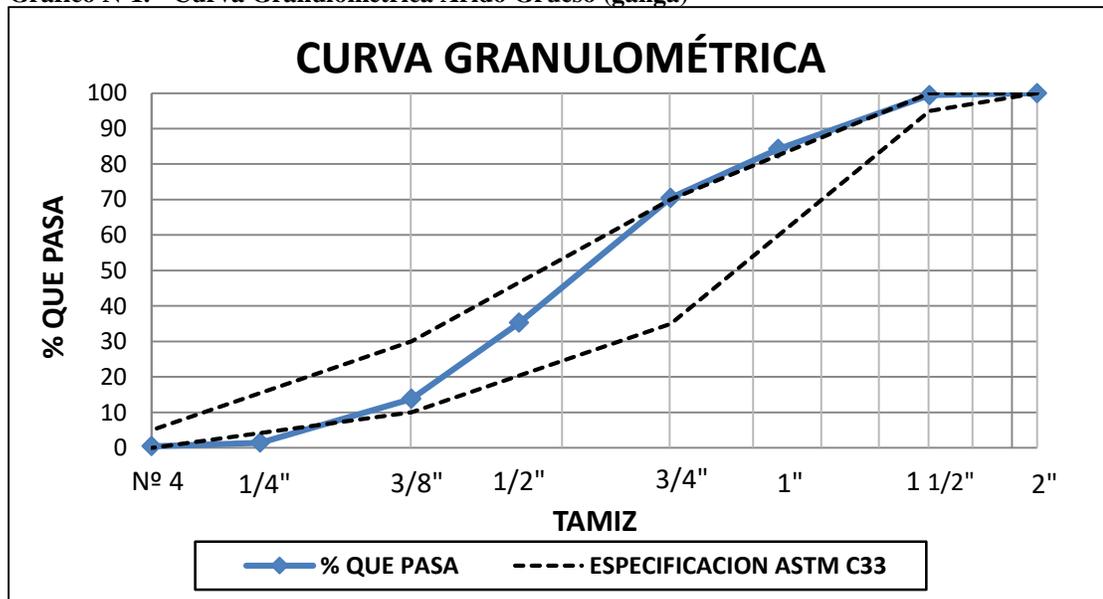
PESO DE MUESTRA (gr): 9600

Tabla N°8.- Análisis Granulométrico Árido Grueso (ganga)

TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM
2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1 1/2"	52,00	52,00	0,52	99,46	95---100
1"	1460,00	1512,00	15,76	84,24	-
3/4"	1320,00	2832,00	29,52	70,48	35---70
1/2"	3376,00	6208,00	64,72	35,28	-
3/8"	2059,00	8267,00	86,19	13,81	10---30
1/4"	1185,00	9452,00	98,54	1,46	
N° 4	96,00	9548,00	99,54	0,46	0---5
BANDEJA	44,00	9592,00	100,00	0,00	
MODULO GRANULOMETRICO			7,59		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°1.- Curva Granulométrica Árido Grueso (ganga)



Fuente: Elaboración propia.

LABORATORIO DE SUELOS SEDECA REGIONAL

TARIJA

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C 136

ORIGEN: BANCO CHARAJA

FECHA: 16/10/15

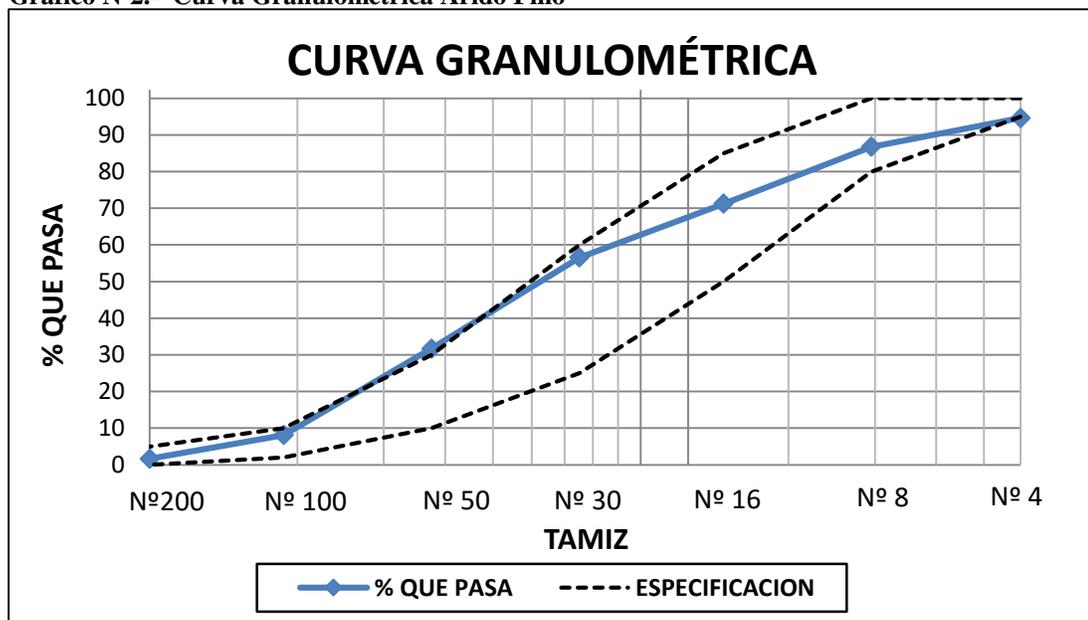
PESO DE MUESTRA (gr): 1000

Tabla N°9.- Análisis Granulométrico Árido Fino

TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM
N° 4	51,70	51,70	5,39	94,61	95---100
N° 8	75,30	127,00	13,25	86,75	80---100
N° 16	148,70	275,70	28,77	71,23	50---85
N° 30	140,70	416,40	43,45	56,55	25---60
N° 50	238,60	655,00	68,34	31,66	10---30
N° 100	225,60	880,60	91,88	8,12	2---10
N° 200	62,30	942,90	98,38	1,62	-
BANDEJA	15,50	958,40	100,00	0,00	-
MODULO DE FINURA			2,51		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°2.- Curva Granulométrica Árido Fino



Fuente: Elaboración propia

4.5. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA

La Densidad Aparente, es la relación que existe entre la masa del material sobre el volumen que ocupa, incluye los poros impermeables pero no incluye a los capilares o poros permeables.

El procedimiento para la determinación de esta propiedad, se describe en la Norma ASTM C-29.

FÓRMULAS USADAS

$$\delta_{ap.suelta} = \frac{m_{ms}}{V_r}$$

$$\delta_{ap.compactada} = \frac{m_{mc}}{V_r}$$

Dónde:

m_{ms} = Masa del agregado suelto.

m_{mc} = Masa del agregado compactado.

V_r = Volumen del recipiente.



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

DENSIDAD APARENTE SUELTA Y

COMPACTADA ÁRIDO GRUESO (ganga)

NORMA ASTM C – 29

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 16/10/15

Tabla N°10.- Densidad Aparente Suelta y Compactada Árido Grueso (ganga)

DENSIDAD APARENTE SUELTO

Masa del recipiente vacío	6664	gr
Volumen del recipiente vacío	9880	cm ³

MASA DE GRAVA SUELTO + RECIPIENTE

Primera muestra	20964	gr
Segunda muestra	21139	gr
Tercera muestra	21045	gr
Promedio	14385,33	gr
Densidad aparente suelta	1,46	gr/cm³

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

Masa del recipiente vacío	6664	gr
Volumen del recipiente vacío	9880	cm ³

MASA DE GRAVA COMPACTADO + RECIPIENTE

Primera muestra	21797	gr
Segunda muestra	21816	gr
Tercera muestra	21849	gr
Promedio	15156,67	gr
Densidad Aparente Compactada	1,53	gr/cm³

Fuente: Elaboración propia



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

DENSIDAD APARENTE SUELTA

Y COMPACTADA ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C - 29

ORIGEN: BANCO CHARAJA

FECHA: 16/10/15

Tabla N°11.- Densidad Aparente Suelta y Compactada Árido Fino

DENSIDAD APARENTE SUELTO

Masa del recipiente vacío	2687	gr
Volumen del recipiente vacío	2935	cm ³

MASA DE ARENA SUELTO + RECIPIENTE

Primera muestra	7439	gr
Segunda muestra	7325	gr
Tercera muestra	7350	gr
Promedio	4684	gr
Densidad aparente suelta Arena	1,60	gr/cm³

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

Masa del recipiente vacío	2687	gr
Volumen del recipiente vacío	2935	cm ³

MASA DE ARENA COMPACTADO + RECIPIENTE

Primera muestra	7719	gr
Segunda muestra	7785	gr
Tercera muestra	7796	gr
Promedio	5079,67	gr
Densidad Aparente Compactado Arena	1,73	gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

4.6. DENSIDAD REAL PESO ESPECÍFICO, DENSIDAD EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (s.s.s.) Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

DENSIDAD REAL EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (s.s.s.)

Es la relación entre la masa y el volumen total de agregados completamente saturados y libres de humedad superficial. Este valor es necesario para determinar la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón.

Esta es la densidad más importante para calcular la dosificación del hormigón; este valor depende de la densidad de los componentes minerales y su porosidad del agregado.

A pesar de que la densidad se usa para el cálculo de cantidades del agregado dentro del hormigón y que generalmente un valor alto de densidad implica un agregado de alta resistencia el valor de la densidad no es necesariamente una medida de la calidad del agregado.

Cuando se calcula el peso específico de un agregado usualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

FÓRMULAS USADAS

$$D_{sss} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

Dónde:

P_1 = Masa del agregado en SSS.

P_2 = Masa del agregado en agua.

P_3 = Masa del agregado seco.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Es el proceso por el cual un líquido penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso; también es el incremento en masa de un cuerpo sólido poroso permeable. El contenido de humedad de un agregado se basa en su masa al ser horneado hasta secar, aunque es la humedad libre o superficial excedente a la absorción causante de la condición de saturación con superficie seca.

La capacidad de absorción se determina encontrando el peso de un agregado bajo condición saturada (SSS) y en condición seca.

La diferencia en pesos expresada, como porcentaje del peso seco es la capacidad de absorción. Esta información se requiere para balancear las necesidades de agua en la mezcla de hormigón.

EQUIPO EMPLEADO

- Horno de secado.
- Balanza (A = 0,1 g).
- Recipientes metálicos.
- Espátula.

FÓRMULAS USADAS

$$\%_{\text{ABSORCION}} = \frac{P1 - P3}{P3} * 100$$

Dónde:

P1= Masa de la muestra saturado con superficie seca (s.s.s.).

P3= Masa de la muestra seca.



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD

DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO (ganga)

NORMA ASTM C - 127 Y ASTM C - 128

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 22/10/15

Tabla N°12.- Ensayo de Densidad Real y Capacidad de Absorción Árido Grueso (ganga)

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr	2180
M2	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	gr	1951
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr	7225
M4	MASA DE LA CANASTILLA+MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr	5209
M5=M3-M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr	5045
M6=M4-M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr	3258
VR=M5-M6	VOLUMEN DESALOJADO	cm ³	1787
DR=M5/VR	PESO ESPECÍFICO	gr/cm ³	2,82
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr	400
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr	5451
M9	MASA DE LA MUESTRA S.S.S	gr	5051
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr	5400
M11	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr	5000
CA	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	1,02
DENSIDAD REAL GRUESO		2.82	gr/cm³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		1.02	%

Fuente: Elaboración propia



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD

DE ABSORCION ARIDO FINO

NORMA ASTM C - 127 Y ASTM C - 128

ORIGEN: BANCO CHARAJA

FECHA: 21/10/15

Tabla N°13.- Ensayo de Densidad Real y Capacidad de Absorción Árido Fino.

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA PICNÓMETRO	gr	117,9
M2	MASA PICNÓMETRO + ARENA	gr	317,9
M3	MASA ARENA	gr	200
M4	MASA PICNÓMETRO + ARENA + AGUA	gr	489
M5	MASA AGUA AÑADIDA	gr	171,1
M6	MASA PICNÓMETRO + 250 cc DE AGUA	gr	360
M7	MASA DE 250 cc DE AGUA	gr	242,1
M8	MASA DE AGUA DESALOJADA	gr	71
d agua	DENSIDAD DEL AGUA	gr/cm ³	0,984
V agua	VOLUMEN DE AGUA	cm ³	72,15
DR	DENSIDAD DE LA ARENA	gr/cm ³	2,77
M9	MASA DE RECIPIENTE + ARENA EN SSS	gr	276,6
M10	MASA DE RECIPIENTE + ARENA SECO	gr	269,55
M11	MASA DE RECIPIENTE	gr	67,6
M12	MASA DE AGUA	gr	7,05
M13	MASA DE ARENA SECO	gr	201,95
CA	CAPACIDAD DE ABSORCION	%	3,49
DENSIDAD REAL ARENA		2,77	gr/cm³
CAPACIDAD DE ABSORCION		3,49	%

Fuente: Elaboración propia.

4.7. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

El cemento Portland IP que se fabrica para hormigón estructural, es una sustancia en forma de polvo fino con puzolanas, constituido en su mayoría por minerales cristalinos artificiales, de los cuales los silicatos cálcicos y de aluminio son el 90%. Estos componentes minerales reaccionan con el agua produciendo nuevos compuestos que dan características de piedra a la masa endurecida.

Para determinar la calidad del cemento que se utilizará en una obra, será necesario, realizar ensayos sencillos como la densidad.

Los problemas más comunes que ocasionan variación en la calidad del cemento son: el tiempo y forma de almacenaje, y el medio ambiente de la bodega. Cuando este material se almacena durante un cierto tiempo, por ejemplo, en fundas de papel, existe la posibilidad de que sus partículas se unan formando grumos debido a la humedad ambiental; en este caso, no usar el cemento para hormigones estructurales.

Generalmente, cuando estos grumos pueden pulverizarse fácilmente, entre el pulgar y el índice, este cemento aún puede ser utilizado, teniendo en cuenta que el fraguado del mismo será un poco más lento. Cuando se encuentran masas duras (fraguadas) de cemento, este debe ser descartado para fabricar hormigones de primera calidad.

Existe un gran número de tipos de cemento hidráulico; de éstos el más utilizado en nuestro país, por razones técnicas y económicas, es el cemento Portland tipo IP, con el cual se realizó los ensayos correspondientes para determinar la calidad del material que se utilizará en las mezclas de hormigón.

DENSIDAD DEL CEMENTO

La densidad del cemento desempeña un papel significativo en su producción y funcionamiento.

La densidad del cemento se obtuvo mediante el método del Picnómetro.

EQUIPO EMPLEADO

- Balanza electrónica (A = 0,1 g).
- Picnómetro.
- Pipeta.
- Vaso de precipitación.
- Recipiente metálico.

FÓRMULAS USADAS

P1: Masa del picnómetro vacío.

P2: Masa del picnómetro + cemento.

P3: Masa del picnómetro + cemento + gasolina.

P4: Masa del picnómetro + 250cc de gasolina.

Masa del cemento

$$P_{cemento} = P2 - P1$$

Masa de la gasolina

$$P_{gasolina} = P4 - P1$$

Determinación de la densidad del cemento.

$$P5 = (P4 - P1) - (P3 - P2)$$

$$\delta = \frac{\frac{P2 - P1}{P5}}{\frac{P4 - P1}{250}}$$



NORMA ASTM C - 188

**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

ENSAYO DE DENSIDAD

DEL CEMENTO

ORIGEN: CEMENTO EL PUENTE

FECHA: 21/10/15

Tabla N°14.- Ensayo de Densidad del Cemento.

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA PICNÓMETRO	gr	117,9
M2	MASA PICNÓMETRO + CEMENTO	gr	222,7
M3	MASACEMENTO	gr	104,8
M4	MASA PICNÓMETRO + CEMENTO + GASOLINA	gr	489,8
M5	MASA GASOLINA AÑADIDA	gr	267,1
M6	MASA PICNÓMETRO + 250 cc DE GASOLINA	gr	411
M7	MASA DE 250 cc DE GASOLINA	gr	293,1
M8	MASA DE GASOLINA DESALOJADA	gr	26
d gasolina	DENSIDAD DE GASOLINA	gr/cm ³	0,7398
V gasolina	VOLUMEN DE GASOLINA	cm ³	35,14
DR	DENSIDAD DEL CEMENTO	gr/cm³	2,98

Fuente: Elaboración propia.

4.8. RESUMEN DE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DEL CEMENTO.

Contenido de Humedad:

- Agregado Grueso (ganga)= 0.1%
- Agregado Fino (arena)= 1.07%

Granulometría:

- Agregado Grueso (ganga); T.N.M.= 1 ½" (38.1mm).
- Agregado Grueso (ganga); Modulo de Finura= 7.59
- Agregado Fino (arena); Modulo de Finura= 2.51

Densidad Aparente Suelta y Compactada:

Densidad Aparente Suelta.

- Agregado Grueso (ganga)= 1.46 gr/cm³
- Agregado Fino (arena)= 1.60 gr/cm³

Densidad Aparente Compactada:

- Agregado Grueso (ganga)= 1.53 gr/cm³
- Agregado Fino (arena)= 1.73 gr/cm³

Densidad Real Peso Específico en Estado (S.S.S.):

- Agregado Grueso (ganga)= 2.82 gr/cm³
- Agregado Fino (arena)= 2.77 gr/cm³

Capacidad de Absorción:

- Agregado Grueso (ganga)= 1.02%
- Agregado Fino (arena)= 3.49%

Ensayos en el Cemento:

- Densidad del Cemento (picnómetro) = 2.98 gr/cm³

CAPITULO V

5. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

5.1. GENERALIDADES

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener masas y hormigones que reúnan las características y propiedades exigidas en el proyecto.

Ya se comprende que el problema de la dosificación es complejo por depender de muchos factores, unos ligados a las propiedades exigidas al hormigón, otros a las características de los materiales disponibles y por último, a los medios de fabricación, transporte y colocación. Podría decirse que el proceso de dosificación es tanto un arte como una técnica.

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero todos deben considerarse orientativos. Por ello, las proporciones definitivas de los componentes deben establecerse mediante ensayos de laboratorio, introduciendo después las correcciones que resulten necesarios o convenientes. Actualmente y debido al gran desarrollo que ha experimentado en todos los países la industria del hormigón preparado, la mayor parte de los hormigones utilizados en edificación se dosifican y elaboran en central bajo condiciones bien controladas, con lo que se ha dado un gran paso para disponer de hormigones con las características y propiedades necesarias.

El punto de partida para establecer la dosificación puede ser, o bien la resistencia mecánica, o bien la dosificación de cemento por metro cubico de hormigón compactado, habida cuenta de la durabilidad de ambos casos. A continuación se indica la marcha a seguir para la dosificación por resistencia, en función de las condiciones ambientales a las que vaya a estar sometida la obra.

Antes de comenzar las obras puede ser necesario efectuar en laboratorio, ensayos previos para establecer la dosificación que habrá de emplearse en la fabricación del

hormigón, teniendo en cuenta los materiales disponibles, los aditivos que se vayan a utilizar y las condiciones de ejecución previstas.

Para llevarlos a cabo, por cada dosificación que se desee establecer, se fabricarán por lo menos tres (3) amasadas distintas, tomándose nueve (9) probetas de cada una y se operará de acuerdo con los métodos de ensayos descritos en las normas ASTM 192.

El aporte de este trabajo consiste en la elaboración de un procedimiento para la aplicación rápida del método. Con el objetivo de adaptar el método a nuestras condiciones las tablas para la obtención de los diferentes parámetros fueron aproximadas utilizando métodos de regresión.

Los resultados que se obtengan aplicando el procedimiento deben obligatoriamente ser comprobados mediante mezclas de prueba en laboratorio para su posterior aplicación en obra.

5.2. BASES DEL METODO

5.2.1. RESISTENCIA

Siendo f_{ck} la resistencia característica a la compresión exigida en el proyecto, para el diseño del hormigón se debe determinar la resistencia media a compresión f_{cm} valor superior a f_{ck} , con el objeto de garantizar la obtención de la resistencia de proyecto en obra. Dicho valor puede obtenerse aplicando la tabla N°15. según las condiciones de ejecución o según el Código Modelo CEB-FIP-90 y ACI-316-84 para condiciones de ejecución suficientemente buenas.

Tabla N°15.- Relación Entre la Resistencia Media y la Característica Específica de Hormigón.

<i>Condiciones previstas para la ejecución de obra</i>		<i>Valor aproximado de la resistencia media f_{cm} necesaria en laboratorio</i>
<i>Mínimas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 20$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 2$
<i>Buenas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 15$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 1,5$
<i>Muy buenas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 10$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 1$

Fuente: Norma Boliviana Hormigón Armado CBH 87 pág. 250

5.2.2. RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)

La resistencia del hormigón y la durabilidad es función de muchos factores: tipo, clase y cantidad de cemento, características, granulometría y tamaño máximo del árido, compactación, curado, y otros; pero fundamentalmente de la relación a/c.

Como primera aproximación se puede utilizar la siguiente relación:

$$\frac{c}{a} = k * f_{cm} + 0.5$$

Dónde:

$\frac{c}{a}$ = Concentración de la pasta o relación cemento/agua, en peso.

k = Coeficiente cuyos valores se encuentran en la tabla N°16.

f_{cm} = Resistencia media.

La durabilidad del hormigón está ligado a su compacidad o impermeabilidad, por esta razón se limita la relación a/c y el contenido de cemento. La máxima relación a/c y mínimo contenido de cemento a aplicarse se puede obtener de la tabla N° 17, estos valores son recomendados por el Código Modelo CEB-FIP, la Norma europea ENV-206 y la Instrucción Española.

Tabla N°16.- Valores Orientativos de K

Cemento	Aridos rodados	Aridos chancados
Pórtland Tipo 30	0.061	0.039
Pórtland Tipo 40	0.049	0.032
Pórtland Tipo 50	0.041	0.028

Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 1991

Tabla N°17.- Máxima Relación agua/cemento y Mínimo Contenido de Cemento en kg/m3, en Función de las Condiciones Ambientales

Condiciones ambientales de la estructura		Máxima relación agua/cemento	Contenido mínimo de cemento	
			Ho en masa	Ho armado
I -Interior de edificios - Exterior con baja humedad	I	0.65	200	250
II - Interior de edificios con humedad alta - Exteriores normales - Elementos en contacto con aguas normales - Elementos en contacto con terrenos ordinarios	II Sin heladas	0.60	200	275
	II-h Con heladas	0.55	200	300
	II-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	300
III - Elementos en atmósfera industrial agresiva - Elementos con atmósfera marina - Elementos en contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	III Sin heladas	0.55	200	300
	III-h Con heladas	0.5	200	300
	III-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	325
IV - Ambientes con contenido de sustancias químicas capaces de provocar alteraciones del hormigón con velocidad...	IV-a ...lenta	0.5	225	325
	IV-b ...media	0.5	250	350
	IV-c ...alta	0.45	250	350

Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición pág. 50

5.2.3. CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN Y CANTIDADES DE AGUA Y CEMENTO

En función del tipo de elemento y sus características (tamaño de la sección, distancia entre barras, etc.) y teniendo en cuenta la forma de compactación prevista, se fija la consistencia que ha de tener el hormigón. A tal efecto, pueden ser útiles las indicaciones de la tabla N°18.

Fijada la consistencia, se determina la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón, según los valores de la tabla N° 19. Teniendo la cantidad de agua y conocida la relación agua/cemento, es fácil determinar la cantidad de cemento en kg/m3.

Cantidad de cemento
$$c = \frac{\text{agua}}{\left(\frac{a}{c}\right)}$$

Tabla N°18.- Consistencias y Formas de Compactación

Consistencias	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca	0 a 2	Vibrado energético en taller
Plástica	3 a 5	Vibrado energético en obra
Blanda	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida	10 a 15	Picado con barra
Æíquida	16	(No apta para elementos resistentes)

Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición pág. 54

Tabla N°19.- Litros de Agua por Metro Cúbico (Hormigones sin aditivos)

Consistencia del hormigón	Asiento en cono de Abrams cm	Aridos rodados			Piedra partida y arena de machaqueo		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	a 2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3 a 5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6 a 9	165	185	205	185	205	225
Fluida	10 a 15	180	200	220	200	220	240

Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición pág. 55

5.2.4. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS ARIDOS

Para obtener mezclas más económicas es importante tomar en cuenta que se requiere agregados con un mayor grado de compacidad que da lugar a un menor volumen de huecos y por tanto será menor la cantidad de pasta de cemento necesaria para rellenar estos huecos. La granulometría de compacidad elevada se consiguen con mezclas pobres en arena y que requieren poca cantidad de agua de amasado, pero estas mezclas dan lugar a masas poco trabajables. Por el contrario para que la masa de hormigón sea trabajable y no se disgregue durante su colocación debe tener un contenido óptimo de granos finos, con lo que disminuirá la compacidad del árido y será necesario emplear mayor cantidad de agua y cemento. En todo caso habrá que adoptar una solución que satisfaga a ambos aspectos.

El estudio de la composición granulométrica del árido total consiste en definir los porcentajes óptimos de los diferentes áridos disponibles, para conseguir el hormigón que se desea.

Con respecto a los áridos se han propuesto métodos que hacen referencia al caso de granulometría continua, en el que se encuentran representados todos los tamaños de granos; y otros al caso de granulometrías discontinuas, en el que faltan algunos elementos intermedios, por lo que la curva granulométrica presenta un escalón horizontal.

Como alternativa podemos utilizar los valores óptimos del módulo granulométrico propuesto por Abrams para hormigones ordinarios que se dan en la tabla N°20.

Tabla N°20.- Valores Óptimos del Módulo Granulométrico Según Abrams Para Hormigones Ordinarios

Contenido de cemento kg/m ³	Tamaño máximo del árido mm						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.6	5.8	6.00
300	4.2	4.6	5.00	5.4	5.65	5.85	6.20
350	4.3	4.7	5.1	5.5	5.73	5.88	6.30
400	4.4	4.8	5.2	5.6	5.8	5.9	6.40

Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición pág. 53

Una vez elegido el módulo granulométrico teórico con el que se trabajara, se determinan las proporciones en que deben mezclarse los áridos a partir de sus módulos granulométricos. Si m_a , m_g y m son los módulos granulométricos de la arena, ganga y el teórico respectivamente, se deducen los porcentajes x e y , en peso, en que deben mezclarse la arena y la ganga, resolviendo las ecuaciones:

$$m_a x/100 + m_g y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

5.2.5. PROPORCIONES DE LA MEZCLA

Para determinar las cantidades necesarias de los distintos materiales para obtener un metro cúbico de hormigón, hay que tener en cuenta la contracción que experimenta el hormigón fresco, que puede evaluarse en un 2.5 %. Ello se debe a que el agua se

evapora en parte; en otra parte es absorbida por el árido; y el resto debido a la retracción de la pasta de cemento.

Por tanto, la suma de los volúmenes de los distintos materiales debe ser 1025 litros, para obtener un metro cúbico de hormigón según bibliografía Hormigón Armado Jiménez Montoya:

$$a + c/p + G1/p1 + G2/p2 = 1025$$

Dónde:

a = Litros de agua por m³ de hormigón.

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón.

p = Peso específico real del cemento en kg/lt.

G1 y G2 = Pesos de la arena y de la ganga, en kg por m³ de hormigón.

p1 y p2 = Pesos específicos reales de la arena y de la ganga, en kg/lt.

5.3. PROCEDIMIENTO

5.3.1. DATOS REQUERIDOS

- Tipo de cemento.
- Peso específico del cemento.
- Peso específico de la ganga condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad.
- Peso específico de la arena condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de húmeda.
- Módulos granulométricos de los agregados.
- Tipo de agregado (chancados)
- fck Resistencia característica a la compresión especificada del hormigón a los 28 días expresada en Mpa.
- Condiciones de ejecución.

5.3.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MEDIA f_{cm}

Se determina de la tabla N°15.

5.3.3. RELACIÓN AGUA/CEMENTO

El menor valor obtenido de:

$$\frac{c}{a} = k^* f_{cm} + 0.5$$

5.3.4. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menor agua se necesitará para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie específica de los áridos (superficie a mojar) será más pequeña. Como consecuencia, podrá reducirse la cantidad de cemento, resultando más económico el hormigón para la misma resistencia.

Conviene, por lo tanto emplear el mayor tamaño posible de árido, siempre que sea compatible con las exigencias de puesta en obra. Estas imponen que el tamaño del árido no exceda del menor de los dos límites siguientes:

1. La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados, o la tercera parte si se encofra por una sola cara.
2. Los cinco sextos de la distancia horizontal libre entre barras, o entre éstas y el encofrado.

Por otra parte, tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencia, porque con áridos muy gruesos disminuye en exceso la superficie adherente y se crean discontinuidades importantes dentro de la masa, especialmente si ésta es rica en cemento.

5.3.5. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA (Asentamiento en el cono de Abrams (As))

Si dicho valor no está impuesto en las especificaciones de proyecto se puede obtener de la tabla N°18. en función del tipo de compactación a aplicar en obra.

5.3.6. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE AGUA (a)

Se determina de la tabla N°19.

5.3.7. CÁLCULO DE LA DOSIS DE CEMENTO (c)

$$c = \text{Dosis de agua} / (a/c) \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

5.3.8. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL ÁRIDO TOTAL

Si se va a utilizar agregado fino de módulo granulométrico (ma) y un solo tipo de agregado grueso (ganga) de módulo granulométrico (mg), el módulo granulométrico teórico (m) se obtiene de la tabla N°20 y las proporciones de áridos a utilizarse se determina de:

$$ma \ x/100 + mg \ y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

$$x = \% \text{ de agregado fino}$$

$$y = \% \text{ de agregado grueso}$$

5.3.9. PROPORCIONES DE LA MEZCLA

Si el hormigón va a estar compuesto por dos áridos las cantidades se obtiene de:

$$a + c/p + G1/p1 + G2/p2 = 1025 \quad (1)$$

$$G1/G2 = x/y \quad (2)$$

a = Litros de agua por m³ de hormigón.

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón.

P = Peso específico real del cemento en kg/m³.

G₁ y G₂ = Pesos de la arena y del grueso (ganga), en kg por m³ de hormigón.

p₁ y p₂ = Pesos específicos reales de la arena y del grueso (ganga), en kg por m³.

5.4. AJUSTES POR CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO

Las cantidades que realmente se deben pesar para el concreto deben considerar la humedad del agregado.

Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos se deben incrementar con el porcentaje de agua tanto absorbida como superficial que contienen.

$$G_{1h} = G_1 (1 + \%h_{G1} / 100)$$

$$G_{2h} = G_2 (1 + \%h_{G2} / 100)$$

El agua de mezclado que se añade a la mezcla se obtiene restando del agua calculada el agua libre que contienen los áridos

$$a_{añ} = a - G_1(\%h_{G1} - \%a_{G1}) / 100 - G_2(\%h_{G2} - \%a_{G2}) / 100$$

5.5. DOSIFICACIÓN

Procedimiento

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las necesidades de la obra y determinar la resistencia media correspondiente.

- Resistencia característica: $f'_{ck} = H21$ (210 kg/cm^2).
- Condiciones previstas para la ejecución de la obra: Buenas

Tabla N°16: $f_{cm} = 1.50 * f'_{ck} + 15$ Para condiciones Buenas

Resistencia Media: $f_{cm} = 1.50 * 210 + 15 = 330 \text{ kg/cm}^2$

2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.

- Cemento EL PUENTE Portland con Puzolana tipo IP30.
- El cemento LIDER corresponde al Tipo IP, Categoría resistente Media 30 Mpa de resistencia mínima a la compresión a 28 días según la Norma Boliviana NB-011. Cuenta con el Sello de Calidad de IBNORCA.

3. Determinar la relación agua/cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón, según el tipo de cemento y áridos empleados.

- Resistencia Media: 330 kg/cm^2
- Valor orientativo de k para el cemento de la tabla N°17: $k = 0.0039$
(Para cemento IP-30 y áridos chancados)

$$\frac{c}{a} = k * f_{cm} + 0.5$$

$$\frac{c}{a} = 0.0039 * 330 + 0.5 = 1.79$$

$$\frac{a}{c} = 0.56$$

De la tabla N°17:

a/c (máxima) = 0.65 (1 Interior de edificios,
exterior con baja humedad)

Contenido mínimo de cemento 250 kg/m³

Elegimos $\frac{a}{c} = 0.56$

4. Determinar el tamaño máximo del árido grueso (ganga), en función de las características de los distintos elementos de la obra.

➤ Se escoge como valor del tamaño máximo según la granulometría:
Tamaño máximo 1 ½" (38,1mm)

5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón, según la forma de compactación en obra y, como consecuencia fijar la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.

➤ Para una compactación por vibrado enérgico en obra, condiciones de ejecución buena, consistencia plástico-blanda, tamaño máximo 38.1 mm, y áridos chancados: tabla N° 19: 195 ltr. /m³.

➤ Cantidad de cemento: $c = \frac{195}{0.56} = 348.21 \text{ kg}$ Asumir 350 kg.

6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la más conveniente al hormigón en estudio.

➤ Módulo Granulométrico de la arena: $m_a = 2.51$

➤ Módulo Granulométrico árido grueso (ganga): $m_g = 7.59$

➤ Modulo Granulométrico optimo del árido compuesto según Abrams, para hormigones ordinarios, contenido de cemento 350 kg y tamaño máximo del árido 40 mm \approx 38.1 mm.: $m = 5.88$

Porcentajes x (proporción arena), y (proporción ganga).

$$m_a * \frac{x}{100} + m_g * \frac{y}{100} = m$$

$$x + y = 100$$

Reemplazando valores y resolviendo el sistema

$$2.51 * \frac{x}{100} + 7.59 * \frac{y}{100} = 5.88$$

$$x + y = 100$$

- Proporción de la arena: $x = 35 \%$
- Proporción de árido grueso (ganga): $y = 65 \%$

7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarias para obtener un metro cúbico de hormigón.

- Cantidad de agua: $A = 195$ ltrs.
- Cantidad de cemento: $C = 350$ kg.
- Peso específico del cemento: $\rho = 2.98$ gr./cm³
- Peso específico de la arena: $\rho_1 = 2.77$ gr./cm³
- Peso específico de árido grueso (ganga): $\rho_2 = 2.82$ gr./cm³
- G_1 y G_2 pesos de arena y ganga, en kg. por m³ de hormigón.
- Proporción de la arena: $x = 35 \%$
- Proporción de árido grueso (ganga): $y = 65 \%$

$$A + \frac{C}{\rho} + \frac{G_1}{\rho_1} + \frac{G_2}{\rho_2} = 1025$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{x}{y}$$

- Reemplazando valores y resolviendo el sistema.

$$195 + \frac{350}{2.98} + \frac{G_1}{2.77} + \frac{G_2}{2.82} = 1025$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{35}{65}$$

- Cantidad de Arena: $G_1 = 698.87$ kg.

- Cantidad de Ganga: $G_2 = 1297.91 \text{ kg}$.
- Correcciones por humedad y absorción de los áridos.
- Arena $G_1 * (1 + (w_1(\text{humedad})))$
- Arena..... $698.87 * (1 + 0.0107) = 698.87 + 7.5 = 706.37 \text{ kg}$.
- Ganga..... $G_2 * (1 + (w_2(\text{humedad})))$
- Ganga... $1297.91 * (1 + 0.001) = 1297.91 + 1.3 = 1299.21 \text{ kg}$.
- Agua..... $195 - (7.5 + 1.3) + (24 + 13) = 195 - 8.8 + 37 = 223 \text{ ltrs}$.

Proporciones Finales:

- Agua.....223 ltrs.
- Cemento.....350 kg.
- Arena.....706 kg.
- Ganga.....1299 kg.

Dosificación estándar:

- Agua..... 0.64
- Cemento..... 1.00
- Arena..... 2.03
- Ganga..... 3.73

8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y, en caso contrario, hacer las correcciones necesarias.

5.6. PROBETAS CON LAS DOSIFICACIONES DEFINITIVAS, PARA RESISTENCIA DE 21 Mpa.

Dentro del estudio del Hormigón, se tiene la determinación de las propiedades del hormigón endurecido, entre las cuales, la propiedad más importante es la capacidad de absorber esfuerzos de compresión, esta capacidad se evalúa mediante ensayos de compresión sobre probetas.

Estas probetas estándar se las fabrica utilizando moldes metálicos de forma cilíndrica, en donde se verterá el hormigón fresco para obtener un testigo de la misma forma del molde, cuyas dimensiones cumplirán con la relación 2:1, entre la Altura de la probeta y el Diámetro del mismo, teniéndose dos tipos de probetas, las cuales son:

- Probeta: 75 mm de diámetro y 150 mm de altura
- Probeta: 150 mm de diámetro y 300 mm de altura

El uso de estas probetas está en función del agregado grueso que se utilizó en la fabricación del hormigón, es así que para un tamaño nominal máximo de agregado mayor o igual a $\frac{3}{4}$ de pulgada, se usara las probetas de 150 mm x 300 mm

5.7. MEZCLAS DEFINITIVAS PARA LAS RESISTENCIAS ESPECÍFICAS

Las mezclas definitivas servirán para elaborar una buena cantidad de hormigón, que a la vez nos sirvan para obtener una suficiente producción de probetas. En cierto número se realizaran los ensayos de compresión hasta la rotura.

Para poder realizar las mezclas definitivas, se tomó muy en cuenta las dosificaciones de prueba y los resultados de las resistencias que se obtuvieron a los 7, 14 y 28 días en dichas mezclas.

Luego de ensayar todas y cada una de las probetas cilíndricas de hormigón, se procede a adoptar la mezcla idónea o ideal para las mezclas finales que nos garantice resistencia y economía.

5.8. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PROBETAS

Para determinar el número de probetas de hormigón que se ensayarán para cada una de las diferentes condiciones, se tendrá en cuenta el criterio de que el número mínimo de valores para representar confiablemente resultados aceptables son 9 cilindros, además se debe tener presente el tamaño nominal máximo del agregado para seleccionar el dimensionamiento de los cilindros de prueba.

El tamaño nominal máximo del agregado grueso de la mina de Tasna es de 11/2", por lo que realizaremos los ensayos en probetas de 150mm de diámetro y 300mm de altura de acuerdo a la norma ASTM 192 "Práctica para fabricar y curar probetas cilíndricas de hormigón en el Laboratorio"

Con el objetivo de aplicar un proceso satisfactorio, es necesario adoptar un número mínimo de probetas estándar de la siguiente manera:

Muestra Pequeña: 9 probetas.

Muestra Grande: mayor o igual a 30 probetas.

En el caso de esta investigación, necesitamos obtener resultados confiables, por lo que se adopta una muestra pequeña; se realizarán 9 probetas por cada resistencia expuesta en esta investigación para el análisis de las deformaciones a los 28 días.

Para el análisis de la resistencia a la compresión que se generan en las probetas a los 7, 14, y 28 días, en función del tiempo, se realizarán 27 probetas en su totalidad las cuales serán ensayadas en el siguiente orden:

- A los 7 días: 9 probetas
- A los 14 días: 9 probetas
- A los 28 días: 9 probetas.

Realizado este análisis tendremos un lote de producción de 27 probetas por cada resistencia requerida para esta investigación.

5.9. ELABORACIÓN DE HORMIGONES Y TOMA DE MUESTRAS

El hormigón se lo amasó en una concreteira de capacidad de un saco de cemento, de manera que se logre homogeneidad en la mezcla. Ya encendido el motor que pone en funcionamiento al tambor giratorio de la concreteira, se procede a verter los componentes del hormigón, los cuales tendrán que guardar un cierto orden que será: agregado grueso (ganga), en seguida una tercera parte de agua, para luego colocar el agregado fino, una tercera parte de agua y el cemento, para al final colocar la última tercera parte de agua. Una vez colocado todos los materiales que componen el hormigón, se deberá mantener en funcionamiento la concreteira durante un tiempo mínimo de amasado de cinco minutos, esto se realiza para conseguir una mezcla homogénea de los distintos componentes, para luego verificar su consistencia con el ensayo de Asentamiento en el Cono de Abrams, siguiendo el procedimiento indicado en la Norma ASTM C 143, y con este valor se determina la trabajabilidad de la mezcla.

Una vez concluidos estos pasos se procede a fabricar las probetas cilíndricas de hormigón, basándose en el procedimiento indicado en la Norma ASTM 192 “Práctica para Fabricar y Curar Probetas Cilíndricas de Hormigón en el Laboratorio”.

Transcurridas las 24 horas de fabricación de las probetas estándar, se procede a desencofrar las probetas; es decir, a retirar el molde metálico tomando la precaución de no romper o despostillar los filos de los cilindros, los moldes deberán ser limpiados correctamente y sometidos a un nuevo engrasado, para ser reutilizados.

Almacenamiento de Probetas en la Cámara de Humedad

Una vez desencofrados los cilindros de hormigón, estos pasaron por un riguroso proceso de curado.

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

El curado depende de dos factores que son:

Humedad.- Si sabemos que la resistencia es producto de la reacción química del agua con el cemento, para que se desarrolle todo el potencial de resistencia del cemento, debemos mantener suficiente suministro de agua para que el hormigón en lo posible esté saturado 100 % de humedad o cerca de ello, ya que solo así evitaremos pérdida de humedad de la superficie del hormigón por evaporación.

Temperatura.- Su influencia en el desarrollo de resistencia es importante, por ello es recomendable en lo posible, mantener una condición de temperatura cercana a los 20 ° C; o tratando de evitar que sean inferiores a 10 ° C. Cuando los diferenciales de temperatura del hormigón sean muy grandes, seguro favorecerá la pérdida de humedad por evaporación.

Relacionando lo expuesto anteriormente, hay tres condiciones básicas:

- Los hormigones deben estar suficientemente húmedos para garantizar la hidratación del cemento.
- Una temperatura adecuada que le permitirá una buena hidratación del cemento.
- Oportunidad en la iniciación del curado; se recomienda iniciar lo más pronto posible; en el hormigón es factible hacerlo tan pronto éste reabsorbe el agua de exudación.

Relación Entre el Curado y Desarrollo de Resistencias

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

Este mejoramiento crece rápidamente a edades tempranas y continúa, más lentamente, por un lapso indefinido, como muestra la figura N°3, para la resistencia a la compresión.

Gráfico N°3.- Influencia del Curado en la Resistencia del Hormigón



Fuente: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición pág. 89

Como podemos apreciar, EL CURADO CONTINUO permite que el hormigón desarrolle el máximo de su resistencia potencial; es decir NO SE DEBE PERMITIR QUE EL HORMIGON SE SEQUE EN NINGUN MOMENTO. Si permitimos que el hormigón se seque, se detiene por completo la reacción química del agua con el cemento y deja de ganar resistencia. Mojar el hormigón después de que se haya secado sólo permite rescatar una pequeña parte de su resistencia potencial, de ninguna manera se va a conseguir recuperar la resistencia que podría tener la mezcla con el curado continuo.

Nuestras probetas de hormigón deben ser curadas en la cámara de humedad, a una temperatura de 20 ± 2 °C y 95 ± 5 % de humedad a las 24 hs. del moldeo y permanecieron allí hasta el momento de los ensayos, estos parámetros representan condiciones óptimas de curado.

CAPÍTULO VI

6. PROGRAMA DE ENSAYOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. TIEMPO PARA LA ELABORACIÓN DE ENSAYOS

Se planteó hacer los ensayos a compresión simple a diferentes edades, de 7, 14 y 28 días; evaluándose la curva tiempo vs resistencia.

Una vez que los cilindros se encontraron fuera de la cámara de humedad, se tomó mínimo tres lecturas del diámetro en la cabeza del cilindro, este proceso nos sirve para evaluar la resistencia del hormigón ensayado a los 7, 14 y 28 días. Las probetas cilíndricas de hormigón, no deben permanecer más de dos horas fuera de la cámara de humedad, durante este tiempo se realizara la colocación del capping en la cabeza y pie de cada uno de los cilindros.

6.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7, 14, 28 DÍAS

Las probetas estándar que fueron ensayadas aplicando el 60% de la carga de compresión a la rotura, estuvieron preparadas con la pasta capping en sus extremos, tomadas sus dimensiones de altura y diámetro, y se conservaron en la cámara de humedad hasta antes de su respectivo ensayo, siguiendo los procedimientos de las Norma ASTM C 39.

Respecto a la máquina universal, se puede utilizar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a la velocidad constante, de tal manera que no aparezca otra variable en nuestra investigación. La máquina debe conformarse a los requisitos de la Práctica ASTM E4” práctica para verificación de la carga de máquina de Ensayo”.

6.3. ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN

Hemos estudiado hasta aquí los métodos operarios que permiten conocer las características del hormigón y, en particular, su resistencia. En definitiva, el objeto principal de todos estos métodos es, desde el punto de vista práctico establecer la dosificación necesaria para obtener una resistencia determinada, o bien comprobar que la resistencia alcanzada es igual o superior a la especificada en los cálculos.

Modalidades de Control

La Norma Boliviana establece tres modalidades de control siguientes:

- Modalidad 1: Control a nivel reducido.
- Modalidad 2: Control al 100 por 100, caso en que se conoce la resistencia de todas las amasadas que componen cada lote.
- Modalidad 3: Control estadístico, caso en el que solo se conoce la resistencia de una fracción de las amasadas que componen en cada lote.

Control a Nivel Reducido: En este nivel, la resistencia del hormigón no se controla directamente, es decir, no se confeccionan probetas. El único control que se efectúa es el del hormigón fresco, determinando la consistencia en cuatro ocasiones por lo menos a lo largo del día.

Este nivel de control solo puede utilizarse en obras civiles de pequeña importancia, en edificios de viviendas de menos de tres plantas con luces inferiores de seis metros, o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas y luces también inferiores a los seis metros. Esta modalidad de control, podrá utilizarse exclusivamente en obras en las que: la resistencia de proyecto exigida para el hormigón no sea superior a 15 MPa.

Control al 100 por 100: Esta modalidad de control es aplicable a cualquier obra. Consiste en determinar la resistencia de todas las amasadas que componen la obra y comprobar que ninguna de ellos resulte inferior a f'_{ck} , no obstante y dada la definición de la resistencia característica, puede admitirse que en una cada veinte amasadas se obtenga un valor por debajo de lo especificado.

Control Estadístico: Esta modalidad es la más utilizada y se puede aplicar a cualquier tipo de obras. Esta es la modalidad que se aplica en el presente proyecto los procedimientos se indican en el punto **6.3.** según tres autores.



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

COMPRESIÓN EN CILINDROS

CON MEZCLAS DEFINITIVAS

NORMA ASTM C – 39

ORIGEN: **MINA DE TASNA**

FECHA: **17 de Diciembre de 2015**

EDAD DEL CILINDRO DE HORMIGÓN: **7 días.**

REVENIMIENTO: **5 cm.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA: **21 Mpa.**

Tabla N°21.- Ensayo de Compresión en Cilindros Para 7 días

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
7a 13	15,00	10/12/2015	17/12/2015	7	27360	175,93	15,55	74,06
	15,00							
	14,90							
7b 12	15,10	10/12/2015	17/12/2015	7	27620	177,50	15,56	74,10
	15,00							
	15,00							
7c 14	15,00	10/12/2015	17/12/2015	7	26420	175,93	15,02	71,51
	15,00							
	14,90							
7d 15	15,10	10/12/2015	17/12/2015	7	26860	179,08	15,00	71,42
	15,00							
	15,20							
7e 11	15,10	10/12/2015	17/12/2015	7	27550	178,29	15,45	73,58
	15,10							
	15,00							
7f 16	15,00	10/12/2015	17/12/2015	7	27420	177,50	15,45	73,56
	15,10							
	15,00							
7g 17	15,10	10/12/2015	17/12/2015	7	27170	178,29	15,24	72,57
	15,10							
	15,00							
7h 18	15,10	10/12/2015	17/12/2015	7	27840	176,71	15,75	75,02
	15,00							
	14,90							
7i 19	15,00	10/12/2015	17/12/2015	7	27560	175,93	15,67	74,60
	15,00							
	14,90							
PROMEDIO							15,41	73,38

Fuente: Elaboración propia



SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS (SEDECA)

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

COMPRESIÓN EN CILINDROS

CON MEZCLAS DEFINITIVAS

NORMA ASTM C – 39

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 17 de Diciembre de 2015

EDAD DEL CILINDRO DE HORMIGÓN: 14 días.

REVENIMIENTO: 6 cm.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA: 21 Mpa.

Tabla N°22.- Ensayo de Compresión en Cilindros Para 14 días

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
14a 6	15,10	03/12/2015	17/12/2015	14	28600	179,08	15,97	76,05
	15,10							
	15,10							
14b 7	15,00	03/12/2015	17/12/2015	14	28390	175,93	16,14	76,84
	15,00							
	14,90							
14c 8	14,90	03/12/2015	17/12/2015	14	27840	177,50	15,68	74,69
	15,10							
	15,10							
14d 9	14,90	03/12/2015	17/12/2015	14	28400	175,93	16,14	76,87
	15,00							
	15,00							
14e 10	14,90	03/12/2015	17/12/2015	14	30470	176,71	17,24	82,11
	15,10							
	15,00							
14f 11	15,00	03/12/2015	17/12/2015	14	28710	177,50	16,17	77,02
	15,10							
	15,00							
14g 12	15,00	03/12/2015	17/12/2015	14	28330	177,50	15,96	76,00
	15,10							
	15,00							
14h 13	15,00	03/12/2015	17/12/2015	14	28690	176,71	16,24	77,31
	15,10							
	14,90							
14i 14	15,00	03/12/2015	17/12/2015	14	29720	177,50	16,74	79,73
	15,10							
	15,00							
PROMEDIO							16,25	77,40

Fuente: Elaboración propia



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE
CAMINOS (SEDECA)**

REGIONAL TARIJA

Laboratorio de Suelos y Materiales

COMPRESIÓN EN CILINDROS

CON MEZCLAS DEFINITIVAS

NORMA ASTM C – 39

ORIGEN: MINA DE TASNA

FECHA: 22 de Diciembre de 2015

EDAD DEL CILINDRO DE HORMIGÓN: 28 días.

REVENIMIENTO: 8 cm.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA: 21 Mpa.

Tabla N°23.- Ensayo de Compresión en Cilindros Para 28 días

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	Cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
28a 1	15,90	24/11/2015	22/12/2015	28	33505	175,15	19,13	91,09
	15,00							
	15,00							
28b 2	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	32990	176,71	18,67	88,90
	15,10							
	14,90							
28c 3	15,10	24/11/2015	22/12/2015	28	31900	178,29	17,89	85,20
	15,00							
	15,10							
28d 4	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	31060	176,71	17,58	83,70
	15,10							
	14,90							
28e 5	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	34370	175,93	19,54	93,03
	15,00							
	14,90							
28f 6	15,10	24/11/2015	22/12/2015	28	31690	176,71	17,93	85,39
	15,00							
	14,90							
28g 7	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	31820	176,71	18,01	85,74
	14,90							
	15,10							
28h 8	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	33820	175,93	19,22	91,54
	15,00							
	14,90							
28i 9	15,00	24/11/2015	22/12/2015	28	34940	175,93	19,86	94,57
	15,00							
	14,90							
PROMEDIO							18,65	88,80

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

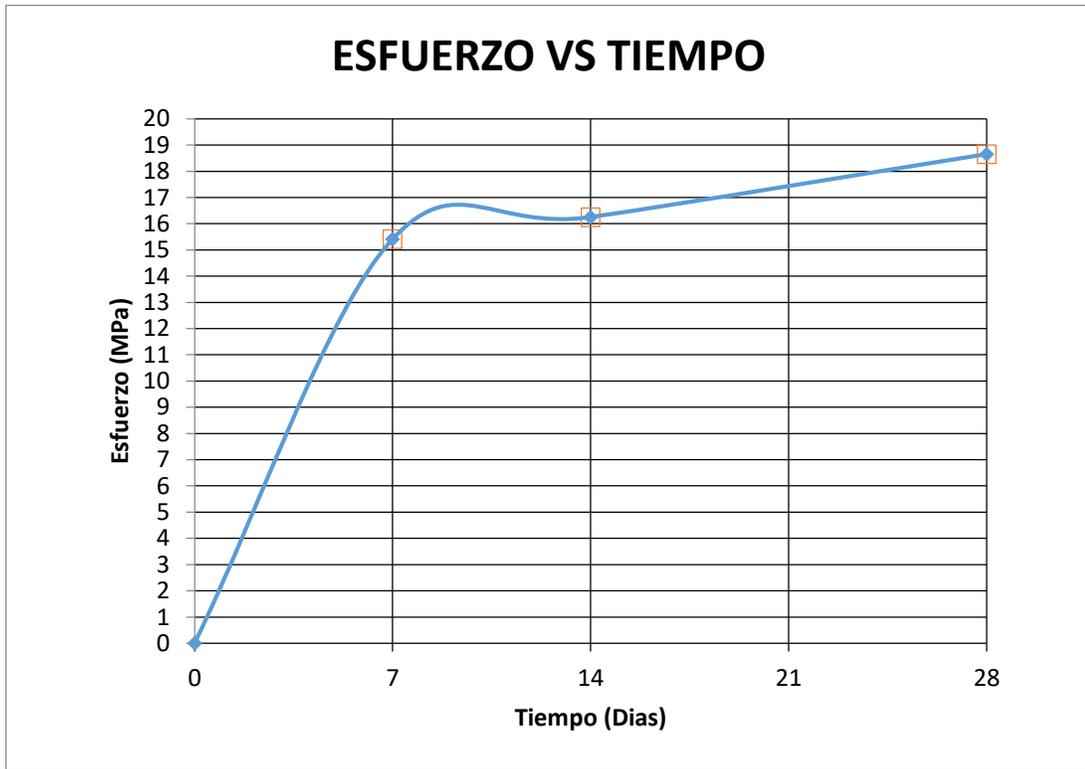
Tabla N°24.- Esfuerzo vs Tiempo

ESFUERZO VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28

Esfuerzo f'ck [Mpa]	0	15,41	16,25	18,65
---------------------	---	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.- Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo



Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

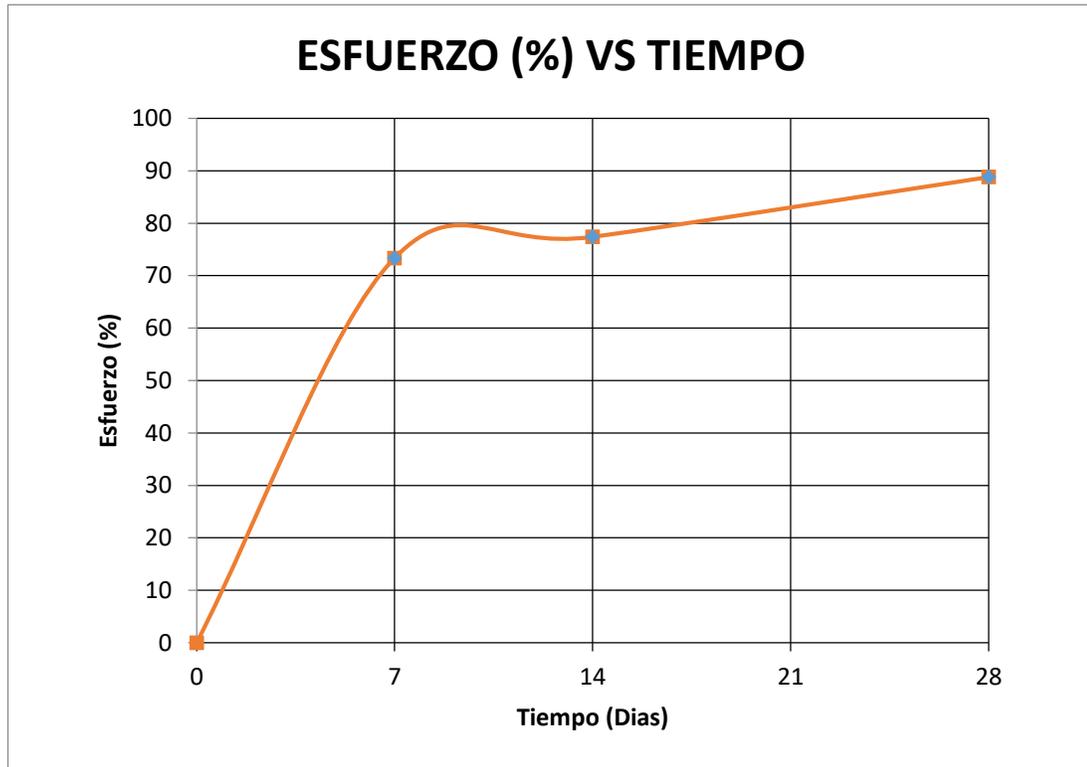
Tabla N°25.- Esfuerzo (%) vs Tiempo

ESFUERZO (%) VS TIEMPO

Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	73,38	77,40	88,80

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°5.- Diagrama de Esfuerzo (%) vs Tiempo



Fuente: Elaboración propia

6.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERISTICA DEL HORMIGÓN

En base a la definición de resistencia característica del hormigón, se determinó una sola resistencia confiable a la compresión simple del hormigón para el diseño de mezcla de 21 MPa.

Para obtener un valor representativo de los ensayos realizados a las probetas, se puede determinar mediante la media aritmética **f_{cm}** de los **n** valores de rotura, representados por los 9 ensayos realizados, la cual no toma en cuenta la dispersión de los valores de resistencia obtenidos, y esto no reflejara la verdadera calidad del hormigón a ser estudiado.

Por lo tanto al adoptar la resistencia media como base de los cálculos, esto conduce a un coeficiente de seguridad variable, por esta razón se realizó diferentes investigaciones, en el cual, se tomó como base los valores de la media aritmética y se determinó el valor de la resistencia característica del hormigón, recomendado por tres autores, según Montoya-Meseguer-Moran, según Oscar Padilla, y según Saliger.

6.4.1. SEGÚN MONTOYA – MESEGUER – MORAN

Se define como resistencia característica, (**fck**) del hormigón, aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, por lo que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que fck. De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal (fig. N°6), la resistencia característica viene definida por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm} * (1 - 1,64 * \delta)$$

Dónde:

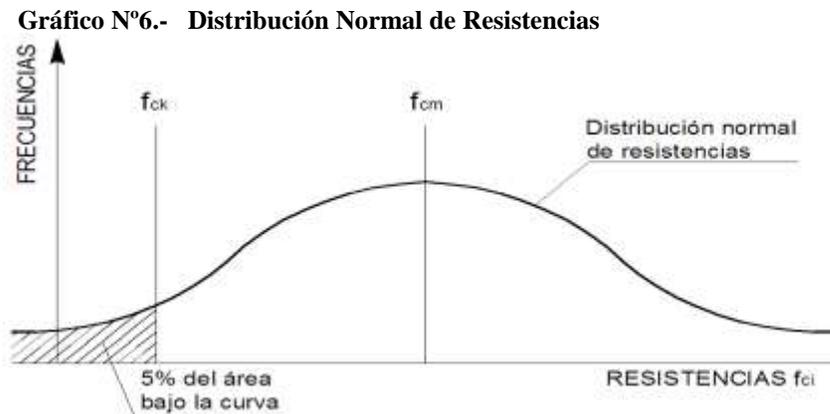
f_{cm}: Resistencia media

δ :Coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)^2}$$

Resistencia característica se refiere, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas de 15x30 cm, a una edad de 28 días de fabricadas, conservadas y ensayadas según métodos normalizados.



FUENTE: Hormigón Armado Jiménez Montoya 14ª Edición Pag. 86

Definida la resistencia característica se obtendrán también los límites superior e inferior, para ello se calculará la desviación estándar, con los datos experimentales de diseños de mezclas de 21 MPa.

$$f'_{ck\ max} = f'_{ck} + S$$

$$f'_{ck\ med} = f'_{ck}$$

$$f'_{ck\ min} = f'_{ck} - S$$

Dónde:

f'_{ck} : resistencia característica.

S: desviación estándar.

Luego de haber definido los conceptos de este método, procedemos a calcular con los datos obtenidos en el laboratorio:

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN MONTOYA, MESEGUER-MORAN (21
Mpa)
ORIGEN: MINA DE TASNA

Tabla N°26.- Resistencia Característica Según Montoya

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa.
28a	19,13
28b	18,67
28c	17,89
28d	17,58
28e	19,54
28f	17,93
28g	18,01
28h	19,22
28i	19,86

Fuente: Elaboración propia

DESVIACIÓN ESTÁNDAR $S= 0,826$ MPa

RESISTENCIA MEDIA $f'_{cm}= 18,65$ MPa

COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE RESISTENCIA $\delta= 0,0369$

$$f'_{ck\ max} = 18,26\ MPa$$

$$f'_{ck\ med} = 17,44\ MPa$$

$$f'_{ck\ min} = 16,61\ MPa$$

6.4.2. SEGÚN OSCAR PADILLA

Este método consiste en determinar la resistencia característica, para ello se ordenan los valores de mayor a menor, de acuerdo a las resistencias a la compresión obtenidas al ensayar los cilindros de hormigón.

Habiendo ordenado los valores y teniendo el número total de ensayos, se procede a dividirlos en dos subgrupos, si el número de ensayos es impar, se eliminara el ensayo intermedio para poder tener de igual forma dos grupos de igual número de datos de resistencia.

Con estos dos subgrupos de datos de resistencias, se calculara el promedio de cada uno de ellos, valiéndonos del concepto de media aritmética para luego, con ayuda de la siguiente ecuación calcular el valor de la resistencia característica de los n ensayos.

La ecuación propuesta por Oscar Padilla es la siguiente:

$$f'_{ck} = 2 * f'_{cm1} - f'_{cm2}$$

Dónde:

f'_{ck} : Resistencia característica.

f'_{cm1} : Promedio de resistencia del primer subgrupo.

f'_{cm2} : Promedio de resistencia del segundo subgrupo.

Una vez definida la resistencia característica según Oscar Padilla, procedemos al cálculo, con los datos experimentales del diseño de mezclas de 21 MPa.

Tabla N°27.- Resistencia Característica Según Oscar Padilla

CILINDRO	RESISTENCIA
N°	Mpa.
28a	19,13
28b	18,67
28c	17,89
28d	17,58
28e	19,54
28f	17,93
28g	18,01
28h	19,22
28i	19,86

Fuente: Elaboración propia

SUBGRUPO 1

CILINDRO	RESISTENCIA
N°	Mpa
28i	19,86
28e	19,54
28h	19,22
28a	19,13

$$f'_{cm1} = 19,44 \text{ MPa}$$

SUBGRUPO 2

CILINDRO	RESISTENCIA
N°	Mpa
28g	18,01
28f	17,93
28c	17,89
28d	17,58

$$f'_{cm2} = 17,85 \text{ MPa}$$

$$S = 0,826 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \max} = 21,85 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \text{ med}} = 21,02 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \min} = 20,20 \text{ MPa}$$

6.4.3. SEGÚN SALIGER

Para determinar la resistencia característica de Saliger, propone encontrar la resistencia promedio del total de ensayos realizados, mediante la aplicación de la media aritmética, y adoptar el 75% de dicho promedio de estos n valores.

La resistencia se la obtendrá de la siguiente manera:

$$f'_{ck} = 0,75 * f'_{cm}$$

Dónde:

f'_{ck} : Resistencia característica.

f'_{cm} : Resistencia media de la población de resistencias.

A continuación se determinara la resistencia característica según el autor, de acuerdo a los resultados experimentales obtenidos:

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SEGÚN OSCAR PADILLA (21 Mpa)
ORIGEN: MINA DE TASNA

Tabla N°28.- Resistencia Característica Según Saliger

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa.
28a	19,13
28b	18,67
28c	17,89
28d	17,58
28e	19,54
28f	17,93
28g	18,01
28h	19,22
28i	19,86

Fuente: Elaboración propia

DESVIACION ESTANDAR $S = 0,826$ Mpa

RESISTENCIA MEDIA $f'_{cm} = 18,65$ Mpa

$$f'_{ck\ max} = 14,81\ MPa$$

$$f'_{ck\ med} = 13,99\ MPa$$

$$f'_{ck\ min} = 13,16\ MPa$$

A continuación, se presenta un resumen de las resistencias características calculadas según los investigadores y para cada diseño de mezcla:

TABLA N°29.- Resistencia Característica Según Diferentes Autores

AUTOR	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA f'_{ck} Diseño de mezcla para 21(Mpa)
Resistencia media	18,65
Montoya-Meseguer-Moran	17,44
Oscar Padilla	21,02
Saliger	13,99

Fuente: Elaboración propia.

6.5. VERIFICACION DE LA HIPÓTESIS

La Hipótesis anteriormente mencionada se comprobó realizando Ensayos de Laboratorio lo que nos dan como resultado que ninguno de los valores supera a la resistencia característica especificada que es de 21 Mpa. Por otra parte se puede observar de acuerdo a los resultados, se tienen valores óptimos adecuados para considerarse como un hormigón estructural.

6.6. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Aun no se conoce un precio de transporte de un residuo mineral porque aún no se lo practica su uso como un material de construcción y se siguen explotando áridos de ríos y quebradas. Además las empresas mineras tienen restringida la entrada y no permiten la extracción de residuos mineros.

Existen yacimientos en abandono donde es posible extraer residuos si estos tienen una granulometría que estén dentro de los límites para su uso pero en su mayoría existen rocas de gran tamaño donde necesitan ser triturados y esto generaría mayor costo.

Si fuera posible extraer los precios podrían ser los mismos que un árido convencional ya que abarcan el mismo volumen, el mismo peso. Según la revista de presupuesto y construcción en el departamento de Potosí para áridos son:

Tabla N° 30.- Análisis de Precios Unitarios Para Áridos en Bs.

DESCRIPCION	UNIDAD	RENDIMIETO	PRECIO UNITARIO
Arena Común	m3	1	110
Grava Común	m3	1	110

Fuente: Revista de Presupuesto y Construcción

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado esta investigación y de obtener resultados provenientes de una serie de análisis de laboratorio, se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo a los ensayos correspondientes podemos observar que el Agregado Grueso (ganga) procedente de la Mina de tasna se halla dentro de los límites que establece la norma en lo referente a su composición granulométrica tiene un Tamaño Nominal Máximo de 1 ½”, un Peso Unitario Suelto de 1.46 gr/cm³, un Peso Unitario Compactado de 1.53 gr/cm³, un Peso Específico de 2.82 gr/cm³, una capacidad de Absorción del 1.02%.
- Para el Agregado Fino material proveniente de la localidad de Charaja se halla dentro de los límites como son composición granulométrica, tiene un Módulo de Finura de 2.51, Peso Unitario Suelto de 1.60 gr/cm³, un Peso Unitario Compactado de 1.73 gr/cm³, Peso Específico de 2.77 gr/cm³, una capacidad de absorción del 3.49 %.

Analizando estos resultados, podemos concluir que el agregado estudiado es un material que presenta buenas características y es apto para la elaboración de hormigones.

- Las mezclas de prueba diseñadas para edades de 7 días alcanzaron a 73.38% y el de 14 días 77.40% respecto a la resistencia específica lo cual muestra resistencias satisfactorias.
- En cuanto a los resultados obtenidos de ensayos mecánicos de compresión de los cilindros a la edad de 28 días. Ninguno es igual o supera a la resistencia específica de 21 Mpa. Por otra parte de acuerdo a estos resultados se ve que se tiene valores óptimos adecuados para considerarse como un hormigón estructural con lo que se contrasta la hipótesis.
- Los resultados de resistencia característica según diferentes autores tomamos la media y el valor según Montoya- Meseguer-Moran debido a que rige a una distribución normal estadística en tanto que los otros de Padilla y Saliger son

rechazados debido a que presentan valores muy altos y muy bajos respecto a nuestros resultados que no se presentan.

- De manera particular para esta investigación se puede concluir. Los agregados gruesos (ganga) procedentes de residuos de la minería de la localidad de Tasna presentan características casi similares a los convencionales por lo tanto pueden ser remplazados en su totalidad.
- Por tanto de acuerdo al tipo de obra que se vaya a ejecutar con el presente diseño de mezclas del presente proyecto el supervisor o técnico podrá evaluar y aprobar y así pueda ser utilizado en dicha obra. Tomando en cuenta que este proyecto de investigación solo podrá ser utilizado en la localidad de Tasna – Potosí.

7.2. RECOMENDACIONES

Luego de haber realizado esta investigación y de obtener resultados provenientes de una serie de análisis de laboratorio, se puede recomendar lo siguiente:

- Se recomienda el lavado previo a los residuos mineros en estudio por ser de mucha ayuda para evitar cualquier daño en la realización del hormigón.
- El uso que se le vaya aplicar el hormigón con residuos de extracciones mineras sería conveniente la utilización de aditivos para los casos en que se requiera mejorar la trabajabilidad.
- El uso de árido procedente de residuo mineral para fabricar concreto y sustituir al natural es una práctica que debe empezar a realizarse. Para de esta manera minimizar las millones de toneladas de desechos que se genera.