

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

“INFLUENCIA DEL SIKA VISCOCRETE 5-800 SOBRE LA TRABAJABILIDAD EN MEZCLAS DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DEL RÍO CAMACHO CON RESISTENCIAS MAYORES A 350 Kgrs/cm²”.

1.1.- ANTECEDENTES.-

La historia del hormigón es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, a aplicado sus mayores esfuerzos para delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

En el campo de Ingeniería Civil es muy importante la precisión de la dosificación del Hormigón, y sobre todo el control de materiales del cual se va a utilizar al preparar el mismo, todo esto permite obtener una precisión de la resistencia buscada y conocer la influencia que el sika viscocrete tiene en el hormigón a su vez conocer las ventajas y desventajas del mismo.

Los aditivos son aquellas sustancias químicas o minerales que se agregan a las mezclas de cemento con la finalidad de modificar una o varias de sus propiedades. La Norma Bolivia NB 1000 define a los aditivos como “Sustancias o productos que incorporados al hormigón, mortero o pasta antes o durante el amasado y/o durante un amasado suplementario, en una proporción no mayor del 5% con relación al contenido de cemento (salvo casos especiales), producen la modificación deseada en dicho hormigón, mortero o pasta, en estado fresco y/o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento”. Los aditivos líquidos se agregan generalmente junto con el agua de amasado. Los aditivos en polvo, se mezclan junto con el cemento o el árido fino.

La clasificación de los aditivos, está basada en la función principal que ejercen sobre las propiedades o características de los hormigones, morteros o pastas, en estado fresco o endurecido.

Determinados aditivos pueden presentar, otras funciones secundarias o efectos secundarios, asociados a la función principal sobre una (s) determinada (s) característica (s) de los hormigones, morteros o pastas.

Para esto es muy importante saber elegir el cemento, materiales y el curado que den como resultado mayores resistencias con curados más eficientes, el material más importante es el cemento, obtener el mejor valor al apuntado es el objetivo principal, para la construcción de todo tipo de estructuras (Puentes, Pasarelas, Edificios, Represas, pavimento Rígido, etc.). Por este valor apuntado que se busca, es que se estudia la mejor elección de cementos, agregados y su curado óptimo tanto resistente como económicamente. Además se ve la necesidad de un estudio del uso del aditivo Sika Viscocrete en el hormigón que es un reductor de agua y a su vez hay un incremento en la resistencia del hormigón, también le da al hormigón una fluidez para una mejor trabajabilidad en obra.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.-

La necesidad de obtener hormigones de alta resistencia para obras de impacto y características estructurales especiales ya sean con gran cuantía de acero, poca accesibilidad, elementos esbeltos, hormigón a la vista como son (Puentes, Presas, Edificios, Pavimentos, Pasarelas, etc.). Estos se elaboran con rigurosos controles tanto en materiales, dosificación y curación, esto obtenido en laboratorio pero ya elaborado en campo se puede ver la necesidad de utilizar este tipo de aditivo.

En nuestro país y en nuestro departamento sin bien hay una evolución tecnológica, se ha incrementado las exigencias en el control de calidad de los materiales en la ejecución de obras civiles, todavía existe una carencia de conocimiento significativa en lo que se refiere a la búsqueda de nuevos tipos de hormigones que minimicen el costo de los materiales y ejecución de obras, nuevas aplicaciones, mejores rendimientos, mayor seguridad y durabilidad de obras civiles.

También se desea obtener con la investigación una noción clara de ventajas y desventajas tanto técnicas y económicas del uso de este aditivo.

Se desea obtener con esta investigación los efectos cualitativos y cuantitativos que produce el uso de este Aditivo Sika Viscocrete 5-800 en la mezcla del hormigón con materiales de la zona del río Camacho, sobre todo la característica sobresaliente y principal que es la trabajabilidad, esto debido a que este aditivo es un fluidificante autocompactante que no requiere vibración, que favorece al transporte en largas distancias del hormigón sin perder las características óptimas del hormigón al ser vaciado en obra.

Comprobar si la adición óptima de este aditivo al hormigón produce un asenso en la resistencia a la compresión, por su característica de fuerte reducción de agua y reducción de vacíos en el hormigón, así elegir el más eficiente porcentaje de reducción de agua, adicionalmente comprobar la variación del poco control en la elección del material y la importancia del curado del mismo.

Al tener los efectos cualitativo y cuantitativos que produce el uso de este aditivo Sika Viscocrete en la mezcla del hormigón con materiales de esta zona, verificar su variación en la resistencia, mejor control en la elección del material, la importancia del curado del mismo se puede obtener un hormigón de mayor resistencia y sin problemas del hormigón a la vista como, cangrejas, Burbujas de aire, etc. Todo esto para realizar obras con hormigones más resistentes que cumplan las especificaciones técnicas de la zona con este tipo de aditivos. Para luego trabajar a escalas de preparación de mezclas de hormigones mayores con base fundamentada.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto y sabiendo que es un tema actual y es uno de los primeros estudios de Hormigones con este tipo de aditivo y realizado con materiales de la zona en estudio, se desea hacer un aporte con esta investigación, con lo cual podre optimizar el uso de este aditivo conocer el comportamiento del hormigón, de esta manera obtener resultados adecuados para diversas aplicaciones, que puedan ser aplicadas en futuras obras civiles que se realicen en la vida profesional.

1.3.- HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.3.1.- HIPÓTESIS DEL TEMA.-

En esta investigación realizada en laboratorio se agrega al hormigón el aditivo Sika Viscocrete 5-800, apuntados a resistencias igual o más de 350 Kg./cm² para obtener resultados que nos permitan comprobar el mejoramiento de las características del hormigón, la fluidez, trabajabilidad, mayores resistencias y la cantidad de reducción óptima de agua en el hormigón.

1.3.2.- OBJETIVO GENERAL.-

El objetivo de esta investigación es comparar y hacer un análisis metodológico del proceso de elaboración de hormigón adicionando el aditivo Sika Viscocrete 5-800, obtener variación de la resistencias con la influencia sobre todo en la trabajabilidad, en la dosificación la cantidad de agua que éste necesita para obtener mayor resistencia, para esto se utiliza un reductor de agua como el Viscocrete con resistencias mayores a 350 Kgrs./cm².

1.3.3.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

- Caracterizar los materiales del lugar que se está explotando del cual proceden los agregados a utilizar en la investigación.
- Hacer una caracterización de los materiales que componen la mezcla del hormigón para así conocer mejor las propiedades de cada uno, ya que las condiciones de estos están ligadas directamente con la calidad que ofrecerá el hormigón.
- Conocer el comportamiento de las características del hormigón con este aditivo tanto cualitativamente y cuantitativamente.
- Realizar la dosificación y las mezclas correspondientes para obtener las probetas correspondientes.
- Afirmar o negar la veracidad de la hipótesis planteada en esta investigación.
- Determinar la cantidad óptima de agua que se puede reducir con este aditivo que es un reductor de agua, ver su mejoramiento en su trabajabilidad, el cual es importante y también su aumento de fluidez del concreto el cual es importante.
- Conocer las ventajas y desventajas del uso de este aditivo Sika Viscocrete para mezclas de hormigones a través de las resistencias obtenidas y del proceso al realizar dicha mezcla.
- Realizar esta investigación con un estudio en el mejor control de agregados y el curado.
- Realizar una evaluación estadística de los ensayos de compresión del hormigón para la valoración de los mismos.
- Realizar un análisis comparativo entre la resistencia a compresión sujeta a la cantidad de aditivo en el hormigón.
- Hacer una interpretación y una validación del análisis al que fue sometido el hormigón.
- Dar al Ingeniero una seguridad al elegir los materiales para obtener un hormigón de buena resistencia aplicado en obra.
- Llevar a cabo todos los ensayos y trabajos de laboratorio con una precisión que requiere la investigación.

1.4.- ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El planteamiento y realización de curvas, gráficas, representativas sobre la comparación de resistencias a la compresión de los hormigones, respecto a la caracterización y proporcionalidad de

sus componentes a través de un método comparativo. Este análisis nos servirá para entender mejor el comportamiento de los hormigones que contienen este aditivo y interpretar algunos fenómenos, tales como la fluidez, auto compactación, reducción de agua, además de justificar la elección de tema e indicar los distintos objetivos que se pretende alcanzar con la realización del tema de la investigación también se explica la metodología de la investigación del tema planteado como es el uso del aditivo Sika Viscocrete y su variación de la trabajabilidad.

Para la obtención de datos de resistencia a compresión se definirán parámetros de análisis y se realizarán mezclas de prueba que serán sometidas a ensayos de rotura que después de un control estadístico; dichos resultados serán objeto de un minucioso análisis.

1.4.1.- ALCANCE DESCRIPTIVO.-

Para poder realizar el análisis propuesto en el proyecto, se pretende abarcar primeramente una parte teórica sobre los hormigones en general y también de cada uno de los componentes, que nos sirven de base para dejar en claro cuáles son las principales características y propiedades que estos poseen y varían adicionando este aditivo a la mezcla de hormigón.

Por el conocimiento que se tiene acerca de los bancos de material más explotados y estudiados, se decidió por utilizar el agregado grueso (Grava) natural o de canto rodado del banco de material del “Río Camacho” que se encuentra en el Valle de Concepción y para el agregado fino (Arena), también se utilizó el mismo banco mencionado anteriormente. Para la elaboración de este hormigón de alta resistencia.

Se proyecta explicar y realizar todos los ensayos de laboratorio para la caracterización de cada uno de los materiales que integran la mezcla del hormigón de alta resistencia que se desea obtener. Para luego tabular todos estos resultados en planillas normalizadas, determinando el módulo de finura, peso específico, peso unitario, granulometría, absorción para los agregados grueso y fino.

En la caracterización de la mezclas de hormigón, apuntamos el proceso de obtención de la mezcla como también su puesta a prueba, comenzando por definir y realizar el método de dosificación, luego el procedimiento de elaboración adicionando el aditivo, el curado del hormigón y por último proceder a los ensayos de rotura a compresión en probetas.

Todos los datos obtenidos tanto de caracterización como la resistencia, trabajabilidad, fluidez y reducción de agua. Serán sometidos a un proceso de análisis estadístico para su valoración lo cual se verá reflejado en la obtención de curvas, planillas, gráficos comparativos, con dichas herramientas podremos estipular sus cualidades calidad del hormigón ante la resistencia a la compresión.

Es tal la importancia de determinar las curvas, planillas y gráficas comparativas. Correspondientes a los ensayos de rotura por compresión, ya que de esta manera podremos apreciar e identificar las variantes y elementos desequilibrantes entre cada tipo de mezcla que tiene distinto porcentaje de aditivo y reducción de agua, los cuales serán elementos de análisis comparativo al momento de determinar la relación o correlación que existe entre las resistencias a compresión obtenidas y las características como la trabajabilidad, reducción de agua al hormigón, fluidez, autocompactante, Etc.

Para la conclusión que desde principio se deseaba llegar a los resultados esperados de la variación al reducir el agua y el aumento del Sika Viscocrete, una verificación y también las recomendaciones que se deben realizar la obtención de un hormigón de alta resistencia, todo esto para la aplicación en campo y de cantidades más mayores de hormigón, obtener la mejor eficiencia en la dosificación y la elección de los mejores materiales para la obtención de un hormigón de resistencia lo más exacta posible.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DE LOS HORMIGONES CONVENCIONALES

2.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL HORMIGÓN

En estos últimos tiempos se realizan investigaciones más precisas del Hormigón en Bolivia porque con la generación de divisas por las ventas del gas, los gobiernos realizan más inversión en estructuras que son totalmente delicadas, por lo que evaluar la calidad del Hormigón para hacer comparaciones de los materiales y obtener variación de la resistencias con la influencia materiales de diferentes zonas, sobre todo en la dosificación la cantidad de agua que este necesita para obtener mayor resistencia, para esto se utiliza un reductor de agua como el Viscocrete que es el principal objetivo de este estudio, como también tener datos reales para elaborar un hormigón más preciso y realizar en lo posterior controles de calidad al utilizar este tipo de aditivo como el Sika Viscocrete.

Complementando un estudio más profundo se ve la necesidad de hacer una comparación del hormigón con y sin el aditivo anteriormente mencionado. El material en estudio es del río Camacho en el hormigón para obtener las variaciones que influyen en la trabajabilidad del Hormigón.

La historia del hormigón es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos para delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa) para unir bloques y lozas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron

los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aún actualmente se lo conoce como pozoluona. Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, conducen a principios del siglo pasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de los procedimientos del tiempo actual.

El nombre del cemento Pórtland le fue dado por la similitud que éste tenía con la piedra de la isla de Pórtland del canal inglés. La aparición de este cemento y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente. Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del más alto rango de tamaño y variedades dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza dónde realizar los más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

- **Siglos IX al XVII:** Revive el arte de preparar mortero con las técnicas usadas por los romanos y griegos. Se reconoce el valor de la arcilla sobre las propiedades hidráulicas de la cal.
- **Siglo XVIII:** John Smeaton, un ingeniero Inglés, encuentra las proporciones para el cemento. Aparecen los primeros concretos y L. J. Vicat prepara una cal hidráulica al calcinar una mezcla de creta y arcilla molida en forma de lodo (nace el método húmedo).
- **1824:** James Parker y Joseph Aspdin obtiene la primera patente Británica para producir Cemento Pórtland por medio de un proceso de pasta (método húmedo).
- **1845:** Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado, alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker".
- **1873:** Se construye el primer puente haciendo uso de concreto.
- **1876:** El Ing. Mazas aplica por primera vez el cálculo de los elementos de concreto, fundamentando las bases de las resistencias de materiales.
- **1877:** Se funda la primera asociación para fijar especificaciones del Cemento Pórtland en Alemania para controlar la calidad del producto.
- **1890:** Se introduce el yeso como retardante del fraguado y se utilizan altas temperaturas para obtener silicatos con alto contenido de óxido de calcio.

- **1904:** Se funda la Institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Pórtland por la American Society for Testing Materials (A. S. T. M.) y comienzan las investigaciones sobre las propiedades del cemento en una base científica y sistemática.

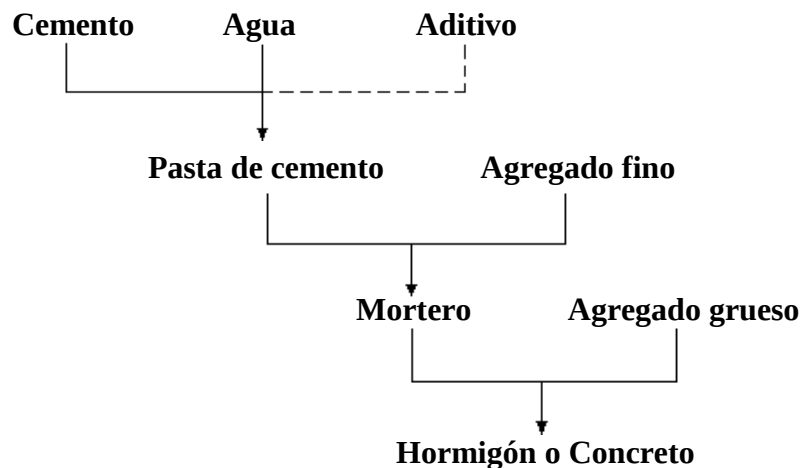
- **Siglo XX:** Las pruebas básicas del cemento son estandarizadas.

2.1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HORMIGONES

El hormigón, o concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Fig. 2.1

Fig. 2.1

Esquema de Integración del Hormigón



- **Ligantes:** - Cemento

- Agua

- **Agregados:** - Agregado fino (Arena)

- Agregado grueso (Grava Natural, etc.)

- **Aditivo:** - Sika Viscocrete

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de hormigón, se introduce de manera simultánea a un quinto participante representado por el aire.

El principal componente del hormigón es el Cemento “El Puente” Alta Resistencia (Tipo IP-40), el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión. El cemento es producido por el hombre y proviene de la calcinación de rocas calizas y arcilla, El segundo componente, el agua, ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento por medio de complejas reacciones químicas. El tercer componente, los agregados, ocupan entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla. Son esencialmente materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que por conveniencia han sido separados en fracciones finas (arenas) y fracciones gruesas (gravas). En general, provienen de las rocas naturales.

Con frecuencia se añaden aditivos a la mezcla con objeto de mejorar una o más propiedades del hormigón, tales como acelerar, retardar, mejorar trabajabilidad, reducir requerimientos de agua, incrementar resistencia, o alterar otras propiedades. Finalmente el hormigón también contiene alguna cantidad de aire atrapado (usualmente entre 1% y 3% del volumen de la mezcla) y puede contener aire incluido intencionalmente (entre 1% y 8% del volumen de la mezcla) lo cual se logra con el uso de aditivos o con cementos que tengan agentes inclusores de aire.

Si la mezcla no contiene un aditivo que lo fomente, el aire se presenta en forma de burbujas macroscópicas dispersas erráticamente en la masa, que corresponden al aire atrapado cuya proporción no excede normalmente a 2% del volumen del hormigón compactado.

Cuando en el concreto se provoca la formación de aire mediante un aditivo, se dice que contiene aire incluido intencionalmente con el propósito de inducirle determinadas propiedades deseables. A diferencia del anterior, el aire incluido adopta la forma de pequeñas burbujas, casi microscópicas y sensiblemente esféricas, que se distribuyen uniformemente en la masa y representan una proporción que suele fluctuar entre tres y ocho por ciento del volumen del hormigón, dependiendo del tamaño máximo del agregado.

La mezcla íntima de los componentes del hormigón convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el hormigón endurecido. La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el hormigón ya endurecido.

Fig. 2.2.

Dispersión de los Agregados en el Hormigón Endurecido



Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- 1) las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- 2) la calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- 3) la afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente, y por largo tiempo, los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del hormigón, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

2.2 MATERIALES COMPONENTES EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES

2.2.1 AGUA

2.2.1.1 Agua utilizada en el presente trabajo

El agua utilizada en este trabajo de investigación, tanto en la preparación de especímenes y en su respectivo curado, fue agua potable, procedente de la red de agua potable de la ciudad de Tarija, concretamente de la zona de El Tejar y El Barrio San Bernardo cuyas características mismas que corresponden a la información proporcionada por el departamento técnico de COSAALT.

2.2.2 ÁRIDOS

Como áridos o agregados para la confección de hormigones son empleadas arenas y gravas naturales del río Camacho, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla de concreto.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas, Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. No deben emplearse áridos que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas.

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a **tracción**, y en general en una mayor resistencia química.

Al emplear árido rodado suelto se tiene la garantía de que se trata de piedras duras y limpias, salvo contaminación de la gravera. Pero si se encuentra mezclado con arcilla es imprescindible lavarlo, para eliminar la camisa que envuelve a los granos y que haría disminuir grandemente su adherencia con la pasta. Este lavado debe ser enérgico, realizado con máquinas de lavar, no sirviendo de nada el simple rociado en obra. Análogamente, el árido machacado debe estar desprovisto del polvo de machaqueo, que supone un incremento de finos en el hormigón y, por tanto, mayor cantidad de agua de amasado, menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades.

Los áridos se oponen a la retracción del hormigón, tanto más cuanto más resistentes son. En general, la retracción disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo del árido. Los áridos silíceos proporcionan un coeficiente de dilatación lineal al hormigón algo más elevado que los calizos, ya que los coeficientes valen de 12 a 13 millonésimas para el

cuarzo y de 7 a 12 para las calizas. El de la escoria siderúrgica, que se emplea a veces como árido artificial, vale alrededor de 9 millonésimas.

2.2.2.1 Clasificación de los agregados

Los agregados naturales se clasifican en:

- Agregados finos: arena fina y arena gruesa
- Agregados gruesos: grava y piedra

Se define como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasen el tamiz de 9,5 mm. (3/8"), abarca nominalmente partículas entre 0,075 (Nº 200 s/g ASTM C-33) a 4,75 mm. (Nº 4 s/g ASTM C-33); y como agregado grueso al material comprendido entre el tamiz de 4,75 mm. (Nº 4) hasta la dimensión de los fragmentos más grandes que contiene, cuya magnitud define el tamaño máximo del agregado en cada caso.

2.2.2.1.1 Agregado grueso (grava)

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes del machaqueo. Las buenas calizas no son rayadas por la navaja, la cual deja tan sólo un ligero trazo sobre su superficie (densidad mayor de 2,6 y resistencia mayor de 1000 kp/cm²). Las que son rayadas por el latón (densidad menor de 2,3 y resistencia menor de 500 kp/cm²) caen fuera de lo admisible. Entre ambas se colocan las que no son rayadas por el bronce. En todos los casos deben realizarse la prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco.

2.2.2.1.2 Agregado fino (arena)

Es el árido de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición. Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas. Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo, en pavimentos) deben confeccionarse con arena silícea, al menos en un 30 por 100 de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es siempre necesario tenerla en cuenta.

2.2.2.1.3 Resistencia a la compresión.-

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

Las posibles fallas de los granos se deben a que tienen una estructura pobre o porque previamente se han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación o también por el inadecuado proceso de trituración. Cuando se presentan dudas acerca de la resistencia de los granos, se recomienda ensayarlas.

2.2.2.1.4 Resistencia a la Abrasión.-

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables.

En términos generales, la abrasión se produce en los siguientes casos: a) Manipuleo del material previo a la fabricación del concreto, b) Pavimentos y pisos industriales y c) En obras hidráulicas por el arrastre de partículas que fluye velozmente en contacto con el concreto. Las especificaciones de uso común (ASTM C33) establecen una pérdida máxima

permisible de 50 por ciento mediante el ensayo que se lleva a cabo en la máquina de Los Ángeles.

2.2.2.1.5 Forma y textura Superficial.-

La forma y la textura superficial de los fragmentos que constituyen los agregados, son características que normalmente no se consideran representativas de la calidad intrínseca de la roca propiamente dicha. Estas dos características influyen fundamentalmente en el comportamiento del concreto, manejabilidad en el concreto fresco y adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido.

En términos prácticos, la textura superficial del agregado se la identifica con su grado de rugosidad o tersura superficial, y así se dice que hay texturas ásperas, porosas, acanaladas, lisas, etc. Para juzgar la forma de las partículas el Comité ACI 207 recomienda no exceder de 20 por ciento de planas y alargadas en el total del agregado.

2.2.2.1.6 Tamaño Máximo del Agregado.-

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es importante distinguir entre tamaño máximo efectivo y tamaño máximo nominal. El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de este tamaño es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular. En general se dirá que el tamaño máximo nominal, está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso.

LA NORMA BOLIVIANA DEL HORMIGÓN CBH-87, especifica que el 90% en peso del árido grueso será de tamaño inferior a la menor de las dimensiones siguientes:

- Los cinco sextos de la distancia horizontal libre entre armaduras independiente.
- La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza que es hormigonada.

- Un tercio de la anchura libre de los nervios de los entrepisos.
- Un medio del espesor mínimo de la losa superior en los entrepisos

2.2.2.1.7 Resistencia a los Sulfatos

Es la resistencia que ofrece el agregado ante el desgaste y la desintegración, debido a la presencia de sulfatos de sodio o magnesio, en el agua o en el medio en el que se encuentren dichos agregados. Es un parámetro muy útil para juzgar la solidez de los agregados sujetos a la acción de la meteorización.

El Servicio Nacional de Caminos tiene una exigencia en cuanto a la durabilidad que debe presentar el agregado grueso hacia la acción de los sulfatos de sodio, siendo esta norma un límite máximo de desgaste del 10%, aplicando el método de ensayo AASHTO T-104 (Apartado 3.2.4).

2.2.3 CEMENTO “EL PUENTE” ALTA RESISTENCIA (Tipo IP-40)

2.2.3.1 Definición

Se llama Cemento El Puente Alta Resistencia (Tipo IP-40), al producto que se obtiene de la pulverización del producto llamado clinker, procedente de la calcinación hasta fusión incipiente de una mezcla íntima en proporciones adecuadas de materiales calcáreos y arcillosos, sin más adición que el yeso, a una temperatura de 1400° C a 1500° C. El clinker consiste esencialmente de silicato de calcio hidráulico, usualmente conteniendo uno o más formas de sulfato de calcio.

Características físicas y mecánicas del Cemento El Puente Alta Resistencia (Tipo IP-40) recomendado para aplicaciones que requieran elevados valores de resistencias y finales como ser:

- * Pretensazos
- * Postensados
- * Pavimento Rígido

* Hormigón Proyectado

- Fraguado

El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. El fraguado inicial, comienza en un período relativamente corto (> 45 a 60 min.) y ocurre cuando la masa empieza a perder plasticidad; el fraguado final, ocurre cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un bloque rígido (generalmente menor a 12 horas). Para ensayos de principio a fin del fraguado se usa el aparato de Vicat, sobre la llamada pasta de consistencia normal que sirve para la recepción del cemento Pórtland.

- Expansión

La expansión puede medirse por el método del autoclave o el de las agujas de Le Chatelier, el primero es utilizado en EE.UU. y el segundo en Europa.

La expansión de cualquier cemento según el pliego RC-88, no debe ser superior a 10 mm.

- Resistencias mecánicas

Como resistencia de un cemento se entiende la de un mortero normalizado, amasado con arena de características y granulometría determinada, con relación agua/cemento igual a 0,5, mortero que es ensayado en probetas normalizadas y rotas normalmente a los 2, 7 y 28 días y expresado en Mpa, Kg./cm², etc.

La resistencia del cemento influye decisivamente en la resistencia del concreto, por lo que, cuanto mayor sea la resistencia de éste, tanto mayor será la del concreto. Esta característica no es la única que debe buscarse, pues en ocasiones resulta buscar otras propiedades que pueden ser de mayor importancia que la resistencia; así por ejemplo: la durabilidad del concreto.

2.2.3.2 Producción y disponibilidad de cementos en Tarija.-

En Bolivia, en la actualidad, se cuenta con las siguientes fábricas que se dedican a la producción del cemento: FANCESA (Sucre), VIACHA (La Paz), WARNES (Santa Cruz), EL PUENTE (Tarija), SOBOCE (Cochabamba) y EMSA (Oruro).

En el mercado local (Tarija) la disponibilidad de cementos se reduce a los siguientes: Cemento El PUENTE, Cemento FANCESA y otros cementos de procedencia Argentina (LOMA NEGRA).

Dados los objetivos del presente trabajo de investigación, el cemento que se utilizará para el efecto será el Cemento EL PUENTE IP-40, ~~AAAA~~® a la calidad y disponibilidad de información acerca de las características del mismo.

2.2.4 ADITIVO SIKA VISCOCRETE 5-800.-

2.2.4.1 Definición

Sika ViscoCrete 5-800 pertenece a la generación de aditivos súper plastificantes a base de policarboxilatos modificados.

2.2.4.2 Usos

- Hormigones en tiempos calurosos y/o transporte a largas distancias.
- Hormigones donde se requiera fuerte reducción de agua o altísimas resistencias mecánicas. Mínima exudación.
- Hormigones autocompactante, colocado por bombeo, colocado directamente o por intermedio de tolvas.
- Colocación de hormigones en sitios con gran cuantía de acero o poca accesibles.
- Hormigonado de elementos esbeltos y formas complicada. Hormigón a la vista.



2.2.4.3 Ventajas

- **Sika Viscocrete 5-800 – hormigón Autocompactante** es un concepto revolucionario para producir hormigón extremadamente fluido y cohesivo a la vez. Estas propiedades junto a la no segregación permiten una gran trabajabilidad.

- Con **Sika Viscocrete 5-800** se puede obtener hormigones muy fáciles de vaciar y que no requieren vibración. Hormigón Autocompactante.

En Hormigón Fresco:

- Trabajabilidad sobresaliente.
- Elevada fluidez debido a la óptima combinación de polímeros.
- Con diseños de mezcla apropiados, se pueden obtener superficies totalmente lisas y uniforme, especialmente cuando hay detalles complejos.

En Hormigón Endurecido:

- Máxima densidad debido a fuerte reducción de agua.
- Alta resistencia debido a la reducción de vacíos.
- Bajísima permeabilidad con la consecuente altísima durabilidad.
- Mínima contracción debido al bajo contenido de agua.
- Debido a la baja porosidad el avance de un frente de carbonatación y el ingreso de agentes químicos agresivos son muy lentos.

2.2.4.4 Normas

Cumple los requisitos para superplastificantes de acuerdo a:

- Norma SIA – Suiza.
- pr EN 934 – 2 – Norma Europea.



2.2.4.5 Datos Básicos

Color, Almacenamiento y Presentación

Líquido, Café Claro. Tiempo de almacenamiento según indicaciones en los envases, siempre y cuando se mantengan los mismos en sitios frescos y bajo techo, conservando el producto en los envases originales bien cerrados. Tineta 22 Kg. Tambor 200 Kg. Envase 1100Kg.

2.2.4.6 Datos Técnicos

Densidad 1,06 +- 0,05 Kg. /dm³

Valor PH 6,5 +- 0,5

2.2.4.7 Aplicación

Consumo 0,5 – 2,0 % del peso del cemento.

Método de Aplicación

- Preferentemente se utilizan agregados con un Tamaño Máximo Nominal (TMN), entre 12 a 20 mm. En función de la estructura a vaciarse se pueden también utilizar otros tamaños.
- El contenido de finos, que deberá incluir finos $\leq 0,12\text{mm}$. (malla 200), dependerá del Tamaño Máximo Nominal y consiguientemente de la función del elemento. Este contenido que es generalmente mucho mas alto que en los hormigones convencionales, incluye al cemento, los finos de la arena y adiciones como microsilice o puzolana.



Ejemplo referencial, de un contenido típico de finos

(TMN)

0/4 mm. $\geq 650 \text{ Kg/m}^3$

0/8 mm. $\geq 550 \text{ Kg/m}^3$

0/16 mm.	$\geq 500 \text{ Kg/m}^3$
0/32 mm.	$\geq 475 \text{ Kg/m}^3$

- El contenido del cemento dependerá de las superficies requeridas, el “tamaño máximo nominal” y contenido de finos.

2.2.4.6 Instrucciones de Seguridad

Precauciones de Manipulación

Durante la manipulación de cualquier tipo de producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias.

Se recomienda protegerse utilizando guantes de goma y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y a un especialista.

A la vez se recomienda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.

Ecología

No disponer el producto en el suelo o cursos de agua sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información solicite la hoja de seguridad del producto.

Advertencia

Las indicaciones que anteceden están basadas en ensayos que consideramos seguros y son correctas de acuerdo a nuestra experiencia. Sin embargo no pudieron controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

Aconsejamos al usuario determinar previamente si estos son apropiados para el uso particular propuesto. Nos reservamos el derecho efectuar cambios a fin de adaptar nuestros productos a los niveles mas altos de la tecnología.



2.3.1 POR SU CONSISTENCIA

La consistencia es una medida indirecta de la trabajabilidad de una mezcla de concreto y se mide por medio del ensayo de asentamiento. De acuerdo a esto el concreto se puede clasificar por su trabajabilidad tal como lo muestra.

Tabla 2.1

Clasificación del Concreto por su Consistencia

ASENTA- MIENTO (cm)	CONSISTENCIA TIPO DE CONCRETO	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACION
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas de pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y contruidos con máquina extrusora, Construcción en masas voluminosas.
3,5 - 5,0	Semi-seca	Pequeño	Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Fluida	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimientos de túneles. No recomendable para compactarlo demasiado.

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

2.3.2 POR SU RESISTENCIA

2.3.2.1 Por su resistencia a compresión

Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión a los 28 días, el concreto se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 2.2

Clasificación por su Resistencia a Compresión “General o Internacional”

Tipo de Concreto	Resistencia Kg/cm²
Concreto normal	140 a 350
Concreto de alta resistencia	350 a 1000
Concreto de ultra alta resistencia	superior a 1000

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

Tabla 2.3

Clasificación del H° por su Resistencia a Compresión

Tipo de Concreto	Resistencia Kg/cm²
H° “400”	400
H° “350”	350
Tipo “A”	210
Tipo “B”	180
Tipo “C”	160
Tipo “D”	130
Tipo “E”	110

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

Tabla 2.4

Clasificación del H° por su Resistencia a Compresión

Grado	Resistencia kg/cm²
H 5	50
H 10	100
H 15	150
H 20	200
H 25	250
H 30	300
H 35	350
H 40	400
H 45	450
H 50	500

Fuente: “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción INN - NCh 170”

2.3.3 POR SU PESO UNITARIO (PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN).-

La clasificación de los hormigones según su peso unitario o peso por unidad de volumen se da de la siguiente manera:

Tabla 2.5

Clasificación del H° por su Peso Unitario

Tipo de Concreto	Peso unitario Kg/m³
Concreto de peso liviano	menor a 2000
Concreto de peso normal	2000 a 2600
Concreto de peso pesado	mayor a 2600

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

2.4 PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES

Las propiedades que presenta el hormigón, en estado fresco y endurecido difieren una de otra, de igual forma los fenómenos como la retracción, la temperatura, características mecánicas, reológicas y durabilidad del hormigón; es por esta razón se va a indicar y detallar las mismas de forma general (por no ser el centro de nuestro estudio) puesto que son de suma importancia en el momento de producir dicho material, y así se incurra en errores que a la larga o corto plazo serían perjudiciales para la función específica que cumplirá.

2.4.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres fases. La sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Entre las propiedades del hormigón fresco se puede citar, como más importantes, la consistencia, la docilidad, la homogeneidad y el peso específico.

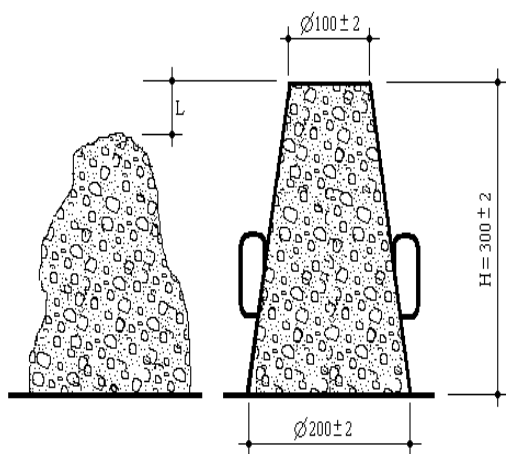
2.4.1.1 Trabajabilidad y Consistencia

Es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Varía por varios factores: Cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos; el que más influye es la cantidad de agua de amasado. Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo el cono de Abrams uno de los más usados y prácticos:

- **El cono de Abrams** es un molde troncocónico de 30 cm. de altura (Fig. 2.3) que se rellena con el hormigón a ensayar. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Fig. 2.3

Prueba de Asentamiento con el Cono de Abrams



En ningún procedimiento para determinación de la consistencia del hormigón deben usarse tamaños de árido superiores a 40 mm. en cuyo caso es necesario cribar previamente por el cedazo de dicha abertura y prescindir del material retenido. Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos, como se indica en la tabla 2.16. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado.

Tabla 2.6

Consistencia de los Hormigones

Consistencia		Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca	(S)	0 a 2
Plástica	(P)	3 a 5
Blanda	(B)	6 a 9
Fluida	(F)	10 a 15
Líquida	(L)	≥ 16

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

2.4.2 PROCESO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

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

La Norma Americana ASTM C-403 adoptó el de la resistencia a la penetración. Esta prueba es similar a la efectuada con la aguja vicat, y consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado a través de la malla de 4,76 mm. (Nº 4) de una porción de concreto fresco. Se somete a penetración durante un período de varias horas a una profundidad de 25mm con agujas de punta plana cuyas áreas varían entre 16 y 645 mm². Con la fuerza de penetración, el área de la aguja y el tiempo en el que se hace la medición y se dibuja una curva. De dicha curva, se toma como tiempo de fraguado inicial aquel cuya resistencia a la penetración es de 35 Kg./cm² y como tiempo de fraguado final aquel que alcanza un valor de 280 Kg./cm². Una vez que se obtiene el fraguado final, se dice que comienza el endurecimiento.

2.4.3 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Estudiaremos en este apartado, el peso específico, la compacidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste.

2.4.3.1 Peso específico.-

El peso específico del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado.

El peso específico del hormigón será tanto mayor cuanto mayor sea el de los áridos utilizados y la mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de peso específico del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor $2,3 \text{ t/m}^3$ para los hormigones en masa y $2,5 \text{ t/m}^3$ para los armados. Los valores indicados corresponden a hormigones normales. Los hormigones pesados, fabricados con áridos de barita o metálicos, tienen densidades de $3,0$ a $3,5 \text{ t/m}^3$ y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiación.

Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez u otros áridos de pequeño peso específico, tienen densidades del orden de $1,3 \text{ t/m}^3$ incluso inferiores a la unidad.

2.4.3.2 Permeabilidad.-

Los factores que influyen en la permeabilidad son las formas que el agua puede entrar al hormigón ya sea por presión y por capilaridad. El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad; mientras que para una relación agua/cemento igual a $0,5$ el factor de permeabilidad es aproximadamente 15 , para $0,8$ es alrededor de 450 , o sea, treinta veces mayor.

Medir la permeabilidad en un hormigón es un problema difícil, que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen diversos métodos, unos dedicados a la permeabilidad bajo presión y otros a la permeabilidad por succión (absorción)

Las medidas se efectúan por diferencia de pesada, o por el tiempo requerido para que el agua atraviese de una cara a otra, o por medición de superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc. Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón.

Por otra parte, los ensayos sólo pueden efectuarse sobre probetas obtenidas in situ del hormigón endurecido, no sirviendo de nada utilizar probetas enmoldadas, que nunca son representativas desde el punto de vista de la permeabilidad.

Existen distintos procedimientos para aumentar la impermeabilidad de un hormigón. En todos ellos es imprescindible partir de un hormigón muy compacto. Aparte del empleo de impermeabilizantes de masa o de superficie, cabe aplicar recubrimientos a base de chapas metálicas, filtro asfaltado, etc., o simplemente, enlucir la superficie con un buen mortero de cemento, de 10 a 20 mm. de espesor.

Todo lo dicho, que se refiere a la permeabilidad al agua, puede aplicarse igualmente a la permeabilidad al aire, característica que interesa en hormigones para protección contra radiaciones nucleares.

Este problema ha sido objeto de estudios experimentales diversos, entre otros del Instituto Eduardo Torroja.

2.4.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

2.4.4.1 Resistencia a compresión y característica del hormigón

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas. Ahora bien, los valores de ensayos que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El problema puede plantearse así: dados n resultados obtenidos al ensayar a compresión simple n probetas cilíndricas 15 x 30 cm. de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y por consiguiente, del propio hormigón.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f_{cm} de los n valores de roturas, llamada resistencia media. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

Si se tiene dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda de que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es que, el adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado modernamente el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta

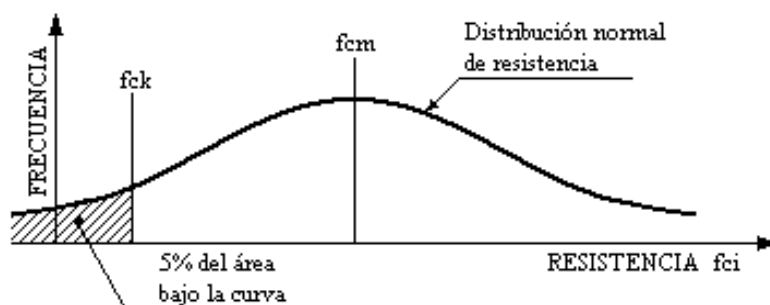
no sólo el valor de la media aritmética f_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación δ , de la serie de valores.

a) Se define, como resistencia característica f_{ck} , del hormigón a aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal (Fig. 2.5), la resistencia característica viene dada por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1.64\delta) \quad (2.1)$$

Fig. 2.4

Definición de Resistencia Característica (f_{ck})



Donde f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (2.2)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad (2.3)$$

No debe confundirse la expresión dada para f_{ck} , que es una definición (válida para $n = \infty$), con los estimadores de la resistencia característica, que se emplean para aceptar o rechazar un hormigón determinado en obra, a partir de un número relativamente pequeño de determinaciones.

b) El valor del coeficiente de variación δ depende de las condiciones de ejecución del hormigón. Para los hormigones fabricados en central el coeficiente de variación suele

oscilar entre 0,08 y 0,20, según la calidad de la planta. Un coeficiente de variación superior a 0,20 es propio de los hormigones fabricados a mano o en pequeñas hormigoneras de obra, los cuales no son aconsejables salvo para obras de pequeña importancia.

c) El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15 x 30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico. Siempre que se hable, en esta obra, de resistencia característica, se refiere a la primera definición, salvo advertencia en contrario.

d) Cuando se trata de soportes, muros y, en general, de piezas de pequeña sección que se hormigonan verticalmente de una sola vez, existe un efecto de refluxión de mortero hacia la parte superior durante la compactación del hormigón, el cual queda mejor consolidado en la base (debido al peso de la masa fresca que gravita sobre ella) y más debilitado en su tercio más alto. En consecuencia, el valor de la resistencia característica del hormigón de soportes puede estimarse en el 90 por 100 del valor f_{ck} que corresponde a probetas enmoldadas, las cuales son representativas del hormigón de la base pero no del hormigón del tercio superior. Por lo dicho, cuando se trata de soportes o muros de pequeña sección, resulta prudente afectar la resistencia de cálculo del hormigón de un coeficiente 0,9 aún cuando las normas no obligan a ello. Como es natural, este efecto no se produce en soportes prefabricados, que se hormigonan en horizontal.

e) El Código Modelo *CEB-FIP 90* tipifica los hormigones, con arreglo a su resistencia característica, según la serie: 12, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80

Donde las resistencias se expresan en N/mm^2 (MPa). Por su parte, la Instrucción española recomienda utilizar la serie: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

Añadiendo que el empleo de la resistencia 20 se limita a hormigones en masa (dicho de otro modo, que la resistencia mínima empleable en hormigón armado es 25 N/mm^2). Con esta limitación se pretende asegurar una mayor durabilidad de las estructuras de hormigón.

a) En definitiva, los valores recomendables de f_{ck} son 25 y 30 N/mm² para estructuras de edificación, reservándose los restantes valores de la serie para obras civiles, obras de hormigón pretensado y prefabricación.

2.4.4.2 Factores que inciden en la resistencia del hormigón

Entre los factores que inciden en la resistencia de concreto se definirán los siguientes:

a) Relación agua/cemento

En general, el factor más importante en la resistencia de un concreto totalmente compactado es la relación agua/cemento (a/c), y matemáticamente se lo expresa así:

$$r = \frac{a}{c} \quad (2.6)$$

Entre mayor es el contenido de agua de mezclado, mayor es la cantidad de agua que no se combina con el cemento, y por consiguiente, al disiparse la parte de agua evaporable la pasta será más porosa y la resistencia del concreto disminuye.

Esta propiedad fue demostrada por Duff Abrams en el año 1918, señalando que para un concreto perfectamente compactado, empleando materiales con las mismas características y condiciones de ensayo, la resistencia a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua/cemento. Dicha Ley se expresó matemáticamente en forma logarítmica de la siguiente manera:

$$R = \frac{A}{B^r} \quad (2.7)$$

Donde, R es la resistencia, r la relación agua/cemento y A y B son coeficientes numéricos que dependen de la calidad de los materiales, edad del concreto, sistema de curado, condiciones de ensayo, etc.

b) Cantidad de cemento

Generalmente se cumple que a mayor contenido de cemento se consiguen mayores resistencias. Dicha afirmación tiene su límite ya que se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento y con un contenido de cemento muy alto (superior a

470 Kg/m³), en la resistencia surge una disminución, en especial cuando se utiliza agregado de gran tamaño. Este comportamiento se debe a los esfuerzos inducidos por la contracción, que al ser obstruida por las partículas de agregado, causa agrietamiento de la pasta o una pérdida de adherencia entre el cemento y el agregado.

c) Características de los agregados

En general, se puede decir, que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman concreto más resistentes que otros redondeados o lisos debido a que hay mayor trabazón entre los granos gruesos y el mortero; sin embargo, para igual contenido de cemento, los primeros exigen mayor cantidad de agua para lograr una determinada manejabilidad y por ello el efecto neto sobre la resistencia no varía en forma apreciable

Una masa de agregados cuya granulometría sea continua, permite elaborar mezclas de alta compacidad, mucho más densos y por lo tanto se consiguen mayores resistencias. La resistencia y rigidez propia de los granos de agregado también influyen en la resistencia del concreto. Esto se debe a que un agregado muy poroso y de baja densidad, tiene menor resistencia que uno de alta resistencia y muy denso.

d) Tamaño máximo del agregado

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien gradado, tienen dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del concreto. En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños máximos mayores requieren menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor.

En particular, se ha logrado demostrar que para concretos de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima. Asimismo, para concretos de baja resistencia, mientras mayor sea el tamaño máximo, mayor será la eficiencia.

e) Agua

El agua es un elemento que influye considerablemente en la resistencia del concreto. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto de donde, un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al concreto y luego se evapora durante el proceso de fraguado, por lo que deja poros interiores que reducen la resistencia del concreto. Por otro lado, el agua que se utiliza en el curado del concreto, es importante, debido a que ésta cumple la función de seguir hidratando al cemento después de que fragua éste, por lo que la escasez de aquella puede dar lugar a menores resistencias.

f) Influencia del fraguado del concreto

Las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado es otro de los factores que afectan la resistencia del concreto.

En climas fríos, el proceso de hidratación del cemento es más lento debido a que el medio ambiente le "roba" parte del calor de hidratación con el subsecuente retardo del tiempo de fraguado y, por lo tanto, la adquisición de resistencia se demora.

Por el contrario, cuando la temperatura es elevada, se aumenta la resistencia a muy temprana edad, pero se disminuye aproximadamente después de los 7 días. La razón es que una rápida hidratación inicial de los granos de cemento es superficial y parece formar una pasta con una estructura física más pobre y posiblemente más porosa.

g) Curado del concreto

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 en el curado es la 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.

h) Influencia de la edad del concreto

En la práctica, normalmente se especifica que el concreto alcanza la máxima resistencia a la compresión a la edad de 28 días. La explicación es porque de dicho tiempo el aumento de resistencia es muy poco.

Si se toma como base la resistencia máxima a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo es aproximadamente la que se indica en tabla 2.18.

Tabla 2.7
Incremento Aproximado Promedio de la Resistencia a la
Compresión del Concreto con el Tiempo

EDAD (días)	% RESISTENCIA CON RESPECTO A LA DE 28 DIAS
1	12
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125

Fuente: “Servicio Nacional de Caminos”

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis metodológico que se realizará en el presente proyecto adoptará un carácter principalmente de relación y comparación, entre el comportamiento del hormigón ante la resistencia a la compresión y las distintas variables o características de sus componentes ya sean dependientes o independientes.

Los parámetros de análisis para dicho estudio se definen cuidadosamente en el apartado, para posteriormente sacar conclusiones del análisis realizado y los resultados obtenidos.

Los resultados que uno desea obtener son la comprobación de la hipótesis para obtener una guía cuantitativa y cualitativa del uso de este aditivo en mezclas de hormigón para la realización de estructuras de hormigón cumplan con todas la especificaciones requeridas del hormigón para esta zona, el hormigón para obtener las variaciones que influyen en la resistencia del hormigón utilizando en la mezcla de este el aditivo SIKA VISCOCRETE como puentes, pavimento rígido, etc.

Para luego en la vida profesional trabajar con este tipo de aditivo pero ya no a una escala de laboratorio si no a grandes escalas que permitan realizar la mismas con una base de conocimiento por el uso de hormigón en todo tipo de estructuras especiales las cuales tienen que cumplir especificaciones más rigurosas por la importancia de las mismas y su delicadeza.

➤ ETAPA EXPERIMENTAL.-

Realización de la dosificación del hormigón introduciendo Aditivo Sika Viscocrete 5-800 a la mezcla de mismo seguido de sus curados y rotura con todos los cuidados posibles de la misma a los 7, 14 y 28 días para obtención de resultados reales a través de una metodología

Cuantitativa.- Que busca describir y explicar características externas generales como aspectos susceptibles de cuantificar como el asentamiento y la resistencia de la probetas para realizara las distintas comparación de valores.

- Formulación del Problema
- Fase exploratoria
- Diseño de la investigación
- Trabajo de campo
- Trabajo de gabinete
- Presentación de resultados

Cualitativa.- Que busca el estudio a fondo los fenómenos, comprenderlos como la ver la figuración de la probetas la trabajabilidad y fluidez del hormigón pueden ser producidas por el curado por agregados o la dosificación.

Aditivo

- Control del aditivo
- Aumento de Asentamiento de Hormigón con aditivo y sin el aumento de

Agua

- Verificación de mejoramiento en fluidez y trabajabilidad
- Verificación de mayor resistencia a la uso del aditivo al romper las Probeta
- Comprobación de las características de resistencia de los agregados de la

zona en estudio.

3.2.- VARIABLES

Para el presente estudio se partió de dos variables bien definidas, que son:

- Influencia del Sika Viscocrete adicionado al Hormigón
- Resistencia a la compresión del hormigón
- Reducción de Agua en el Hormigón
- Edad del hormigón

A partir de relacionar estas variables, podremos obtener gráficos consistentes en curvas ajustadas, que darán una idea real de cómo es el comportamiento del hormigón

y al tener una idea clara de dicho comportamiento, se podrá relacionarlo o compararlo con los parámetros de estudio definidos.

Se prefiere adoptar una metodología de relación y comparación por ser práctica y demostrativa, para así lograr un mejor entendimiento de cómo se comporta el hormigón ante el esfuerzo de Compresión.

3.3.- OBJETIVO GENERAL.-

El objetivo de esta investigación es comparar y hacer un análisis metodológico del proceso de elaboración de hormigón adicionando el aditivo Sika Viscocrete 5-800, obtener variación de la resistencias con la influencia sobre todo en la trabajabilidad, en la dosificación la cantidad de agua que éste necesita para obtener mayor resistencia, para esto se utiliza un reductor de agua como el Viscocrete con resistencias mayores a 350 Kgrs./cm².

3.4.- HIPÓTESIS DEL TEMA.-

En esta investigación realizada en laboratorio se agrega al hormigón el aditivo Sika Viscocrete 5-800, apuntados a resistencias igual o más de 350 Kg./cm² para obtener resultados que nos permitan comprobar el mejoramiento de las características del hormigón, la fluidez, trabajabilidad, mayores resistencias y la cantidad de reducción óptima de agua en el hormigón.

3.5.- CONTROL ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

La estadística, estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en tal análisis.

El uso de los diferentes métodos que nos proporciona la estadística es general, por lo que la rama de la Ingeniería Civil que es una ciencia en la que el profesional encargado de diseñar, construir, controlar la calidad de los materiales a utilizar en una determinada obra, no puede dejar de hacer uso de estos métodos, ya que los mismos le permiten contar con una herramienta de control y toma de decisiones.

En el presente trabajo de investigación, no se pretende describir ampliamente estos métodos; sino, se tratará de exponer en forma resumida algunas definiciones y métodos que se utilizarán en los siguientes capítulos y a su vez permitan interpretar correctamente los resultados y valores obtenidos en el presente trabajo.

3.5.1.- Relación entre variables

En los capítulos siguientes, dentro del proceso de análisis de los resultados, se encontrarán con frecuencia la relación existente entre dos variables, por ejemplo, datos de resistencia a la compresión del hormigón vs. Datos de edad del hormigón; Esto hace necesario que las mismas sean expresadas en forma matemática determinando una ecuación que conecte a las variables para una mayor interpretación de las mismas.

3.5.2.- Ajuste de curvas

Para hallar una ecuación que relacione las variables que se pretende estudiar, el primer paso es obtener los datos que muestren valores correspondientes a las variables bajo consideración. Así por ejemplo si se denota como “y” al valor de la resistencia obtenida en roturas de vigas de hormigón y como “x” a la edad correspondiente a una determinada mezcla de diseño, entonces la muestra de “n” vigas de hormigón revelaría las resistencias $y_1, y_2, \dots, y_n$ y las edades correspondientes $x_1, x_2, \dots, x_n$.

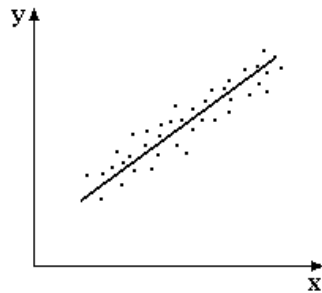
El próximo paso es marcar los puntos $(x_1, y_1); (x_2, y_2); (x_3, y_3)$ sobre un sistema de coordenadas rectangulares. El conjunto de puntos resultantes se llama a veces, un diagrama de dispersión.

A partir de un diagrama de dispersión es posible, visualizar una curva suave que aproxima los datos. Tal curva se llama curva aproximante. En la Fig. 3.1 por ejemplo, los datos parecen aproximarse bien a una línea recta, y se dice que hay una relación lineal. En la Fig. 3.2, sin embargo, aunque existe una relación entre las variables, no es lineal, y se dice que es una relación no lineal.

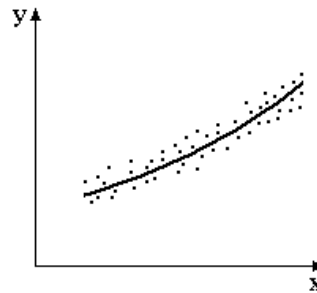
Fig. 3.1

Fig. 3.2

Aproximación Lineal



Aproximación no Lineal



3.5.3.- Ecuaciones de curvas aproximantes.-

Varios tipos comunes de curvas aproximantes y sus ecuaciones se presentan en la lista adjunta para facilitar posteriores referencias.

Todas las letras excepto la “x” e “y” representan constantes. Las variables “x” e “y” se llaman independiente y dependiente, respectivamente, aunque estos papeles se pueden intercambiar.

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1) $y = a + bx$ | Línea recta |
| 2) $y = a + bx + cx^2$ | Curva cuadrática |
| 3) $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ | Curva cúbica |
| 4) $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ | Curva cuadrática |
| 5) $y = ab^x$ | Curva exponencial |
| 6) $y = ax^b$ | Curva geométrica |
| 7) $y = a + b \ln(x)$ | Curva Logarítmica |
| 8) $y = a/b^x$ | Ley de Abrams |

De las ecuaciones de curvas presentadas, tienen particular importancia las ecuaciones 2 y 3, pero fundamentalmente se tratará de poner mayor interés en la ecuación N° 7 (Curva Logarítmica); en esta ecuación “y” representa “R”, que es la resistencia de las vigas de hormigón, “x” representa la edad del hormigón (Variables), a y b son parámetros o constantes a ser estimados.

3.6.- FASES DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1.- Selección de Materiales

Los materiales son de la zona del Río Camacho que se encuentra en el Valle tanto El agregado grueso y el agregado fino

3.6.2.- Selección del Aditivo

Los resultados que se desea obtener son la comprobación de la hipótesis para obtener datos tanto cuantitativos y cualitativos del uso de este aditivo en mezclas de hormigón para la realización de estructuras de hormigón cumplan con todas la especificaciones requeridas del hormigón para esta zona, el hormigón para obtener las variaciones que influyen en la resistencia del hormigón utilizando en la mezcla de este el aditivo Sika Viscocrete en puentes, pavimento rígido, etc.

3.6.3.- Aplicación

Luego en la vida profesional trabajar con este tipo de aditivo, pero ya no en un laboratorio si no utilizarlo en grandes escalas que permitan realizar la mismas con una base de conocimiento por el uso de hormigón en todo tipo de estructuras especiales, las cuales tienen que cumplir especificaciones más rigurosas por la importancia de las mismas y su delicadeza.

3.6.4.-Justificación

En la parte de introducción del proyecto, donde se justifica la importancia del tema en estudio y encierra conceptos importantes para tener un antecedente de investigación representativo, que aclare la verdadera idea de realización y alcance del presente trabajo.

3.6.5.-Ensayos de Laboratorio para la Mezcla

Se detallan todos los procedimientos que se siguen para la caracterización de los componentes del hormigón procedimientos que proporcionan datos imprescindibles para la posterior descripción y dosificación del hormigón. Contempla también los procedimientos realizados para la caracterización de las mezclas de hormigón. Es una descripción detallada de la forma correcta de obtención y los posteriores sometimientos para conocer su resistencia.

3.6.6.-Análisis de Resultados

Se pueden apreciar los resultados tabulados de resistencias del hormigón y se explica la metodología matemática y estadística empleada para lograr el análisis comparativo y la obtención de los gráficos propuestos. Se exponen de forma detallada las conclusiones y recomendaciones resultantes del análisis realizado.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA DE HORMIGÓN LUGAR DE LOS MATERIALES:

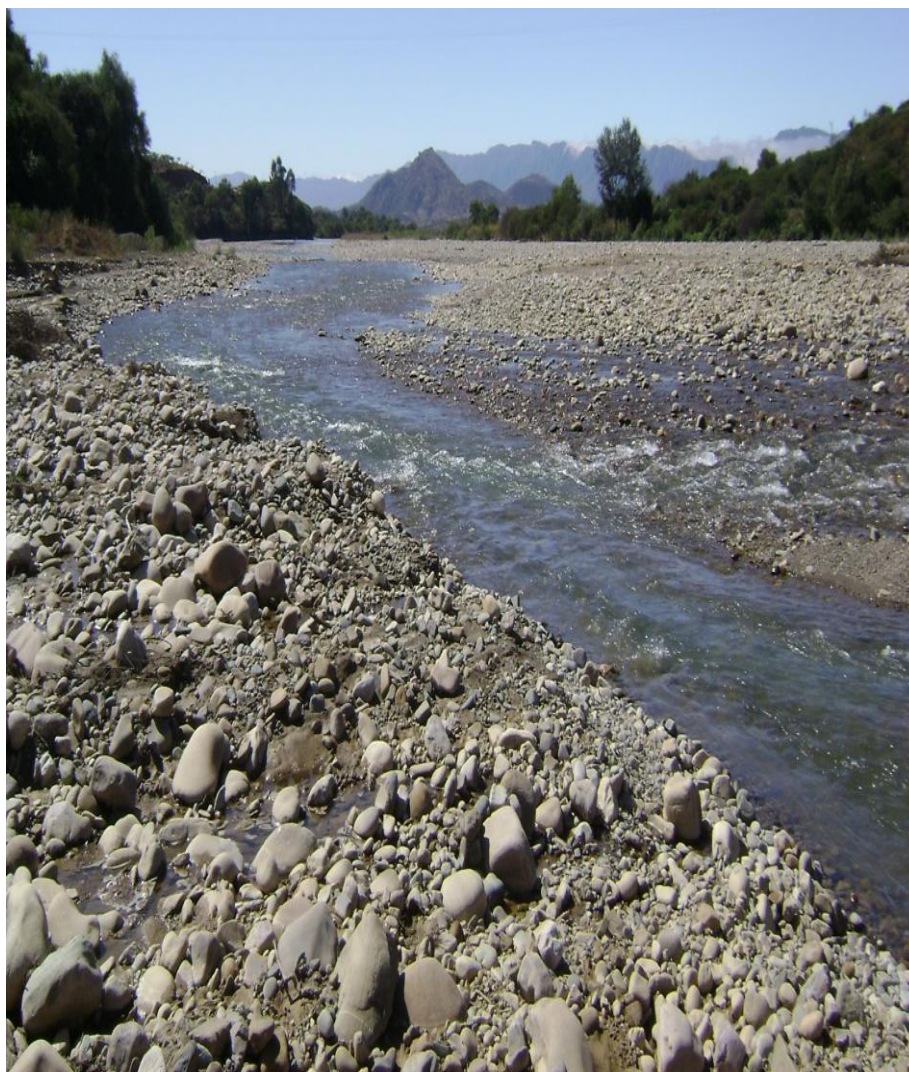


Fig. 4.1 Provenientes Agregado Grueso y Fino del Río Camacho

Los Agregados grueso y agregado fino son ambos del río Camacho lo cual facilitó el transporte de los mismo y son de muy buena calidad para realizar este tipo de hormigón el cual es para estructuras especiales.

4.1.- AGREGADO GRUESO

4.1.1.-GRANULOMETRÍA

- **Objetivo.-** Este ensayo tiene como principal objetivo el poder determinar el diámetro máximo de partículas y la distribución de tamaños en el agregado grueso, método que abarca un procedimiento de diferenciación de los tamaños, empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

- **Equipo**

- Balanza sensible a 0,1gramos.
- Juego de tamices: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4, tapa y base.
- Vibrador mecánico para tamices.
- 8 Recipientes.

- **Muestra**

- La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo
- El peso de la muestra para el ensayo deberá estar de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 4.1

Especificación de Magnitud de Muestra “Granulometría Grava”

Tamaño máximo de las partículas en pulgadas	Peso mínimo de la muestra en gramos
3/8"	1000
1/2"	2500
3/4"	5000
1"	10000
1 1/2"	15000
2"	20000
2 1/2"	25000
3"	30000
3 1/2"	35000

- Procedimiento.-

1º.- Una vez pesada la cantidad de muestra requerida para el ensayo, se somete a la misma a la acción de tamizado a través de todo el juego de tamices indicado.

2º.- Si no se cuenta con el vibrador mecánico, el trabajo de tamizado se lo realiza manualmente, agitando el juego de tamices horizontalmente, con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser por lo menos de 15 minutos.

3º.- Terminado el proceso anterior, se quita la tapa y se separan las diferentes mallas, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ellas sobre recipientes limpios; a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de cada malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo de alambre despréndase y agréguese a los recipientes correspondientes.

4º.- Se pesa cuidadosamente las fracciones de muestra depositadas en cada recipiente, las cuales corresponden a los retenidos en las diferentes mallas que componen el juego y se anotan en el registro.

Fig. 4.2

Equipo y Procedimiento “Granulometría Grava”



- **Cálculo.-** El peso del material retenido en cada tamiz será anotado y expresado como sigue:

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

4.1.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

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

- **Equipo**

- Una balanza que tenga 5Kg. de capacidad o más y sensibilidad de 0,5 gr.
- Cesto cilíndrico de tela metálica (la cesta deberá ser hecha de malla metálica N° 4) de 20cm. de diámetro y de 20cm. de altura.
- Un recipiente en el que se pueda sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge, con el fin de obtener el peso de la muestra sumergida.

- **Muestra.-** La muestra consiste aproximadamente de 5Kg. de material separado por el método de cuarteo y de manera que todo el material quede retenido sobre el tamiz de 3/8”.

- **Procedimiento**

1º.- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra en agua por un período de 24 horas para que ésta se sature.

2º.- Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.

3º.- Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.

4°.- La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.

5°.- Se seca la muestra en un horno a temperatura constante (105° C) y luego se deja enfriar y se pesa.

Fig. 4.3

Equipo y Procedimiento “Peso Específico Grava”



- Cálculo

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

Siendo:

A = Peso de la muestra secada en gr.

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

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

$$\text{Peso Específico en condición saturado y superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

(B - C) = Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa por lo tanto el volumen de agua desplazado, o sea, el volumen la muestra.

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

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

4.1.3.- PESO UNITARIO

- **Objetivo.-** Este ensayo tiene como objetivo describir cómo se puede obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso a la temperatura ambiente.

- **Equipo**

- Balanza sensible al 0.5 % del peso de la muestra.
- Una Varilla de 5/8" de diámetro y unos 60cm. de largo.
- Un juego de recipientes cilíndricos; el tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo de 1/2" o menor, se usa un molde 1/10 de pie cúbico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo comprendido entre 1/2" y 1 1/2", se usa un molde de 1/2 pie cúbico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo mayor de 1 1/2", se usa un molde de 1 pie cúbico.

Para este caso de agregado fino se usará el molde de 14 litros de capacidad que es el adecuado.

- **Calibración de los moldes.-** Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7° C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

- **Muestra.-** Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente, por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno, sino a temperatura ambiente.

- **Procedimiento**

SUELTO:

1º.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2º.- Se llena el molde con una caída libre del agregado desde una altura de 10cm. a partir del tope del molde hasta que éste sea rebasado y las partículas que quedan en la superficie deben ser enrazadas con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

3º.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

COMPACTADO:

1º.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2º.- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego, por medio de la varilla, se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.

3º.- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enraizar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

4º.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

- **Cálculo.-** El peso neto del agregado dentro del molde se obtiene restando el peso del molde del peso de la muestra compactada más molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicado su peso neto por el inverso del volumen del molde.

$$P_u = \frac{P_n}{V}$$

Donde:

P_u = Peso unitario en gr/cm^3

P_n = Peso neto del agregado en gr.

V = Volumen calibrado del molde en cm^3

Fig. 4.4

Equipo y Procedimiento “Peso Unitario Grava”



- **Cálculo.-** El peso neto del agregado dentro del molde se obtiene restando el peso del molde del peso de la muestra compactada más molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicado su peso neto por el inverso del volumen del molde.

$$P_u = \frac{P_n}{V}$$

Donde:

P_u = Peso unitario en gr/cm^3

P_n = Peso neto del agregado en gr.

V = Volumen calibrado del molde en cm^3

4.1.4. RESISTENCIA A LOS SULFATOS

- **Objetivo.-** Este método abarca el procedimiento a seguir en el ensayo de agregados para determinar su resistencia a la desintegración en soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

Proporciona una información útil para juzgar la solidez de los agregados sujetos a la acción de la meteorización, particularmente cuando no se dispone de una información adecuada de los datos del servicio del material expuesto a las condiciones de meteorización existentes. Llama la atención el hecho de que los resultados del ensayo por el uso de las

sales, difieren considerablemente y debe tenerse cuidado al fijar los límites adecuados en las especificaciones que se requieran para estos ensayos.

- Equipo

- Tamices con abertura cuadrada de los siguientes tamaños de la serie Standard americana: 2 ½", 1 ½", 3/8" y Nos. 4, 8, 16, 30, 50 y 100.
- Recipientes.- Los recipientes para sumergir las muestras del agregado en la solución de acuerdo al procedimiento detallado en este método deben ser perforados de modo tal que permitan un libre acceso de la solución a la muestra y el drenaje de la solución de la muestra sin pérdida de agregado. El volumen de la solución en la que se sumergen las muestras debe ser por lo menos cinco veces el volumen de la muestra sumergida.

Nota.- Cestos hechos de una malla de alambre adecuada o tamices de abertura convenientes son recipientes satisfactorios para las muestras.

- Medios o aparatos adecuados para la regulación correcta de la temperatura al sumergir, las muestras las respectivas soluciones.
- Balanza con capacidad de 500gr. y sensible al 0,1 gr. y para agregado grueso una balanza de capacidad de 5000gr. y sensible al gramo.
- Un horno de secado, libre de la circulación de aire en su interior y que proporcione entre 105° C y 110° C.

- Solución especial requerida.- Solución de sulfato de sodio.- La solución de sulfato de sodio se prepara disolviendo sal anhidra (Na_2SO_4) o cristalina ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) en agua limpia a una temperatura de 25° a 30° C. Se agrega suficiente sal (Nota) para asegurar no solamente la saturación sino también la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para su empleo en los ensayos. La mezcla se agita vigorosamente durante la adición de la sal y la solución se agita con frecuencia hasta el momento de su empleo. La solución se enfría a una temperatura de $21 \pm 1^\circ \text{C}$ y antes de su empleo se mantiene a esa temperatura por lo menos 48 horas. Se agita vigorosamente la solución inmediatamente antes de su empleo y se ve que ella tenga un peso específico de 1.151 a 1.174.

Nota.- Para preparar la solución saturada son suficientes 215 gr. de sal anhidrida por litro de agua. Sin embargo, desde que estas sales no son completamente estables y es deseable que un exceso de cristales esté presente, se recomienda emplear no menos de 350 gr.

Fig. 4.5

Equipo “Resistencia de la Grava a los Sulfatos”



- **Muestras.-** Para el ensayo consiste de material del cual se ha retirado los tamaños más finos que el tamiz N° 4. El tamaño de la muestra debe ser tal que proporcione no menos de las cantidades siguientes de los diferentes tamaños, que deben estar disponibles en cantidades de 5% o más:

Tabla 4.2

Peso de Muestra por Intervalos de Tamaño

“Resistencia de la Grava a los Sulfatos”

Tamaño	Cantidades
N° 4 a 3/8"	300 gr.
3/8" a 1/2"	500 gr.
1/2" a 3/4"	750 gr.
3/4" a 1"	1000 gr.
1" a 1 1/2"	1500 gr.
1 1/2" a 2"	2000 gr.
Partículas de tamaño mayor a 2" por cada incremento de una pulgada en el tamaño	3000 gr.

Fuente: Manual de Laboratorio Carrera: Ingeniería Civil “UAJMS”

- Si las muestras contienen menos de un 5% de cualquiera de los tamaños especificados, ese tamaño no debe ensayarse; pero debe considerarse que ese tamaño tiene la misma pérdida

en el tratamiento con sulfato de sodio que el promedio del tamaño inferior próximo y el superior próximo o si uno de estos tamaños está ausente, debe considerarse que ese tamaño tiene la misma pérdida que el tamaño inferior próximo o el superior próximo cualquiera que esté presente.

- La muestra de agregado grueso se lava completamente, se seca hasta peso constante a 105° C y se separa por cribado en los diferentes tamaños indicados. El peso adecuado de muestra para cada fracción se pesa y se coloca en recipientes separados para el ensayo. En el caso de fracciones de tamaño superior al tamiz de 3/4" se cuenta el número de partículas.

- **Procedimiento.-** 1º.- Las muestras deben sumergirse en la solución preparada de sulfato de sodio no menos de 16 ni más de 18 horas de modo tal que la solución las cubra hasta una profundidad de 1/2", aproximadamente. Los recipientes deben taparse para reducir la evaporación e impedir la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantienen a una temperatura de $21 \pm 1^\circ$ C durante el periodo de inmersión.

2º.- Después del periodo de inmersión, se retira la muestra de agregado de la solución, se permite que drene y luego se coloca en el horno de secado a una temperatura entre 105° y 110° C. Deben evitarse la pérdida de partículas de agregado. Las muestras se secan hasta peso constante y posteriormente se las retira del horno para dejarlas enfriar a temperatura ambiente para luego sumergirlas de nuevo en la solución preparada repitiendo así el ciclo anterior.

3º.- El proceso de inmersión y secado alternados se repite hasta obtener el número de ciclos requerido.

Fig. 4.6

Procedimiento y Desgaste de la Grava “Resistencia de la Grava a los Sulfatos”



- **Cálculo.-** Al finalizar el último ciclo y después que la muestra a enfriado, ésta se lava del sulfato de sodio.
- Después de remover la solución de sulfato de sodio, cada fracción de muestra se seca hasta peso constante de 105° a 110° C, se pesa y se tamiza sobre el mismo tamiz en el que fue retenido antes del ensayo. Se pesan las partículas retenidas sobre este tamiz y el peso se anota.
- El desgaste del agregado por la acción del sulfato de sodio se lo expresa en porcentaje de cada fracción de material y luego en promedio de todos los desgastes para contar con un valor más real respecto al total de la muestra.

4.1.5.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- **Grava del banco “Río Camacho”.-** Las características físicas del agregado grueso proveniente del Río Camacho, se las puede apreciar claramente en la figura adjunta.

Fig. 4.7

Características Físicas del Agregado Grueso del Río Camacho
(Natural)



Grava del Río “Camacho”.- Las características físicas del agregado grueso proveniente del Río Camacho, se las puede apreciar claramente en la figura adjunta.

Fig. 4.8

Características Físicas del Agregado Grueso del Río Camacho
(Natural)





4.2.- AGREGADO FINO

4.2.1.- GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA

- **Objetivo.-** Este ensayo tiene como principal objetivo el poder determinar la distribución de tamaños de las partículas en el agregado fino, método que abarca un procedimiento de diferenciación de los tamaños, empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares. A partir del análisis granulométrico también se determinará el módulo de finura del agregado fino.

- Equipo

- Balanza sensible al 0,1gramo
- Juego de tamices: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, tapa y base
- Vibrador mecánico para tamices
- Horno de temperatura constante (105° C)
- Brocha para limpiar los tamices
- 7 Recipientes

- Muestra

- La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo.
- El peso de la muestra de agregado fino necesario para el ensayo deberá ser de 500 gr.

- Procedimiento

1º.- Una vez pesada la cantidad de muestra requerida para el ensayo, se somete a la misma a la acción de tamizado a través de todo el juego de tamices indicado.

2º.- Si no se cuenta con el vibrador mecánico, el trabajo de tamizado se lo realiza manualmente, agitando el juego de tamices horizontalmente, con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser por lo menos de 15 minutos.

3º.- Terminado el proceso anterior, se quita la tapa y se separan las diferentes mallas, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ellas sobre recipientes limpios; a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de cada malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo de alambre despréndase y agréguese a los recipientes correspondientes.

4º.- Se pesa cuidadosamente las fracciones de muestra depositadas en cada recipiente, las cuales corresponden a los retenidos en las diferentes mallas que componen el juego y se anotan en el registro.

Fig. 4.9

Equipo y Procedimiento “Granulometría Arena”



- Cálculo

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

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

Módulo de Finura.- Se calcula dividiendo la sumatoria de los porcentajes de pesos retenidos en cada tamiz entre 100:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret (} 3/8'', \text{ N}^\circ 4, \text{ N}^\circ 8, \text{ N}^\circ 16, \text{ N}^\circ 30, \text{ N}^\circ 50, \text{ N}^\circ 100)}{100}$$

4.2.2.- PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

- **Objetivo.-** El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que el porcentaje de absorción del agregado fino después de 24 horas de sumergimiento en agua a temperatura ambiente.

El peso específico a granel en la condición de saturado y superficie seca es el valor que generalmente se aplica en la dosificación de hormigones.

- Equipo

- Una balanza que tenga capacidad de 1 Kg. y sensible a 0.1 gr.
- Matraz de 500 ml de capacidad a 20° C.
- Molde cónico de metal de 1 ½'' de diámetro en la parte superior, 3 ½'' de diámetro en la base y 2 7/8'' de altura.
- Un apisonador de metal con un peso de 340 gr. (12 onzas) y base circular plana de 1'' de diámetro.

- Muestra

Por el método de cuarteo se selecciona aproximadamente 1 Kg. de agregado fino, el cual después de secar al horno hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C se colocará en un recipiente lleno de agua y se dejará allí durante 24 horas. Luego la muestra será esparcida sobre una superficie plana, expuesta a una corriente de aire caliente y será agitada frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Se continuará con esta operación hasta que el agregado fino se aproxime a una condición de libre escurrimiento. Luego, el

agregado fino se colocará en el molde cónico, se apisonará ligeramente la superficie 25 veces con el apisonador de metal y se levantará el molde verticalmente. Si hay humedad superficial el cono de agregado fino retendrá su forma y se continuará secando con agitación constante haciendo los ensayos a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino se desmorone libremente al retirar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado y superficie seca.

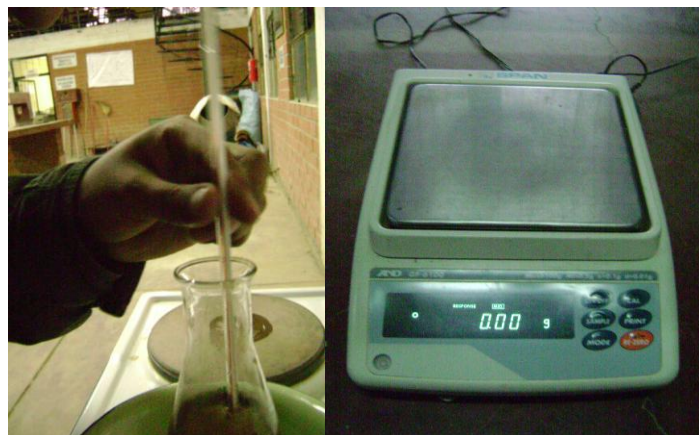
- Procedimiento

1º.- Una muestra de 500 gr. del material preparado de la forma anteriormente descrita, será introducido inmediatamente en el frasco volumétrico y éste será llenado con agua hasta la marca de 500 ml. a una temperatura de 20° C. Luego, el frasco se hará rodar sobre una superficie plana para eliminar las burbujas de aire después de lo cual se colocará en un baño maría de temperatura constante a 20° C. Después de una hora aproximadamente, se llenará con agua hasta la marca de 500 ml. y se determinará el peso total del agua introducida en el frasco con una aproximación de 0.1 gr.

2º.- El agregado fino se sacará del frasco, se secará en el horno hasta peso constante a una temperatura de 100° a 110° C, Se enfriará a la temperatura del ambiente y finalmente se pesará.

Fig. 4.10

Equipo y Procedimiento “Peso Específico Arena”



- Cálculo

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

Donde:

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

V = Volumen del frasco, en ml.

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

- Peso Específico a “granel” (Saturado y superficie seca) = $\frac{500}{V - W}$

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

- Porcentaje de Absorción = $\frac{500 - A}{A} \times 100$

4.2.3.- PESO UNITARIO

- Objetivo

Este ensayo tiene como objetivo describir como se puede obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso a la temperatura ambiente.

- Equipo

- Balanza sensible al 0.5 % del peso de la muestra.
- Una Varilla de 5/8” de diámetro y unos 60cm. de largo.
- Un juego de recipientes cilíndricos, el tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo de 1/2” o menor, se usa un molde 1/10 de pie cúbico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo comprendido entre 1/2” y 1 1/2”, se usa un molde de 1/2 pie cúbico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo mayor de 1 1/2”, se usa un molde de 1 pie cúbico.

Para este caso de agregado fino se usará el molde de 3 litros de capacidad que es el adecuado.

- Calibración de los moldes

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

- Muestra

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente, por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno, sino a temperatura ambiente.

- Procedimiento

SUELTO:

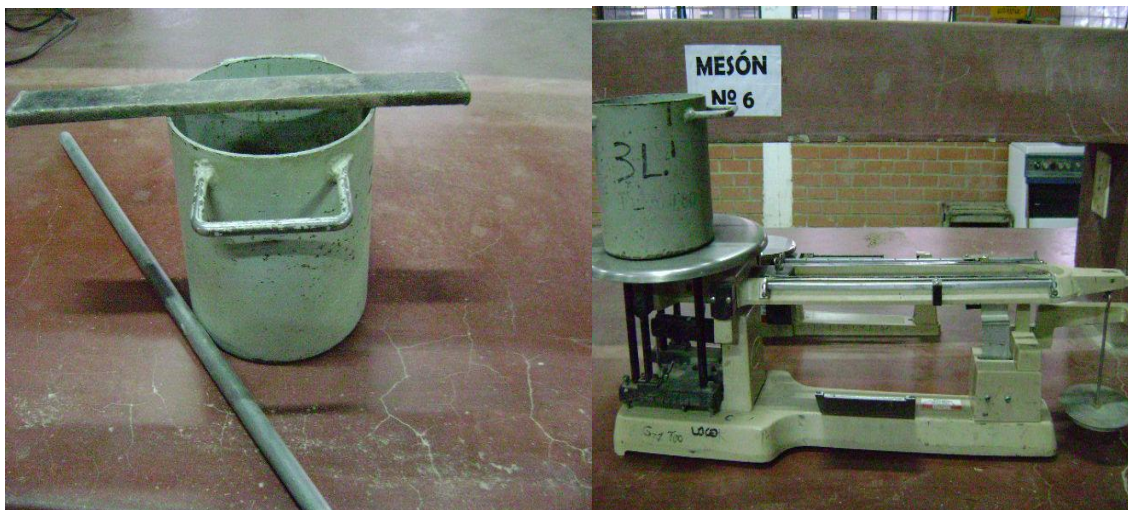
- 1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.
- 2°.- Se llena el molde con una caída libre del agregado desde una altura de 10cm. a partir del tope del molde hasta que éste sea rebasado y las partículas que quedan en la superficie deben ser enrazadas con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
- 3°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

COMPACTADO:

- 1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.
- 2°.- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.
- 3°.- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enraizar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
- 4°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

Fig. 4.11

Equipo y Procedimiento “Peso Unitario Arena”



- Cálculo

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

$$P_u = \frac{P_n}{V}$$

Donde:

P_u = Peso unitario en gr/cm^3

P_n = Peso neto del agregado en gr.

V = Volumen calibrado del molde en cm^3

4.2.4.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DEFINICIÓN

- **Arena del banco “Río Camacho”.**- Las características físicas del agregado fino proveniente del río Camacho, se las puede apreciar claramente en la figura adjunta..

Fig. 4.12

Características Físicas del Agregado Fino de “Del Río Camacho”



4.3.- CEMENTO

4.3.1.-FINURA DEL CEMENTO

- **Objetivo.-** El objeto de esta práctica es la determinación de la finura del cemento, por medio de métodos mecánicos, en este caso con el uso del tamiz de malla N° 200.

- **Muestra.-** La muestra se obtiene del material tal como se recibe, para la prueba se toman 50 gr.

- **Equipo**

- 1 Tamiz N° 40 y 1 tamiz N° 200.
- Balanza de capacidad de 100gr. Y una sensibilidad al 0.05.
- Brocha.

Fig. 4.13

Equipo “Finura del cemento”



- **Procedimiento**

1º.- Pesar 50 gr. de cemento para determinar su finura.

2º.- Agitar la muestra, utilizando tamices de malla N° 40 y N° 200 con base y tapa, en el vibrador mecánico. Cuando no se dispone del vibrador mecánico, se agita el cedazo

Nº 200 con tapa y base imprimiendo con ambas manos movimientos verticales y horizontales con golpes de vez en cuando.

El tiempo de agitado dependerá de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.

3º.- Se quita la tapa y se separa la malla Nº 40 vaciando la fracción de cemento que podría ser retenida en ella, sobre un papel limpio. A las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo o brocha de alambre despréndase y agréguese a las depositadas en el papel.

4º.- Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida en 3. Se pone en un recipiente o cápsula. Se guarda esta fracción de muestra hasta el final de la prueba para poder repetir las pesadas en caso de error.

5º.- Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y el recipiente del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en la hoja de registro para el cálculo.

- Cálculo

Se calcula utilizando la fórmula:

$$F = \frac{Pr}{50} \cdot 100$$

Donde:

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

Pr = Peso del residuo que no pasa ni el tamiz Nº 40 ni el tamiz Nº 200 en gr.

4.3.2.- PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO

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

- **Equipo**

- Matraz normal. De Le Chatelier.
- Kerosén (Sin agua) o gasolina, que no sean más livianos de 62° API.
- Balanza sensible al 0,001 gr.
- Termómetro.
- Embudo.

- **Muestra.-** La muestra se obtiene del material tal como se recibe, para la prueba se toman 64 gr.

- **Procedimiento**

1°.- Se llena el matraz con kerosén hasta que el nivel del líquido llega a los 250 ml. y se toma la temperatura del mismo, que no debería ser mayor a 20° C. (o aplicar baño maría a temperatura constante para lograr la temperatura deseada).

2°.- Se procede a pesar 3 muestras de cemento de 64 gr.

3°.- Se introducen los 64 gr. de la muestra de cemento poco a poco en el matraz utilizando un embudo de papel teniendo el cuidado de que estén a la misma temperatura del líquido. Se debe evitar que el líquido salpique cuando se introduce el cemento.

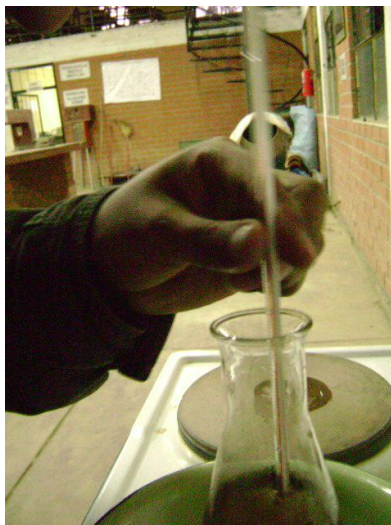
4°.- Introducido todo el cemento en el matraz se tapa éste y se hace rodar en posición inclinada con el fin de eliminar totalmente el aire contenido en la muestra de cemento.

5°.- Se mantiene al matraz en temperatura constante, el cual debe estar aproximadamente a 20 grados, y se hace la nueva lectura cuando se haya observado que la temperatura del líquido en el matraz es constante.

6°.- Se lee en el matraz la graduación correspondiente al nuevo nivel del líquido.

Fig. 4.14

Procedimiento “Peso Específico Cemento”



- Cálculo

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

$$V.D. = \frac{P.m. + P.M.k. - P.M.k.m.}{\delta_K}$$

Donde:

V.D. = Volumen desplazado

P.m. = Peso de la muestra

P.M.k. = Peso del kerosén con el matraz

P.M.k.m. = Peso del Matraz con cemento y kerosén

δ_K = Peso específico del kerosén

Y luego el peso específico del cemento se calcula por la siguiente fórmula:

$$P.E. = \frac{\text{Peso del cemento en gramos}}{\quad}$$

Volumen desplazado en ml. (V.D.)

Nota.- La diferencia entre resultados del peso específico del cemento por medio de este método, no deben variar entre sí más de 0.01.

4.4. AGUA

4.4.1.- CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El agua utilizada en el presente trabajo de investigación, tanto en la preparación de las mezclas de concreto, como en el curado de las probetas de hormigón, procede de la red de agua potable de la ciudad de Tarija, concretamente de la zona de El Tejar y del barrio San Bernardo. Por lo que los datos que se presentan corresponden a la información proporcionada por el departamento técnico de COSAALT.

Comparando los valores admisibles con los que presenta el agua utilizada, se comprueban las buenas condiciones que ésta presentaba como para ser incluida en la confección de nuestras mezclas.

A continuación se detallan todas las planillas de caracterización correspondientes a los materiales componentes de las mezclas de prueba.

En estas planillas estandarizadas por el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S. se puede apreciar claramente cada uno de los resultados requeridos para poder abarcar el estudio y conseguir los objetivos propuestos:

4.5.- DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN MÉTODO ACI-211

La dosificación de mezclas de hormigón es la determinación de la combinación más económica y práctica de agregados disponibles, cemento, agua y en su caso aditivo, que producirá una mezcla trabajable con un endurecimiento adecuado. La dosificación de la mezcla de prueba puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

A continuación se explica la metodología de dosificación para hormigones, presentada por el comité ACI-211, donde se debe seguir el flujograma de dosificación indicado en la Fig. 4.15; así mismo, se debe tomar en cuenta que un diseño, en el sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser tasadas con exactitud en forma cuantitativa. Por tal motivo, es necesario hacer mezclas de prueba para revisar y ajustar las proporciones de los materiales. Por lo tanto, el diseño de mezclas se basa en el método de "ensayo y error", que en este caso converge rápidamente con el sistema de "ajuste y reajuste". A continuación en la tabla 4.15, se muestra los pasos del método ACI-211, para el establecimiento de las proporciones de cada uno de los componentes por metro cúbico hormigón. **Tabla 4.3**

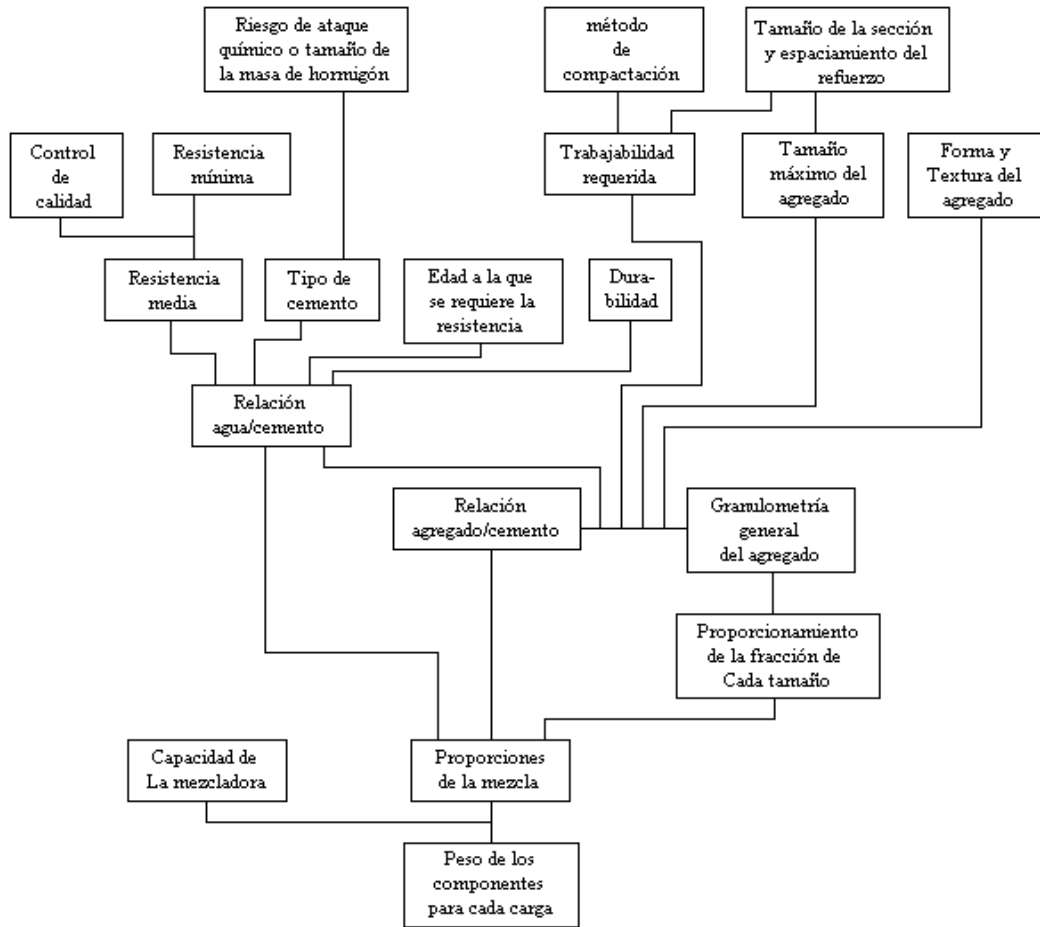
Procedimiento de Diseño ACI-211

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Selección del asentamiento
2	Selección del tamaño máximo del agregado
3	Estimación del contenido de aire
4	Estimación del contenido de agua de mezclado
5	Determinación de la resistencia de diseño
6	Selección de la relación agua-cemento
7	Cálculo del contenido de cemento
8	Estimación de las proporciones de agregados
9	Ajuste por humedad de los agregados
10	Ajustes a las mezclas de prueba

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Fig. 4.15

Factores Básicos en el Proceso de Diseño de una Mezcla de Hormigón



Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

4.5.1.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Como se mencionó anteriormente, las propiedades del concreto en estado fresco (para manejarlo, colocarlo y compactarlo) son importantes, debido a que de ellas dependen en gran parte las propiedades en estado endurecido.

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

lograrse la mejor compactación posible con una cantidad razonable de esfuerzo. El segundo aspecto que se debe considerar son las condiciones de colocación, ya que hoy en día existen múltiples sistemas de vaciado como el bombeo, las bandas transportadoras, el tubo-embudo Tremie, y las pavimentadoras, entre otros, que requieren de una mayor o menor plasticidad (cohesión) de la mezcla, lo cual, como es sabido, depende en gran parte del contenido de finos.

El tercer aspecto es el sistema de compactación, debido a que la máxima resistencia se logra cuando la masa unitaria del hormigón (con agregados pétreos de peso normal) es máxima.

Tabla 4.4

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

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Sin embargo, si la consistencia, en términos de asentamiento, no se ha especificado con anterioridad, la tabla 4.17 provee una guía empírica de la consistencia requerida por el hormigón para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y de compactación. Los valores de asentamiento indicados en esta tabla se aplican cuando el concreto va a ser consolidado por vibración. Si se emplean otros medios de compactación diferentes a la vibración mecánica, los datos de esta tabla se deben aumentar en 2.5 cm. (1"). Como regla general y por razones de economía, el menor asentamiento que permita una adecuada colocación es el que debe ser seleccionado.

4.5.2.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

De acuerdo con el criterio del ACI-211, los agregados bien gradados con mayor tamaño máximo tienen menos vacíos y menor área superficial que los de menor tamaño máximo; por consiguiente, si el tamaño máximo de los agregados en una mezcla de hormigón se aumenta (para un mismo asentamiento), los contenidos de cemento y agua disminuirán. Por lo tanto, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura.

Sin embargo, según Mena M., "La mayoría de las veces son las características geométricas y las condiciones de refuerzo de las estructuras las que limitan el tamaño máximo del agregado que puede utilizarse; pero existen otros aspectos relacionados con la producción, el transporte y la colocación del hormigón que también pueden influir para limitarlo".

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

Para las estructuras convencionales de hormigón que constituyen la mayoría de los casos, con frecuencia se aplican las recomendaciones del Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes. Según éste, el tamaño máximo nominal del agregado no debe exceder de las siguientes dimensiones:

- a) La quinta parte de la separación mínima entre lados de la cimbra.
- b) Las tres cuartas partes del espaciamiento libre mínimo entre varillas o alambres individuales, torones o ductos de refuerzo, lotes de varillas, o entre el acero y la formaleta.
- c) La tercera parte del espesor, en el caso de losas.

La aplicación de estas limitaciones ocasiona el uso de agregados con tamaños máximos que por lo general varían entre 9,51 mm. (3/8") y 76,1 mm. (3"). Sin embargo, en algunos casos como grandes estructuras de hormigón masivo (presas), con secciones muy amplias y poco o nada de refuerzo, la posibilidad de utilizar un tamaño máximo de grava es casi ilimitada, aunque, normalmente se considera un tamaño de 152,2 mm. (6") como el máximo tamaño práctico. Pero, de acuerdo con el mismo autor, "conviene observar que en los criterios anteriores no se ha tomado en cuenta la forma de las partículas, lo cual en algunos casos puede ser una omisión importante, pues los agregados de formas muy angulosas suelen requerir mayores espacios para desplazarse que los de formas redondeadas".

Para tal efecto. Faury propone las siguientes expresiones para limitar el tamaño máximo, a fin de que las mezclas de hormigón se desplacen sin dificultad a través de los planos de refuerzo y no se sientan las consecuencias.

- a) Para agregados de formas redondeadas.

$$D < 1.2 P \quad (11.1)$$

- b) Para agregados de formas angulares.

$$D < 1.4 P \quad (11.2)$$

Donde:

D = Tamaño máximo del agregado.

P = Radio medio de los espacios entre varillas de refuerzo, como se indica en la figura 4.2

De acuerdo con lo anterior, y de manera muy general, en la tabla 4.3 se dan algunas recomendaciones para la escogencia del tamaño máximo, según el tipo de construcción.

Fig. 4.16

Radio Medio de los Espacios entre Varillas

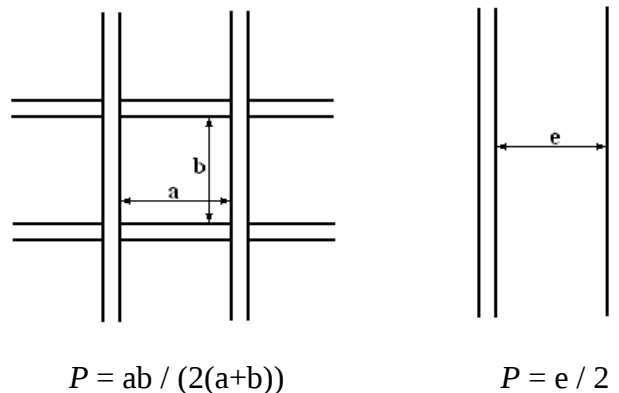


Tabla 4.5

Tamaños Máximos de Agregados Según el Tipo de Construcción

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Respecto de la producción, Mena añade: "otro aspecto que puede contribuir a limitar el tamaño máximo es el equipo disponible para mezclar el concreto. Algunos tipos de mezcladoras, como las de descarga libre, pueden revolver y descargar eficientemente hormigones con diversos tamaños máximos de grava hasta de 152 mm. (6"); pero otros, como las de mezcla forzada, están diseñados específicamente para concretos con gravas de poco tamaño máximo y no mayor de 38.1 mm. (1 1/2").

En cuanto a la colocación, el uso de bombas de concreto y bandas transportadoras puede ocasionar ciertas limitaciones. "En el caso de concreto bombeado, el tamaño del agregado grueso se limita de acuerdo con el diámetro interior de la tubería de conducción. Según el criterio del comité ACI-304, el tamaño máximo puede llegar a representar hasta el 40% del diámetro de la tubería cuando los agregados tienen formas bien redondeadas, mientras que con agregados angulares debe restringirse a una tercera parte del diámetro.

Sin embargo, para reducir el riesgo de obstrucciones en la tubería, en la práctica se tiende a limitar el tamaño máximo a una cuarta parte del diámetro. De esta manera, considerando que los diámetros más comunes en las tuberías comerciales están entre 100 y 150 mm., resulta que en el concreto de bombeo se utilizan agregados cuyo tamaño máximo fluctúa entre 19 mm. (3/4") y 38.1 mm. (1 1/2"), con motivo de esta limitación" (4.10).

"Cuando se emplean bandas para transportar el hormigón, las limitaciones son menos estrictas, pues se puede incrementar el tamaño máximo al reducir el ángulo de inclinación de la banda y evitar así que rueden las partículas de mayor tamaño. En este caso, el ACI-304 reporta la posibilidad de transportar por banda hormigones hechos con gravas hasta de 101,6 mm. (4") de tamaño máximo de agregado" (4.10).

4.5.3.- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO

Como se recordará, el agua de mezclado cumple dos funciones principales en una mezcla de hormigón: una es hidratar las partículas de cemento, y la otra, producir la fluidez necesaria. De otra parte, depende de la cantidad de agua que se requiere para producir un asentamiento determinado, depende del requerimiento de agua del cemento y del requerimiento de agua del agregado, así como del contenido de aire.

Tal como se mencionó anteriormente, en el medio colombiano se han adelantado varias investigaciones, que correlacionan el contenido de agua de mezclado con el asentamiento medido en el cono de Abrams, para diversas granulometrías, con distintos tamaños máximos y adicionalmente para partículas de forma redondeada y textura lisa y para partículas de forma angular y textura rugosa. Los resultados de estas investigaciones han indicado que el comportamiento del valor del asentamiento en relación con el requerimiento de agua se ajusta a una familia de curvas en forma de "S".

Tabla 4.6

**Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes
Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma
Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido**

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Tabla 4.7

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes

Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Tabla 4.8

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con aire Incluido

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Tabla 4.9

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes

Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido

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

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Los valores correspondientes en forma tabulada para estimar la cantidad de agua de mezclado por metro cúbico de hormigón, se muestran en las tablas 4.6 y 4.7, para hormigón sin aire incluido; y en las tablas 4.8 y 4.9, para hormigón con aire incluido.

4.5.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MEDIA

El comité ACI, la llama **resistencia de diseño**, de acuerdo con las recomendaciones del Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes, adoptadas del ACI-318; que indica que el hormigón debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio (f_{cm}) lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de resultados de pruebas de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del hormigón o resistencia característica (f_{ck})

La resistencia a la compresión promedio o resistencia media o resistencia de diseño de la mezcla es calculada de la siguiente expresión:

$$f_{cm} = f_{ck} + (t\sigma) \quad (11.3)$$

Donde:

f_{cm} = Promedio requerido de resistencia o resistencia de diseño o resistencia media de la mezcla (Kg/cm²)

f_{ck} = Resistencia especificada del hormigón o resistencia característica (Kg/cm²).

t = Constante que depende de la proporción de pruebas que puede caer por debajo del valor de f_{ck} y el número de muestras usadas para hallar el valor de σ ; preferiblemente, al menos 30 muestras deben ser usadas (tabla 4.10).

σ = Valor preestimado de la desviación estándar en Kg/cm²

Siendo los requerimientos:

- a) La probabilidad de obtener resultados de pruebas por debajo de $f_{ck} = 35 \text{ Kg/cm}^2$ (500 p.s.i) no debe exceder de 1 en 100.
- b) La probabilidad de que el promedio de tres pruebas consecutivas sea inferior a f_{ck} no debe exceder de 1 en 100.

Tabla 4.10

Valores de t (a)

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

Fuente: (a) Adaptado del ACI-214

De tal manera, que aplicando estas condiciones a las fórmulas planteadas, resulta lo siguiente: "La resistencia promedio requerida f_{cm} en kg/cm² que se utiliza para diseñar

una mezcla de hormigón debe ser la mayor de las obtenidas con las siguientes ecuaciones, utilizando la desviación estándar":

$$f_{cm} = f_{ck} - 35 + (2.33\sigma) \quad (11.4)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + \frac{2.33\sigma}{\sqrt{3}} = f_{ck} + (1.34\sigma) \quad (11.5)$$

Donde los valores están en kg/cm^2 . Cuando la desviación estándar está por debajo de cerca de 35 mm. kg/cm^2 (500 p.s.i), la ecuación (4.3) gobierna; pero para desviaciones estándar más altas, la ecuación (4.4) es la que determina el valor de f_{cm} .

Pero, la resistencia de diseño de la mezcla hallada por medio de estas expresiones sólo puede ser empleada cuando existen suficientes datos disponibles (al menos 30 pruebas). Sin embargo, si se tienen más de 15 registros pero menos de 30, la desviación estándar empleada en las fórmulas debe ser la desviación estándar calculada de los datos, multiplicada por el coeficiente de modificación indicado en la tabla 4.10.

Tabla 4.11

Coeficiente de Modificación para la Desviación Estándar

Cuando Hay Menos de 30 Pruebas Disponibles (a)

Número de pruebas (b)	Coeficiente de modificación
Menos de 15	Use la tabla (11.12)
15	1.16
20	1.08
25	1.03

Fuente: (a) Adoptado del ACI-318 (CCCSR - Decreto 1400)

Por último, si no hay registros de pruebas de resistencia en donde se usaron materiales y condiciones similares aquellas que serán empleadas, la resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en kg/cm^2 se debe determinar de acuerdo con la tabla 4.10.

Tabla 4.12

Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar

la Desviación Estándar (a)

Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla fcm en (kg/cm ²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70 \text{ kg/cm}^2$
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85 \text{ kg/cm}^2$
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: (a) Adoptado del ACI-318 (CCCSR - Decreto 1400)

4.5.5.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

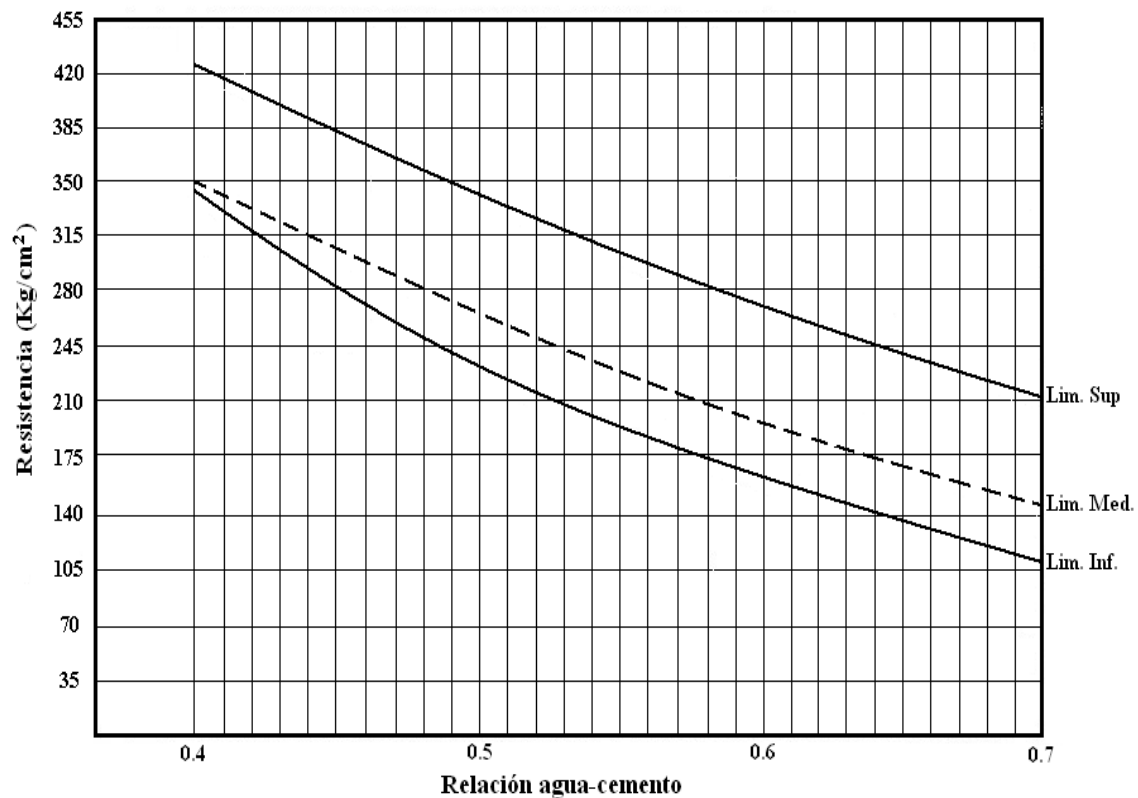
Debido a que la resistencia del hormigón se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfases de adherencia pasta-agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua-cemento. Por esta razón, es importante conocer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

Para el caso colombiano, en una investigación desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, se obtuvieron valores reproducidos en la tabla 4.11. Allí se compararon los diferentes cementos tipo I colombianos, en concretos sin aire incluido (tabla 4.11) y con aire incluido (tabla 4.12), diseñados y producidos bajo las mismas condiciones, con los mismos materiales y curados a temperatura y humedad normales.

Los límites superior e inferior de la mencionada gráfica de relación agua-cemento contra resistencia potencial desarrollada a los 28 días de edad hablan por sí mismos y corroboran la importancia de disponer de este tipo de información.

Fig. 4.17

Correspondencia Entre la Resistencia a Compresión y la Relación Agua-Cemento Para los Cementos Pórtland Tipo I en Hormigones sin Aire Incluido



En el evento de que no se disponga de información previa, se pueden tomar los valores de estas tablas, que, aunque aproximados, son relativamente seguros para hormigones que contengan cemento Pórtland tipo I.

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

Tabla 4.13
Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los
28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos
Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido

Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Tabla 4.14

Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido

Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,65	0,58
175	-	0,59	0,52
210	0,65	0,54	0,49
245	0,61	0,50	0,46
280	0,55	0,44	0,41
315	0,51	0,41	0,39
350	0,46	0,37	0,36

Fuente: Método de Dosificación (ACI-211)

Es sabido que un hormigón de resistencia razonable y adecuadamente colocado, es durable bajo condiciones ordinarias, pero cuando no es necesario que posea alta resistencia y las condiciones de exposición sean tales que la alta durabilidad sea vital, son éstas las que deben determinar la relación agua-cemento a usarse. Por otra parte,

para condiciones severas de exposición, la relación agua-cemento debe mantenerse baja, aún cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto.

4.5.6.- CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Una vez que el contenido de agua de mezclado (Paso 4 de la tabla 4.1) y la relación agua-cemento (Paso 6 de la tabla 4.1) han sido determinados, el contenido de cemento por metro cúbico de hormigón es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua-cemento:

$$C = A / (A/C) \quad (11.6)$$

Donde:

C = Contenido de cemento, en kg/m³

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

A/C = Relación agua-cemento, por peso

4.5.7. ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADOS

Por lo general, la estimación de las proporciones de los agregados está basada en su tamaño máximo y gradación, debido a que la combinación granulométrica total de ambos agregados, finos y gruesos, es de considerable importancia en relación con las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En esta parte se describirá la estimación de las proporciones de los agregados por la recomendación de método ACI-211. Pero antes de proseguir, se considera interesante observar que el agregado se puede encontrar bajo tres circunstancias diferentes, tal y como lo han definido Ramos, Porrero y Grases:

4.5.7.1.- Agregados controlados

Son aquellos agregados que tienen estrictamente garantizada su calidad en todos los aspectos. Son producidos en plantas destinadas a ese fin específico, las cuales cuanto más tecnificadas sean, mayores y ventajas presentan en cuanto a los controles necesarios para garantizar la granulometría y calidad indicadas. Sin embargo, esta situación es relativamente poco frecuente en este medio.

4.5.7.2.- Agregados conocidos pero no controlados

Son aquellos que provienen de una zona o lugar de explotación de la que habitualmente se extraen agregados, cuya inocuidad fue analizada en algunas ocasiones y probada en algunas otras, pero que la preparación y control al que son sometidos no permiten garantizar que su limpieza y granulometría sean adecuadas y se mantengan en el tiempo.

Para que estos agregados posean la categoría de controlados, no basta con hacer un ensayo esporádico al material, que puede cumplir en ese momento o en cuanto a esa muestra solamente. Ello requiere que las operaciones de limpieza y clasificación sean las adecuadas y estén controladas mediante ensayos con cuya frecuencia se garantice la calidad del producto en todo momento. Esta situación es muy frecuente en este medio.

4.5.7.3.- Agregados nuevos

Son agregados de los cuales se desconocen sus propiedades y características.

De manera que, dependiendo de cada una de estas tres situaciones y aún solventando el problema de la limpieza, es opinión de este autor que la selección de las proporciones de los agregados se cimiente en si hay o no granulometrías que cumplan con los límites de las normas establecidas, para emplear el procedimiento aquí propuesto.

A continuación se describe el **METODO ACI-211**, el mismo que tiene su fundamento en la expresión **b/b_o** , que fue introducida por Richart y Talbot entre 1921 y 1923 en los Estados Unidos de América. En esta expresión:

b = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen del hormigón.

b_o = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

b/b_o = Volumen compactado de agregado grueso, por unidad de volumen de hormigón.

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

$$V = b + (PV) \quad (11.7)$$

Donde:

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

b = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen de hormigón.

P = Porcentaje de vacíos en el conjunto (espacios entre partícula y partícula).

Pero el volumen b_o puede ser expresado como:

$$b_o = 1 - (P_1) \quad (11.8)$$

Luego:

$$P = 1 - b_o$$

Reemplazando este valor en la ecuación anterior se obtiene:

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

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

Luego:

$$b = b_o V$$

Donde:

$$V = b/b_o \quad (11.9)$$

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

$$b_o = \frac{\text{Masa unitaria compactada}}{\text{Densidad aparente seca}} \quad (11.10)$$

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

En la tabla 4.13 del método ACI-211 se dan los valores de b/b_o en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura de la arena.

En este método, el peso seco del agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto, es simplemente igual al valor tomado de la tabla 4.15 multiplicado por su respectivo peso unitario compacto en kg/m^3 . De modo que, después de obtener el peso seco del agregado grueso, los pesos de todos los demás ingredientes han sido estimados, excepto aquel del agregado fino.

Tabla 4.15

Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Hormigón

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

(a) Los volúmenes están basados en agregados secos y compactos con varilla, como se describe en la A.S.T.M. C-29. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un hormigón con un grado de manejabilidad apropiado para la construcción reforzada usual. Para obtener un hormigón con menos trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de hormigón, estos valores se pueden aumentar en un 10%. Para hormigón con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta en un 10%.

(b) El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en tamices de malla con aberturas de 0.149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38 y 4.76 mm.

Se Indica que el método más preciso y preferido es el "Método del volumen absoluto", el cual requiere del conocimiento de los volúmenes absolutos desplazados por los ingredientes. Es decir, que los volúmenes absolutos de cemento, agua, contenido de aire, y agregado grueso son sustraídos del volumen total, y que la

diferencia hallada será el volumen absoluto del agregado fino. El volumen absoluto ocupado en el hormigón por cada ingrediente es igual a su peso dividido por su respectivo peso específico, como se indica en la siguiente expresión:

$$V_i = P_i / G_i \quad (11.11)$$

Donde:

V_i = Volumen absoluto del ingrediente, en l/m^3 .

P_i = Peso seco del ingrediente, en kg/m^3 .

G_i = Peso específico del ingrediente (para los agregados debe usarse el peso específico aparente seco), en g/cm^3 .

Finalmente, el peso seco del agregado fino puede entonces ser obtenido al multiplicar su volumen absoluto por su respectivo peso específico aparente. Este proceso es resumido en la tabla 4.14.

Este método es aplicable a mezclas cuyos asentamientos sean al menos de 3 cm. Para mezclas de consistencia más rígida se deben hacer algunas variaciones. En primer lugar, la trabajabilidad se mide por otros métodos como el aparato Vebe o la mesa de sacudidas que fueron descritos anteriormente; y en segundo lugar, el contenido de agregado grueso usado es mucho más alto que el de mezclas de mayor consistencia.

Tabla 4.16
Peso Seco y Volumen Absoluto de los Ingredientes por
Metro Cúbico de Hormigón

Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	P_c	G_c	V_c
Agua	P_a	1.0	V_a
Contenido de aire	-	-	A
Agregado grueso	P_{ag}	G_{ag}	V_{ag}
Agregado fino	P_{af}	G_{af}	V_{af}
TOTAL	P_u		1.000

Nota: En esta tabla (11.14):

V_c, V_a, V_{ag}, V_{af} = Volumen absoluto de cemento, agua, agregado grueso y agregado fino respectivamente.

P_c, P_{ag}, P_{af} = Peso seco de cemento, agregado grueso y fino respectivamente.

G_{ag}, G_{af} = Peso específico aparente del agregado grueso y agregado fino respectivamente.

P_a = Peso del agua.

G_c = Peso específico del cemento.

A = Volumen absoluto del contenido de aire (Porcentaje de aire dividido por 100 y multiplicado por 1.000 en l/m³).

P_u = Peso unitario del hormigón fresco por metro cúbico.

4.5.7.-CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Debido a que los agregados pétreos presentan cierta porosidad (poros que están conectados a la superficie de las partículas), el agua de mezclado puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas. Por otra parte, la superficie de las partículas también puede retener agua formando una película de humedad.

De tal manera que los agregados almacenados en patio pueden tener un contenido de humedad variable que impide su dosificación por peso seco.

Bajo estas consideraciones, si el agua de mezclado es absorbida por la partículas del agregado, la relación agua-cemento es rebajada y la manejabilidad del hormigón reducida. Pero, si las partículas del agregado presentan una película de agua sobre

superficie, el contenido de agua de mezclado es incrementado, lo cual conduce a una alta relación agua-cemento y a una alta trabajabilidad, reduciendo la resistencia.

De tal manera que se han definido cuatro estados de humedad de los agregados:

1. **Seco al horno (S):** Toda la humedad del agregado removida por secado en horno a 105°C de temperatura hasta obtener un peso constante. Todos los poros están vacíos.
2. **Seco al aire (SA):** Toda la humedad removida de la superficie, pero los poros internos parcialmente saturados.
3. **Saturado y superficialmente seco (SSS):** Todos los poros llenos de agua pero sin película de humedad sobre la superficie de las partículas.
4. **Húmedo (BS):** Todos los poros completamente llenos de agua y adicionalmente con una película de agua sobre la superficie de las partículas.

La capacidad de absorción (CA o absorción) representa la máxima cantidad de agua que el agregado puede absorber en sus poros saturables. Ésta es calculada de la diferencia que hay entre el estado SSS y el estado S, expresada como un porcentaje del peso en estado S.

$$CA = [(P_{SSS} - P_s)/P_s] 100 \quad (11.12)$$

Donde:

P_{SSS} = Peso de una muestra de agregado en estado SSS.

P_s = Peso de una muestra de agregado en estado S.

La capacidad de absorción es utilizada para conocer la porosidad de las partículas del agregado y su efecto en el diseño de mezclas. Puesto que el agua de absorción de los agregados no hace parte del agua de mezclado y los agregados presentan algún grado de saturación que depende de las condiciones de almacenamiento y del estado del

tiempo, necesariamente hay que determinar ese grado de humedad en el campo y hacer las correcciones pertinentes para dosificar correctamente los agregados.

La forma más exacta de determinar la humedad de los agregados "in situ", es pesar una muestra inalterada y someterla posteriormente a un secado al horno hasta llevarla a la condición S. De tal forma que el contenido de humedad del agregado (H) es calculado por la diferencia en peso que hay, entre el peso del agregado con humedad natural en patio de almacenamiento y el peso del agregado en esta S, de la siguiente manera:

$$H = [(P_a - P_s) / P_s] 100 \quad (11.13)$$

Donde:

P_a = Peso de una muestra de agregado en condiciones de patio.

P_s = Peso de una muestra de agregado en estado S.

En nuestro caso de estudio, se consideraron los áridos en estado ideal, es decir, en estado seco ($H = 0$).

Seguidamente se procede a hacer la corrección de peso seco a peso húmedo. De manera tal, que la cantidad real de cada agregado que debe ser pesada, será igual a su peso seco incrementado en el porcentaje de agua que contenga, incluyendo el agua absorbida y el agua sobre la superficie de sus partículas. Es decir, que el "peso húmedo" de cada agregado en el momento de su dosificación será igual a:

$$P_h = P_s (1 + H/100) \quad (11.14)$$

Donde:

P_h = Peso húmedo del agregado.

P_s = Peso del agregado en estado S.

H = Porcentaje de humedad del agregado.

En cuanto a las correcciones por humedad y absorción de los agregados, para determinar el faltante o sobrante de agua de mezclado respecto de la condición de saturado y superficialmente seco, se tiene la siguiente expresión:

$$A_a = P_s (H - CA)/100 \quad (11.15)$$

Donde:

A_a = Agua en exceso o defecto respecto de la condición SSS.

P_s = Peso seco del agregado.

H = Humedad del agregado.

CA = Capacidad de absorción del agregado.

La razón de anteponer un signo negativo a la fórmula indica que cuando la humedad es mayor que la capacidad de absorción, el agregado tiene humedad libre y está aportando agua adicional a la mezcla, por lo cual ésta debe ser sustraída del agua de mezclado. En este caso el valor de A tiene signo negativo. En caso contrario, es decir, cuando la capacidad de absorción es mayor que la humedad, el agregado requiere de agua adicional para terminar de saturarse y llegar a la condición de saturado y superficialmente seco, por lo cual esta debe ser sumada al agua de mezclado, en cuyo caso el valor de A_a tiene signo positivo. Finalmente, es importante notar que si la humedad es igual a la capacidad de absorción (estado SSS) no hay ajustes que hacer.

4.5.8.- AJUSTES POR MEZCLAS DE PRUEBA

Habiendo estimado las proporciones de todos los ingredientes, el último paso es preparar una mezcla de prueba usando estas cantidades. Para hacer los ajustes pertinentes, el Comité ACI-211 recomienda lo siguiente:

"Se deben verificar las proporciones calculadas de la mezcla por medio de mezclas de prueba preparadas y probadas de acuerdo con la norma A.S.T.M. C-192 (Fabricación y curado de muestras de hormigón para pruebas a presión y a compresión en el laboratorio), o con mezclas de campo de tamaño completo. Sólo debe utilizarse el

agua suficiente para producir el asentamiento requerido sin considerar la cantidad supuesta en las proporciones de prueba.

Se debe verificar el peso unitario y el rendimiento del hormigón (A.S.T.M. C-138) así como el contenido de aire (A.S.T.M. C-138, C-173 o C-231). También debe observarse cuidadosamente que el hormigón posea la trabajabilidad y las propiedades de acabado adecuadas y que esté libre de segregación. Se deberán hacer los ajustes pertinentes con las proporciones de las mezclas subsecuentes, siguiendo el procedimiento indicado a continuación:

- "Se estima de nuevo la cantidad de agua de mezclado necesaria por metro cúbico de hormigón, dividiendo el contenido neto de agua de mezclado de la mezcla de prueba entre el rendimiento de la mezcla de prueba en metros cúbicos. Si el asentamiento de la mezcla de prueba no fue el correcto, se aumenta o se disminuye la cantidad reestimada de agua en 2 Kg. por cada centímetro de aumento o disminución del asentamiento requerido".
- "Si no se obtuvo el contenido deseado de aire (para hormigón con aire incluido), se estima nuevamente el contenido de aditivo requerido para el contenido adecuado de aire y se reduce o aumenta el contenido de agua de mezclado indicado anteriormente en 3 kg/m^3 por cada 1% de contenido de aire que deba aumentarse o reducirse de la mezcla de prueba previa".
- "Si la base para la dosificación es el peso estimado por metro cúbico de hormigón fresco, la reestimación de ese peso se obtiene reduciéndole o aumentándole el porcentaje determinado por anticipado de aumento o disminución del contenido de aire de la mezcla, ajustada respecto a la primera mezcla de prueba".
- "Se calculan los nuevos pesos de la mezcla partiendo del primer paso, modificando el volumen de agregado grueso, si es necesario, para obtener una trabajabilidad adecuada".

A continuación se detalla el cálculo de dosificación para realizar las mezclas de prueba, que son asignadas con una notación práctica. Esta notación se relaciona

directamente con el tipo de agregado grueso que varía entre cada mezcla y además evita equivocaciones al analizar los resultados:

- **1-N** : Mezcla de prueba con grava “**Natural**” de “**Río Camacho**”

NOTA: Cttes. en las mezclas: **Agua**, **Arena:** “”, **Cemento:** “PUENTE” IP-40

4.6.- PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN

Una vez determinada la dosificación más conveniente, se procede a la fabricación del hormigón. Para ello es necesario, en primer lugar, almacenar las materias primas y disponer de instalaciones de dosificación adecuadas, así como del correspondiente equipo de amasado.

El agua se dosifica en volumen; el cemento y los áridos, en peso, si bien estos últimos pueden dosificarse también en volumen para obras de poca importancia. En tal caso, deben utilizarse recipientes de medida de poca sección y mucha altura, para minimizar los errores que se meten en el enrase. Las materias primas deben amasarse de forma que se consiga una mezcla íntima y homogénea, debiendo resultar el árido bien recubierto de pasta de cemento. El período de batido, a la velocidad de régimen, no será inferior a un minuto, con la posible excepción del hormigón fabricado en central.

No deben mezclarse masas frescas que contengan distintos tipos de cementos no compatibles entre sí. Antes de comenzar la fabricación de una masa con un nuevo tipo de cemento, las hormigoneras deberán limpiarse perfectamente. Debe tenerse mucho en cuenta que el agua total de una masa de hormigón está constituida por el agua directamente añadida a la amasada, el agua que contienen los áridos (tanto de absorción como el agua superficial), el agua residual de lavado que pudiera quedar en la amasadora y, eventualmente, la que pudieran aportar los aditivos.

La Instrucción española distingue las dos formas siguientes de preparar el hormigón.

a) Hormigón fabricado en central.- Es la forma más recomendable. Requiere disponer de una central de hormigonado y de un servicio de control de calidad de producción (apartado 4.2). Se consiguen así una gran homogeneidad y uniformidad de las masas de hormigón. La central puede estar o no a pie de obra y puede o no pertenecer a las instalaciones propias de la obra. Si no pertenece (es decir, si su responsable es independiente del constructor) el hormigón se denomina hormigón preparado.

b) Hormigón no fabricado en central.- Es el fabricado en hormigoneras de obra. Su empleo no es aconsejable salvo en obras de importancia. Por las grandes dispersiones que resultan de este tipo de preparación.

4.6.1.- PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN EN EL LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Abarca el procedimiento de preparación del hormigón, el mismo que se realizó en el laboratorio, bajo un control riguroso de las cantidades de materiales y condiciones de ensayo.

4.6.1.1.-Preparación de los materiales

- a) Por recomendación, los materiales se mantuvieron a la temperatura del ambiente (entre 18° y 24° C) antes de empezar los ensayos.
- b) El cemento se almacenó en un lugar seco del laboratorio, a prueba de humedad. El cemento se mezcló completamente a fin de que la muestra pueda ser uniforme durante todos los ensayos.
- c) Los agregados para cada preparación de hormigón estuvieron de acuerdo con la granulometría deseada. Fueron tratados (Lavado y secado) y además corregidos antes de su empleo, a fin de asegurar una condición de humedad definida y uniforme, esto se realizó con el procedimiento explicado anteriormente en el apartado (4.1.8).

Fig. 4.18

Lavado y Secado de los Agregados



4.6.1.2 Pesada de los materiales

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

Fig. 4.19

Equipo y Material ya Pesado Listo para la Mezcla



4.6.1.3.-M

a) El hormigón fue mezclado en una hormigonera mediana, la misma que era adecuada para la cantidad de hormigón que se debía preparar, dicha cantidad debía ser suficiente para probetas de ensayo, existiría un exceso o margen de seguridad por pérdidas de un 10%.

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

1.- Se introduce primeramente la porción total de arena y luego la de cemento, para que éstas sean mezcladas hasta un estado homogéneo.

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

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

Fig. 4.20

Proceso de Mezclado del Hormigón



4.6.1

- a) La consistencia de cada preparación de hormigón se midió inmediatamente después de mezclar, realizando el ensayo de asentamiento, utilizando el método del Cono de Abrams (2.4.1.1).
- c) Todo el hormigón empleado para el ensayo de asentamiento es devuelto al recipiente de mezcla e inmediatamente se procede a vaciar la mezcla en los moldes de realización para vigas y probetas correspondientemente.

Fig. 4.21

Ensayo de Asentamiento de la Mezcla



4.6.1.5.-Número de probetas de prueba

Para cada variable, período o condición de ensayo se prepararon un número igual de probeta cilíndrica de compresión, la misma que nos sirve para el control de la dosificación y resistencia del hormigón.

Las vigas para la variable dada en la mezcla (en nuestro caso, la variable básica que se definió para comenzar el estudio fue la edad del hormigón), se realizaron en tres preparaciones diferentes (edad de 7, 14 y 28 días). Para cada preparación se realizó una probeta en un día determinado.

4.6.1.6.-Procedimiento de vaciado y realización

- El hormigón es colocado en capas de aproximadamente 3 pulgadas de espesor y cada capa se golpea y penetra con una varilla metálica de 3/4 apisona 25 veces por cada capa sobre la superficie.
- Para la capa superior el molde deberá llenarse en exceso, hasta sobrepasarlo y garantizar la cantidad necesaria para la probeta.
- Después de que cada capa es golpeada y penetrada con la barra, el hormigón es enrasado en el molde con herramienta adecuada, guiándose por los bordes del molde.
- Los costados de los moldes se golpean ligeramente e insistentemente para cerrar los vacíos y eliminar burbujas.
- Después de completar las operaciones de consolidación indicadas antes, la capa superior o final se debe nivelar con una regla metálica y el alisado final se hace con una regla de madera o badilejo.

Fig. 4.22

Procedimiento de Vaciado y Realización de Probetas



- Las vigas de concreto deben cubrirse con plástico inmediatamente después de su colocación y se deben cubrir con una capa de plástico para evitar la pérdida de agua por evaporación. El molde pasará a ser utilizado para la siguiente probeta.

- Durante el tiempo que permanezca en los moldes, las vigas se deben mantener a una temperatura entre 18 y 24° C.

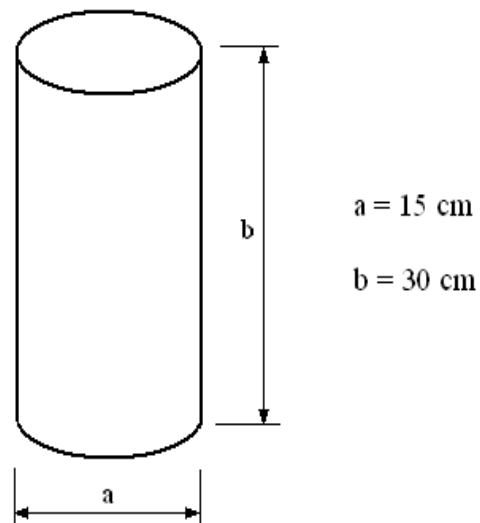
4.6.2.-PROBETAS PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

4.6.2.1.- Forma y dimensiones

Las probetas para el ensayo de compresión son de forma cilíndrica con una longitud igual a dos veces el diámetro. Las probetas cilíndricas Standard son de 15cm de diámetro y 30cm de alto para hormigón con agregado grueso de tamaño nominal inferior a 2". Para probetas de ensayo más pequeñas, la relación entre el diámetro de la probeta y el tamaño máximo del agregado será de por lo menos 3:1, excepto que el diámetro de la probeta no debe ser menor de 3" para mezclas que contienen agregado con un 5% de material retenido en el tamiz N° 4. Para hormigón que contiene partículas de agregado de tamaño nominal mayor de 2", las probetas cilíndricas tendrán un diámetro de por lo menos 3 veces el tamaño nominal máximo del agregado (Fig. 4.11).

4.6.2.2.- Forma y Dimensiones de Probeta para Compresión

Fig. 4.23

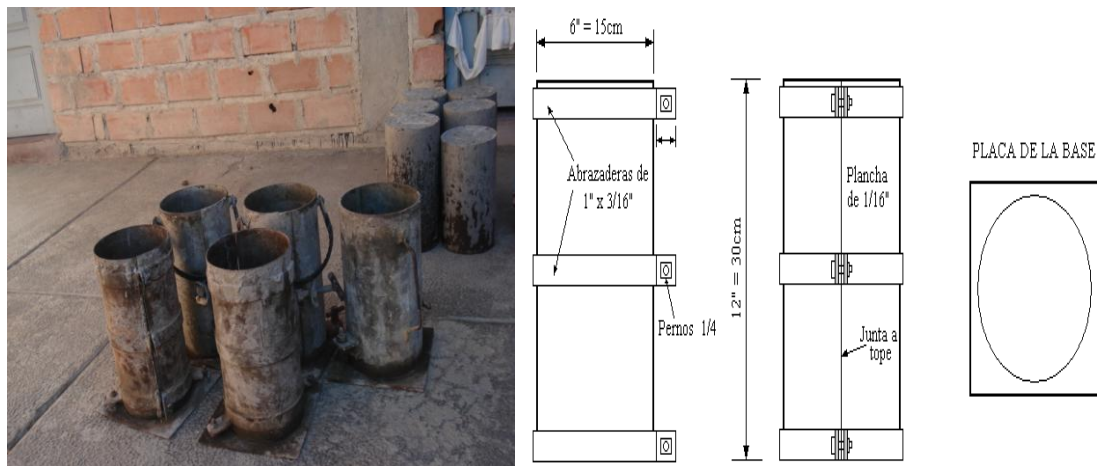


4.6.2.3.- Moldes para probetas de compresión

Los moldes para las probetas cilíndricas de ensayo, son de metal y están provistos de una placa metálica lisa y plana. El interior del molde y la placa metálica de la base se cubren con una capa delgada de aceite mineral o grasa antes de preparar cada cilindro de hormigón, para evitar que el hormigón se pegue al molde cuando comience su endurecimiento (Fig. 4.12).

Fig. 4.24

Molde para Probeta Cilíndrica de Hormigón



4.6.2.4.- Procedimiento de vaciado y realización

- Los cilindros de ensayo son preparados colocando el hormigón en el molde en 3 capas de aproximadamente igual volumen.
- Al colocar cada cucharada de hormigón, la cuchara se hace girar alrededor del borde superior, para que el hormigón se deslice por las paredes internas del molde y se distribuya uniformemente. Cada capa se debe golpear 25 veces con una barra metálica de 5/8" de diámetro y 60cm de largo con punta redondeada.
- Los golpes son distribuidos uniformemente sobre la sección y de manera que penetren apenas en la capa de abajo, o en todo su espesor, si es la inferior. Después que la capa superior ha sido golpeada la superficie del hormigón debe ser alisada con una llana y cubierta con una placa de vidrio o metal para evitar la evaporación.

- Las bases de los cilindros de ensayo pueden ser alisadas entre 2 y 4 horas después de su preparación, empleando una pasta de cemento bastante rígida y que tenga también 2 y 4 horas de hecha, con lo que se conseguirá que no se raje por contracción al fraguar. El espesor de esta capa debe ser el mínimo pero menor del necesario para que no quiebre bajo la acción de la presión de la máquina de ensayo. Esta capa delgada será formada por medio de una placa de vidrio de $\frac{1}{4}$ " de espesor o de una placa metálica de $\frac{1}{2}$ " de espesor y cuyas dimensiones en la superficie sean de por lo menos 1 pulgada mayores que el diámetro del molde, la cual se hará mover sobre la pasta de cemento hasta que su superficie inferior descansa sobre la parte superior del molde. A fin de evitar que el hormigón se pegue a las placas superior e inferior es necesario cubrirlas con aceite o grasa.
- Los cilindros de ensayo se remueven de los moldes de 20 a 48 horas después de su preparación y son sumergidos para su curado o almacenados en un cuarto húmedo a una temperatura de 18 a 24° C hasta el momento del ensayo.

Fig. 4.25

Proceso de Obtención para Probetas de Compresión



4.6

4.6.3.1.-GENERALIDADES

De las operaciones necesarias para la ejecución de elementos de hormigón, posiblemente sea el curado la más importante, por la influencia decisiva que tiene en la resistencia y demás cualidades del elemento final. Durante el proceso de fraguado y primeros días de endurecimiento, se producen pérdidas de agua por evaporación, creándose una serie de huecos o capilares en el hormigón que disminuyen su resistencia. Para compensar estas pérdidas y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de resistencias, el hormigón debe curarse con abundancia de agua.

La falta de curado es especialmente grave para la durabilidad de la estructura, ya que ésta depende de la impermeabilidad (y por tanto, de la compacidad) de las capas exteriores de hormigón, que son precisamente las más sensibles a una falta de curado. En efecto, el núcleo de las piezas (salvo que sean muy delgadas) mantiene el contenido de humedad durante un periodo prolongado, y se ve menos afectado por la falta de curado que las capas superficiales. En consecuencia, de no curarse bien el hormigón, la capa de recubrimiento de las armaduras resultará porosa y permeable, con lo que la vida útil de la estructura se verá gravemente mermada.

El agua de curado debe ser apta para el fin que con ella se persigue. Véase el apartado (2.2.1).

En general, los métodos y procedimientos de curado que aportan agua resultan más eficaces que los que impiden su evaporación. Como es obvio, la duración e intensidad del curado dependen, fundamentalmente, de la temperatura y humedad del ambiente, así como de la acción del viento y del soleamiento directo; otras variables importantes son el tipo y la cantidad de cemento, la relación A/C y, en particular, las condiciones de exposición de la estructura en servicio, ya que a mayor severidad de éstas se requerirá un curado más prolongado.

4.6.3.2 PRECAUCIONES EN LA ETAPA DE CURADO

Mientras no se han concluido los procesos de curado y endurecimiento del hormigón, es necesario evitar cualquier causa externa que pueda agrietarlo, tales como

sobrecargas, choques o vibraciones excesivas, originadas por los trabajos de construcción del resto de la obra.

Ejemplos típicos de lo dicho son las acumulaciones de material (tales como acopios de ladrillo en forjados de edificación), las trepidaciones que originan algunas máquinas auxiliares de obra y los impactos involuntarios que puedan producirse sobre soportes u otros elementos. Si no es posible evitar este tipo de acciones, deberán protegerse adecuadamente las piezas, así como sus paramentos y aristas.

Como idea general y para unas condiciones medias, se ve que con cemento Pórtland normal y para elementos de hormigón armado, el período de curado mínimo debe ser de siete días, plazo que puede reducirse a la mitad si el cemento es de altas resistencias iniciales como el cemento IP-40. Por el contrario, hay que aumentarlo a quince días cuando se trate de cementos lentos.

Cuando se hormigona en tiempo seco o cuando los elementos de hormigón van a estar en ambiente agresivo, los períodos de curado anteriormente citados deben aumentarse en un 30 por 100.

En el caso de grandes superficies (pavimentos, soleras, etc.), el curado por aportación de humedad se sustituye a menudo por el empleo de productos de curado, que protegen la superficie del hormigón e impiden la evaporación del agua interna del mismo. Se emplean para ello distintos tipos de recubrimientos a base de aceites, resinas, plásticos, etc. Conviene que los productos sean coloreados para poder apreciar su reparto, siendo preferible el color blanco que refleja los rayos solares. Su aplicación debe hacerse desde el momento en que ha refluído la lechada y ésta comienza a perder su brillo.

4.6.3.3 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS

a) Objeto

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

b) Aparatos

La máquina de ensayo utilizada fue una prensa hidráulica de compresión “ELE Soiltest” de 2000 KN. de capacidad, perteneciente al laboratorio de suelos y hormigones de la U.A.J.M.S., la misma que proporciona una velocidad de carga adecuada y está equipada con dos placas de apoyo de acero, una de las cuales es una placa de alojamiento esférico que normalmente se apoya sobre la base superior de la probeta y la otra una placa rígida común sobre la cual descansa la probeta. Las caras de apoyo son de un tamaño ligeramente mayor que la superficie de la probeta a la cual se aplica la carga. En la placa de alojamiento esférico, el diámetro de la esfera no excede en mucho al diámetro de la probeta y el centro de la esfera coincide con el centro de la cara de apoyo.

c) Procedimiento

- La placa inferior de apoyo se coloca sobre la platina de la Máquina de ensayo directamente debajo de la placa superior de alojamiento esférico.
- Después de limpiar la cara de apoyo se coloca la probeta de ensayo sobre ella. El eje de la probeta se alinea en forma cuidadosa con el centro de empuje de la placa de alojamiento esférico. A medida que la placa superior es traída en contacto con la probeta, su porción movable se hace girar a mano en forma suave de modo de obtener un apoyo uniforme.
- La carga se aplica continuamente, sin sacudidas o choques a una velocidad constante entre 1.4 a 2.1 Kg./cm² por segundo. Durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima se permite una velocidad mayor de aplicación de la carga.
- La carga se aumenta hasta que la probeta se rompe y se anota la carga máxima llevada por el hormigón durante el ensayo, así como el tipo de rotura y la apariencia del hormigón.

Fig. 4.26

Ensayo de Resistencia a Compresión Simple en Probetas

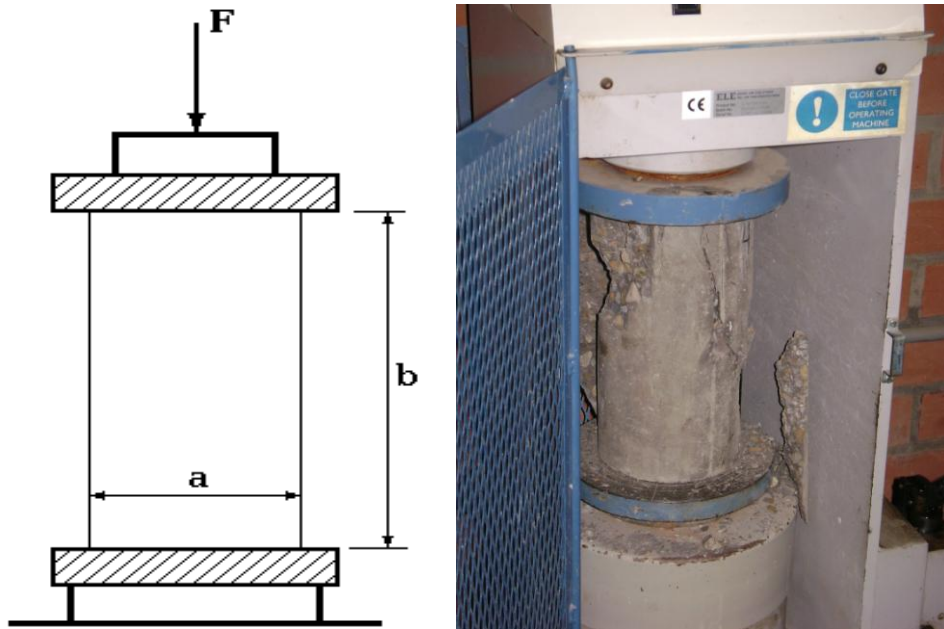


Fig. 4.27

Procedimiento del Ensayo de Compresión en Probetas



d) Cál

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula con la siguiente relación:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (11.18)$$

Donde:

f_c = Resistencia a la compresión del hormigón

F = Carga máxima llevada por la probeta durante el ensayo (Kg.)

A = Área o sección promedio de la probeta (cm^2)

La resistencia alcanzada será expresada con una aproximación de 0.7 Kg./cm^2

A continuación se detallan todas las planillas que contienen los resultados de roturas del hormigón, que posteriormente se procesan para obtener los datos de tracción y compresión requeridos:

4.7 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Con las siguientes gráficas se presentan los resultados de resistencias de las probetas de la investigación los cuales están más detallados en los anexos adjuntos a la investigación.

4.7.1 RESULTADOS DE LABORATORIO

Resistencia a compresión y característica del hormigón

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas. Ahora bien, los valores de ensayos que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El problema puede plantearse así: dados n resultados obtenidos al ensayar a compresión simple n probetas cilíndricas 15 x 30 cm. de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y por consiguiente, del propio hormigón.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f_{cm} de los n valores de roturas, llamada resistencia media. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

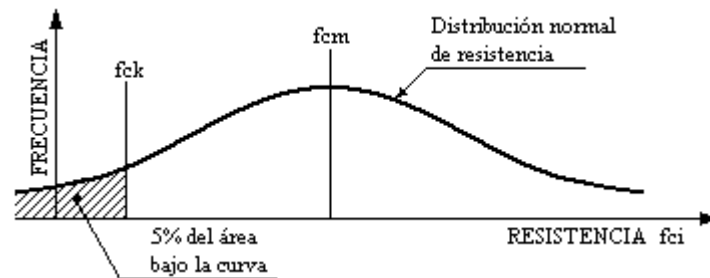
Si se tiene dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda de que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es que, el adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado modernamente el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta no sólo el valor de la media aritmética f_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación δ , de la serie de valores.

a) Se define, como resistencia característica f_{ck} , del hormigón a aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal (Fig. 2.5), la resistencia característica viene dada por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm}(1 - 1.64\delta) \quad (2.1)$$

Definición de Resistencia Característica (f_{ck})



Donde f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (2.2)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad (2.3)$$

No debe confundirse la expresión dada para f_{ck} , que es una definición (válida para $n = \infty$), con los estimadores de la resistencia característica, que se emplean para aceptar o rechazar un hormigón determinado en obra, a partir de un número relativamente pequeño de determinaciones.

b) El valor del coeficiente de variación δ depende de las condiciones de ejecución del hormigón. Para los hormigones fabricados en central el coeficiente de variación suele oscilar entre 0,08 y 0,20, según la calidad de la planta. Un coeficiente de variación superior a 0,20 es propio de los hormigones fabricados a mano o en pequeñas hormigoneras de obra, los cuales no son aconsejables salvo para obras de pequeña importancia.

c) El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15 x 30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico. Siempre que se hable, en esta obra, de resistencia característica, se refiere a la primera definición, salvo advertencia en contrario.

d) Cuando se trata de soportes, muros y, en general, de piezas de pequeña sección que se hormigonan verticalmente de una sola vez, existe un efecto de refluxión de mortero hacia la parte superior durante la compactación del hormigón, el cual queda mejor consolidado en la base (debido al peso de la masa fresca que gravita sobre ella) y más debilitado en su tercio más alto. En consecuencia, el valor de la resistencia característica del hormigón de soportes puede estimarse en el 90 por 100 del valor f_{ck} que corresponde a probetas enmoldadas, las cuales son representativas del hormigón de la base pero no del hormigón del tercio superior. Por lo dicho, cuando se trata de soportes o muros de pequeña sección, resulta prudente afectar la resistencia de cálculo del hormigón de un coeficiente 0,9 aún cuando las normas no obligan a ello. Como es natural, este efecto no se produce en soportes prefabricados, que se hormigonan en horizontal.

e) El Código Modelo *CEB-FIP 90* tipifica los hormigones, con arreglo a su resistencia característica, según la serie:

12, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80

Donde las resistencias se expresan en N/mm^2 (MPa). Por su parte, la Instrucción española recomienda utilizar la serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

Añadiendo que el empleo de la resistencia 20 se limita a hormigones en masa (dicho de otro modo, que la resistencia mínima empleable en hormigón armado es 25 N/mm²). Con esta limitación se pretende asegurar una mayor durabilidad de las estructuras de hormigón.

a) En definitiva, los valores recomendables de f_{ck} son 25 y 30 N/mm² para estructuras de edificación, reservándose los restantes valores de la serie para obras civiles, obras de hormigón pretensado y prefabricación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Luego de concluido el trabajo de laboratorio y el correspondiente análisis de los resultados obtenidos, se rescatan las siguientes conclusiones:

Como conclusión de la trabajabilidad se tienen los siguientes resultados:

- Como los resultados anteriormente representados en una tabla se puede apreciar los diferentes asentamientos, tipo de construcción y consistencia de la mezcla obtenidas de la investigación se hace notar que a mayor adición del aditivo Sika Viscocrete en el hormigón la trabajabilidad aumenta para una mejor eficiencia todo esto reduciendo el agua en la mezcla, pero teniendo un límite ya que trabajando con el mayor porcentaje del aditivo permitido la mezcla se hace totalmente intrabajable manualmente, pero esta mezcla es autocompactante por su consistencia por tanto no necesita vibración.
- Para una mejor trabajabilidad se puede adicionar al hormigón el aditivo Sika Viscocrete de forma que éste no afecte demasiado la características del mismo, los cuales resultado de la investigación se puede adicionar hasta un 1,25 % del peso del cemento ya que este porcentaje la mezcla no sufre cambios muy notorios en la mezcla del hormigón y se puede obtener una mejor trabajabilidad, resistencia, consistencia.
- Pero adicionando al hormigón por ejemplo con el 2% del peso del cemento que es el límite de permisible, la mezcla sufre cambios muy notorios como la consistencia muy húmeda por lo tanto es deformable y intrabajable. Esto se pudo obtener un resultado más exacto al tener más variables entre el valor superior como inferior de la adicción del Sika Viscocrete sin embargo la resistencia se obtiene en valores muy altos de esta mezcla intrabajable.

- El utilizar como variante este tipo de aditivo como el Sika Viscocrete 5-800 se comprende la capacidad del mismo para mejorar propiedades de la mezcla del hormigón tanto en su fluidez, trabajabilidad y en el incremento de su resistencia las cuales son las propiedades más importantes en el hormigón.
- El aditivo Sika Viscocrete permite trabajar con una misma dosificación del hormigón para realizar variaciones en el contenido de humedad, ya que este tipo de aditivo es un reductor de agua por lo cual existe un incremento en resistencia del hormigón, también permite obtener resistencias mayores a la de la dosificación apuntada lo cual es el objetivo de una buena dosificación.
- Uno de los principales aspectos a tomar en cuenta, es la mayor resistencia en la mezcla que se usó el aditivo Sika Viscocrete por lo cual se puede reducir el uso del cemento, abaratar los costos de este tipo de hormigón, esto se puede realizar de una forma gradual y dentro de los parámetros que permitan obtener un hormigón más económico la cual es el objetivo principal de una dosificación, esto para un estudio más exhaustivo del aditivo con el hormigón.
- Otro de los aspectos importantes es el de tener cuidado en la reducción del agua en la mezcla del hormigón realizando esto con valores en porcentaje de 5% , 10%, 15% del peso del cemento en base de la dosificación inicial los cuales son valores que se pueden controlar a medida que los materiales forman la mezcla de hormigón.
- Tiene mucha importancia el que hayamos controlado la totalidad de las mezclas de prueba con la realización de probetas para compresión, porque permitió controlar desde la dosificación para llegar a la resistencia de diseño hasta el correcto procedimiento. Esto se fundamenta en el hecho de que el estudio se basa y consiste en analizar el comportamiento del hormigón ante la adición de este aditivo Sika Viscocrete; para esto se determinaron resistencias a la compresión del hormigón, que se obtuvo a partir de los principios y procedimientos correspondientes al de compresión cilíndrica.

- El aplicar un método comparativo al momento de analizar datos y resultados es una forma muy práctica y demostrativa de explicar los principales aspectos e incógnitas de un estudio, ya que se valió de estándares y valores normalizados para relacionarlos con los obtenidos en experimentos, procedimientos y experiencias propias.
- El análisis realizado tuvo una base matemática y estadística, dando como resultado una serie de curvas y gráficas que se correlacionan. Estos van acompañados de un resumen de datos tabulados correspondientes a la caracterización de los componentes del hormigón practicado. Los resultados se presentan de esa manera con el fin de resolver el objetivo principal del proyecto y también por motivos de practicidad al momento de hacer uso de dichas graficas.
- Por último, es importante resaltar que todos los ensayos y análisis realizados estuvieron acordes con las normas y límites que rigen un estudio de este tipo, por lo que los resultados obtenidos son de total credibilidad. Este análisis es corroborado por las probetas de compresión practicadas, las mismas que cumplieron perfectamente con las resistencias de diseño para las cuales se dosificaron:

RECOMENDACIONES

Para viabilizar futuras experiencias y estudios se permite las siguientes recomendaciones:

- La cantidad de agua a reducir en la mezcla por este tipo de aditivo se tiene que realizar de una forma muy cuidadosa, realizando un estudio previo de una dosificación inicial sin agregar este aditivo Sika Viscocrete 5-800, lo cual da parámetros que permiten tener referencia del comportamiento del hormigón para realizar correcciones en sus cantidades luego proporcionar al hormigón las cantidades exactas de adición del aditivo y de la reducción de agua, así obtener el hormigón con todas sus características como asentamiento, trabajabilidad y consistencia .
- Realizar correctamente todos los ensayos de caracterización en los materiales componentes del hormigón, para así tener una buena información sobre éstos, puesto que de esto dependerán las características y propiedades finales del hormigón con esta dosificación inicial dependerá todos los parámetros para trabajar con el aditivo Sika Viscocrete.
- Ejecutar de forma precisa todos los pasos indicados en la dosificación del hormigón, sea el método que fuere, para no incurrir en errores al momento de elaborar las mezclas de prueba, obteniendo así valores erróneos.
- Realizar la mayor cantidad posible de ensayos probetas de hormigón, para tener una mayor precisión en los resultados, en cuanto a las proporciones de los componentes como valores finales de las características mecánicas y otros, ya que los distintos métodos de dosificación, son sólo orientativos los cuales ya obtenida la resistencia real se realiza las correcciones pertinentes en volumen y Humedad.
- Se debe practicar las correcciones por absorción del agregado al momento de dosificar, para así no alterar las cantidades correctas de agua de mezclado. No se debe maximizar la cantidad de agua especificada en la dosificación tipo o de prueba, porque se causará una reducción en la resistencia del hormigón, aunque la

mezcla adquiera mayor trabajabilidad. Reducir el agua de mezclado en algún porcentaje, aumentaría la resistencia del hormigón pero ocasionaría dificultad en el proceso de mezclado entre sus componentes todo esto se mejora con el aditivo Sika Viscocrete 5-800 ya que es un reductor de agua en el hormigón y mejora la trabajabilidad y la resistencia sin ser necesario aumentar agua a la dosificación al contrario se la reduce controladamente.

En general, se puede indicar que no se debe descuidar la cantidad de agua de diseño en obra, logrando de esta manera mantener todas las propiedades del hormigón con que ha sido diseñado, evitando fisuras, mala calidad y hasta colapsos en las estructuras.

- Se debe trabajar en un rango entre 5cm y 10cm (7cm) de asentamiento, lo que permite mantener en un estado de consistencia entre semiseca y media, que proporciona una buena trabajabilidad en la mezcla. Al hacer uso de este aditivo se puede perder el control en el asentamiento si no se trabaja con mucho cuidado y control en la dosificación inicial que permite reducir el agua de forma gradual.
- Se debe tener mucho cuidado con la temperatura ambiente en el momento de realizar las mezclas y tomar muy en cuenta los límites explicados en el apartado (2.4.5) del marco teórico, porque los climas extremos verdaderamente pueden llegar a afectar los procedimientos y resultados esperados.
- Una vez vaciada la mezcla en los moldes, éstos se deben almacenar en un lugar apartado, que esté libre de movimientos e impactos y así lograr que transcurra su etapa de fraguado sin alteraciones, las mismas que llegarían a afectar a la posterior resistencia que adquiera el hormigón. También en un lugar que se conserve la horizontalidad de la probeta para no afectar la resistencia en el momento de la rotura
- De igual forma, se debe tener mucho cuidado al manipular las probetas que se encuentren listas para su rotura, en lo posible evitar los impactos, porque esto también provoca un decremento considerable en su resistencia.

- Por último, se hace una recomendación muy importante, dirigida hacia el manejo y procesamiento de los datos que son producto de la caracterización y ensayos de rotura en general. Un procesamiento debe ser consistente en analizar la información obtenida, comenzando por un simple control de datos faltantes y dispersos, siguiendo por una depuración estadística y finalmente exponiendo de forma clara todos los métodos matemáticos y estadísticos para adquirir de forma tabulada y gráfica todos los resultados propuestos.