



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la Obtención del título de Ingeniero Civil

**DISEÑO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE PARA
ESTRUCTURAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO**

Autor: Jefferson Fernando Benavides Rea

Tutor: Ing. Hernán Toledo

Quito – Ecuador

Junio – 2016

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero **Hernán Toledo**, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: “DISEÑO DE HORMIGON AUTOCOMPACTANTE PARA ESTRUCTURAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” del estudiante **Jefferson Fernando Benavides Rea**, alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito D.M., junio de 2016

El Tutor.-



Ing. Hernán Toledo

C.C.: 1103214285

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, **Jefferson Fernando Benavides Rea**, declaro que el trabajo de investigación denominado: “DISEÑO DE HORMIGON AUTOCOMPACTANTE PARA ESTRUCTURAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Quito D.M., junio de 2016



Jefferson Fernando Benavides Rea

C.C.: 1711290856

DEDICATORIA

*Este proyecto de tesis va dedicado a mis padres, que
con su tenacidad e insaciable lucha ante las
adversidades han hecho de ellos el ejemplo a seguir,
no solo para mí, sino también para mis hermanos.*

*A mis hermanos, que han sido amigos y compañeros
de aventuras y experiencias, de risas y tristezas.*

*A ellos va dedicado este proyecto, gracias por ser
parte de mi vida.*

Jefferson Fernando

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Hernán Toledo, quién en este período ha puesto sus conocimientos en el desarrollo de este proyecto.

A mis padres quienes me han apoyado y motivado para culminar mi formación académica, ellos que han confiado en mí sin escatimar esfuerzos.

A la Universidad Internacional del Ecuador y a sus profesores, a quienes debo mis conocimientos, gracias por su paciencia y enseñanza, preparándonos para el futuro y formándonos como personas de bien.

A Dios por guiarme en cada uno de los pasos que doy.

Jefferson Fernando

ÍNDICE GENERAL

Aprobación del tutor	I
Autoría del trabajo de investigación	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	IV
Indice general.....	V
Indice de fotografías.....	VIII
Indice de tablas	IX
Indice de figuras.....	X
Resúmen.....	xi
Introducción	XII
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Tema	1
1.2. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2. Formulación del Problema	2
1.3. Objetivos General y Específicos	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Alcance	3
1.5. Justificación.....	4
1.6. Planteamiento Metodológico	4
1.7. Planteamiento Ecológico y Ambiental	5
1.8. Viabilidad y Factibilidad	5
1.9. Hipótesis	6
CAPÍTULO II	7
2. EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	7
2.1. Definición del Hormigón Autocompactante.....	8
2.2. Desarrollo del Hormigón Autocompactante.....	9
2.3. Ventajas de utilización del Hormigón Autocompactante	11
2.4. Aplicaciones Prácticas del Hormigón Autocompactante.....	12
CAPÍTULO III.....	15
3. MATERIALES CONSTITUYENTES	15
3.1. Cemento	15
3.1.1. Reseña Histórica del cemento Portland.....	16
3.1.2. Procesos de fabricación y componentes	17
3.2. Agregados	33

3.2.1. Clasificación General del Agregado	33
3.2.2. Muestreo de Agregado	34
3.2.3. Forma y textura de las partículas	37
3.2.4. Granulometría del agregado	47
3.3. Aditivos	52
3.3.1. Aditivo reductor de agua Hiperplastificante.....	53
CAPÍTULO IV	55
4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	55
4.1. Estado fresco del HAC.....	55
4.1.1. Capacidad de Relleno	56
4.1.2. Resistencia a la Segregación	57
4.1.3. Capacidad de Paso	58
4.2. Métodos de Ensayo	59
4.2.1. Extensión Flujo.....	59
4.2.2. Embudo V	62
4.2.3. Caja en L	64
4.3. Estado Endurecido del HAC	66
4.3.1. Resistencia a compresión	66
4.3.2. Resistencia a tracción.....	68
4.3.3. Módulo de elasticidad	68
CAPÍTULO V	70
5. DISEÑO DE MEZCLAS	70
5.1. Introducción.....	70
5.2. Materiales constituyentes del HAC.....	71
5.2.1. Cemento	71
5.2.2. Agregados gruesos.....	73
5.2.3. Agregados finos	79
5.2.4. Aditivos Superplastificante	84
5.2.5. Agua	86
5.4. Diseño de Mezclas	87
5.4.1. Método ACI (American Concrete Institute).....	87
5.5. Ensayos de fluidez	104
CAPÍTULO VI.....	106
6. RESULTADOS	106
6.1. Costo Unitario del HAC.....	107
CAPÍTULO VII	108
7. CONCLUSIONES.....	108
8. RECOMENDACIONES	109
Bibliografía	111
Anexos	112
Ensayo de abrasión del agregado grueso	113
Peso unitario del agregado grueso	114
Contenido de humedad del agregado grueso	115
Gravedad específica y absorción del agregado grueso	116

Granulometría por mallas del agregado grueso	117
Peso unitario del agregado fino	118
Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	119
Contenido de humedad del agregado fino	120
Granulometría por mallas del agregado fino	121
Contenido orgánico del agregado fino.....	122
Diseño de hormigón – método ACI $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (con aditivo).....	123
Diseño de hormigón – método ACI $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (sin aditivo).....	131
Hoja de control de producción de hormigón simple de cemento portland ...	139
Análisis de precios unitarios	143
Especificaciones técnicas de la EPMAPS	147
Hoja técnica de producto SIKAPLAST 1010	163

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - llenado del cono de Abrams	61
Fotografía 2 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - Extensión final del hormigón	61
Fotografía 3 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo – Variante con el anillo japonés	62
Fotografía 4 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - Embudo en V	64
Fotografía 5 - Ensayos en estado fresco: Caja en L	66
Fotografía 6 - Cemento Portland Tipo I	72
Fotografía 7 - Ubicación de la cantera de Pifo	74
Fotografía 8 - Agregado grueso - cantera de Pifo	74
Fotografía 9 - Ubicación de la cantera de Tanlagua	79
Fotografía 10 - Agregado fino - cantera de Tanlagua	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Composición química del cemento	22
Tabla 2 - Composición de compuestos por tipos de cemento	24
Tabla 3 - Límites para granulometría del agregado fino (Norma ASTM C33)	49
Tabla 4 - Límites para granulometría del agregado grueso (Norma ASTM C33)	50
Tabla 5 - Requisitos de gradación para áridos gruesos (Norma NTE INEN 872:2011).....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Características del puente colgante Akashi Kaikyo	13
Figura 2 - La Torre de Cristal – Madrid – España	14
Figura 3 - Diagrama de resistencia de concretos elaborados con distintos tipos de cementos.....	24
Figura 4 - Proceso de fabricación del Cemento Portland.....	26
Figura 5 - Método de cuarteo (Norma NTE INEN 2 566:2010)	36
Figura 6 - Método Mecánico (Norma NTE INEN 2 566:2010)	37
Figura 7 - Estados de saturación de los agregados	44
Figura 8 - Estados de saturación de los agregados	46
Figura 9 - Ensayos en estado fresco: Embudo en V	63
Figura 10 - Ensayos en estado fresco: Caja L.....	65

RESÚMEN

Durante la etapa de investigación se determinó la factibilidad de realizar un hormigón fluido, el cual cumplía con las propiedades físico mecánicas determinadas por las especificaciones técnicas, además de mejorar los tiempos utilizados por los obreros en la construcción de estructuras. En el presente estudio se realizó la comparación de dos alternativas de dosificación de hormigón para resistencias de $f'c=280$ y 350 kg/cm^2 , en las cuales se utilizaron aditivo superplastificante y agua, para dar la fluidez de los muestras. Utilizando las normas NTE INEN y ACI, se realizó los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de los materiales necesarios para realizar la muestra de hormigón, realizándose las pruebas de resistencia a 7, 14 y 28 días. De los resultados obtenidos se estableció que la inclusión de agua en la dosificación alteraba las propiedades del hormigón endurecido, al contrario de la muestra que incluye un aditivo superplastificante, que cumplió con los parámetros solicitados.

Palabras clave: *hormigón autocompactante; agregados; diseño de mezclas; ACI; superplastificante; pruebas de resistencia.*

INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactante es aquel hormigón cuya característica principal es su capacidad de fluir y rellenar correctamente el volumen del encofrado por la acción de su propio peso, esto es sin la ayuda de ningún método de compactación o vibración mecánica, sin embargo el proceso de fabricación depende de varios factores como son la dosificación y mezcla de los materiales, transporte, vaciado y curado, factores en los que interviene la mano de obra.

A fin de evitar que los trabajadores de la construcción tengan directa influencia en el comportamiento del hormigón resultante, surge la necesidad de evitar los posibles errores humanos que puedan incurrir por una deficiente o nula compactación de los elementos estructurales, por medio de un hormigón que sea capaz de fluir libremente por la acción de su propio peso.

Entre las ventajas del hormigón autocompactante frente al hormigón convencional podemos citar las propiedades mecánicas en estado fresco, debido principalmente al contenido de finos, aditivos, y agregado grueso de menor tamaño; además de ser un hormigón fluido, cohesivo, homogéneo, resistente a la segregación, con alta trabajabilidad, autocompactable, de buena apariencia, y lo más importante es un hormigón durable con altas resistencias mecánicas, además al eliminar el uso de vibradores mecánicos, disminuye el nivel de ruido en los sitios de trabajo, evitando lesiones en los trabajadores.

Como solución a estos problemas, en el año de 1986 en Japón, en la Universidad de Tokio, en el Departamento de Ingeniería Civil, el profesor Hajima Okamura realiza el primer caso de hormigón autocompactante (HAC) el cual empleaba escoria granulada procedente de los altos hornos y cenizas volantes junto con un aditivo químico específico denominado superplastificante (3% del contenido de cemento).

El presente trabajo corresponde al diseño de hormigón autocompactante de resistencia promedio de $f'c = 280$ y 350 kg/cm^2 , siendo estos los que más se emplean en las estructuras de agua potable y alcantarillado, cuya durabilidad y resistencia depende de la composición de los materiales y su dosificación, dentro de los objetivos están el realizar el diseño de hormigón autocompactante con la inclusión de un aditivo reductor de agua, cuya resistencia sea mayor o igual a 280 kg/cm^2 ; así mismo se deberá comprobar si un hormigón puede ser autocompactante sin la inclusión de un aditivo y alcanzar igual resistencia; revisaremos la máxima resistencia alcanzada y el costo referencial por cada metro cúbico de hormigón.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. TEMA

Diseño de hormigón autocompactante para estructuras de agua potable y alcantarillado.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del Problema

Las obras de infraestructura que realiza la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) a través de los contratistas, en el Distrito Metropolitano de Quito, requieren la garantía de una vida útil para las estructuras de por lo menos de 50 años, resistencia que se consigue elevando el grado de compactación del hormigón, y cuyas propiedades mecánicas deberán ser principalmente la impermeabilidad y alta resistencia a los ataques de agentes externos.

Existe la dificultad de conseguir estas propiedades en los hormigones elaborados en sitio debido al difícil acceso y al reducido espacio de recubrimiento que queda entre la armadura y el encofrado, además el equipo utilizado para realizar la compactación mecánica de los hormigones no puede acceder a todos los espacios, debido a los largos tramos de acarreo manual del

combustible, del propio equipo, y en muchos casos por lugares confinados de escasa ventilación que se complican por la combustión.

En los proyectos de construcción de Estructuras Hidráulicas, ejecutados por contratistas de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito, tienen inconvenientes con los hormigones realizados en obra, por el difícil acceso a las estructuras, espacios confinados, materiales utilizados y falta de control de calidad.

1.2.2. Formulación del Problema

La realización del presente trabajo pretende responder, de forma sistemática y argumentada, la siguiente pregunta:

¿Es viable, económica y técnicamente, realizar diseño de hormigón autocompactante para que mejore la calidad de las estructuras hidráulicas de agua potable y alcantarillado, y cumplan con las especificaciones técnicas de la EPMAPS?

1.3. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar hormigón autocompactante para estructuras de agua potable y alcantarillado.

1.3.2. **Objetivos Específicos**

- ✚ Identificar la dificultad de realizar la compactación en obra que garantice un hormigón que cumpla las características solicitadas.
- ✚ Diseñar un hormigón autocompactante con la inclusión de aditivo reductor de agua, cuya resistencia sea mayor o igual a 280 kg/cm^2 .
- ✚ Comprobar si un hormigón puede ser autocompactante sin la inclusión de un aditivo y alcanzar una resistencia mayor o igual a 280 kg/cm^2 .
- ✚ Revisar la resistencia alcanzada de las mezclas.
- ✚ Establecer si las características del hormigón autocompactante diseñado cumple con las especificaciones técnicas de la EPMAPS para estructuras hidráulicas.
- ✚ Establecer el costo referencial por metro cúbico de hormigón autocompactante diseñado.

1.4. **ALCANCE**

El presente trabajo comprende el diseño de mezclas de hormigón cuyas resistencias van de $f'c = 280$ y 350 kg/cm^2 , con materiales pétreos de las minas de Pifo y San Antonio de Pichincha, con la inclusión de un aditivo reductor de agua hiperplastificante, de manera de obtener un hormigón autocompactante.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En el nivel académico, el presente estudio busca convertirse en un aporte significativo para los contratistas, dando una alternativa de solución al problema de la fabricación de hormigones en obra, para evitar la baja calidad en el terminado de las estructuras, además de ser estructuras que requieren de un alto grado de compactación para evitar filtraciones e infiltraciones, problema causado por la incorrecta o nula vibración del hormigón, esta alternativa contribuye al cumplimiento de las especificaciones técnicas de la EPMAPS.

A nivel social, este trabajo presenta un aporte a todas las personas que, por interés o necesidad, requieran de hormigones de mejor calidad y que pueden ser implementados en otro tipo de obras, tal como viviendas.

Finalmente, el estudio presenta una justificación profesional del autor, al permitir la aplicación de conocimientos y habilidades desarrollados durante su carrera en la Universidad Internacional del Ecuador y por medio de su experiencia en el área de la construcción.

1.6. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Se utilizarán técnicas de investigación, tales como visitas a los sitios de las obras, entrevistas a técnicos relacionadas al tema a tratar, con la información recopilada se complementará con la bibliográfica, el análisis de posibles soluciones, aplicaremos el método deductivo al investigar los tipos de hormigones utilizados, así como los materiales que intervienen en la mezcla,

de manera que se sujete a las Especificaciones Técnicas vigentes en la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS).

1.7. PLANTEAMIENTO ECOLÓGICO Y AMBIENTAL

El presente trabajo tiene como finalidad principal el diseño de hormigón autocompactante, evitando el uso de vibradores, de manera que no se produzca contaminación de ruido, derrames de combustibles y lubricantes y daños irreparables al medio ambiente, conforme lo establecen las normas ambientales de diseño.

1.8. VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD

En los proyectos de construcción que ejecuta la EPMAPS, se incluye hormigones para realizar las estructuras como: captaciones, descargas, disipadores, pozos de revisión, estructuras especiales, túneles, que representan una alta inversión tanto para la Empresa como para los Contratistas, por lo que se debe garantizar que cumpla la vida útil de diseño de cada una de las estructuras, además de optimizar el tiempo de construcción reduciendo la maquinaria y personal que se invierte en la compactación, sin desmejorar la calidad y resistencia del hormigón; entonces la rentabilidad se verá asegurada con el tiempo de vida útil prolongado.

1.9. HIPÓTESIS

Las dificultades de acceso y el limitado control de calidad en las obras, ha disminuido la vida útil de las estructuras de agua potable y alcantarillado, ocasionando problemas de filtraciones e infiltraciones, por lo que a fin de mejorar la calidad de las estructuras, facilitando el vaciado, se realizará el diseño de hormigón autocompactante con la inclusión de un aditivo hiperplastificante, que cumpla con los parámetros de diseño, normas y especificaciones técnicas, el mismo que facilitará la elaboración en el sitio.

CAPÍTULO II

2. EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Uno de los materiales más usados en el mundo de la construcción es el hormigón, el cual depende de una adecuada compactación para conseguir su máxima resistencia y las mejores propiedades mecánicas.

Una vez que se ha ubicado el encofrado con las dimensiones y formas exactas de los elementos estructurales, el método de compactación más usado es la vibración con equipos mecánicos durante el vaciado del hormigón, siguiendo las especificaciones que determinan las normas del ACI.

La eficiencia de este método de vibrado mecánico depende en gran parte de la habilidad del personal que realiza la tarea, además de una adecuada calibración del equipo; en estructuras de difícil acceso con espacios reducidos para maniobrar y con armaduras densas o aceros de diámetros grandes, es mucho más difícil realizar el vibrado y es en estas estructuras que presentan un mal terminado con una apariencia de orificios pequeños producidos por el aire que no ha salido, y en ocasiones el acero de refuerzo queda a la vista sin el recubrimiento deseado.

Todas estas circunstancias colaboraron para que en el año de 1986 en Japón, en la Universidad de Tokio, el Departamento de Ingeniería Civil, bajo la dirección del profesor Hajima Okamura realizara el primer caso de hormigón autocompactante (HAC) el cual empleaba escoria granulada procedente de los

alto horno y cenizas volantes junto con un aditivo químico específico denominado superplastificante (3% del contenido de cemento).

Varios laboratorios de renombradas Universidades han iniciado procesos de investigación de este tipo de hormigón por considerarlo un material revolucionario, siendo su principal característica la gran fluidez que le permite el paso a través de densas armaduras, y estructuras de angostas dimensiones con formas irregulares dando como resultado homogeneidad visual y mecánica, sin requerir de ningún tipo de compactación mecánica o manual, mejorando notablemente la productividad y calidad del hormigón.

El (HAC) es el material de mayor proyección en la industria de la construcción de la última década, así por ejemplo en Argentina fue desarrollado en el año 2000 y aplicado con éxito en obras a partir del 2001. Luego en 2004 ha incrementado el uso de este tipo de hormigones en diferentes elementos estructurales, ya sea por aspectos: arquitectónicos (terminación superficial), técnicos (menor presión de bombeo, armaduras más densas) y económicos (optimización de mano de obra y eliminación de equipos de vibración).

2.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

El Hormigón Autocompactante, denominado HAC por sus siglas, es un hormigón que tiene la habilidad en estado fresco de deformarse por peso propio, llenando todos los sectores del encofrado sin necesidad de compactación interna ni externa. La mezcla es capaz de sortear obstáculos sin que exista segregación de sus materiales componentes.

El profesor Hajima Okamura en 1997, lo define como: “El hormigón autocompactante, es aquel hormigón capaz de fluir en el interior del encofrado, llenándolo de forma natural, pasando entre las barras de armadura, y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso, sin presentar segregación de los áridos gruesos”.

2.2. DESARROLLO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

El HAC es uno de los avances de la tecnología del hormigón de éste siglo, el cual ha sido desarrollado con la finalidad de facilitar la colocación del hormigón en estructuras de congestionado reforzamiento y en áreas limitadas.

El método más utilizado para compactar el hormigón es por vibración externa, utilizando vibradores de aguja o moldes vibradores. La vibración del hormigón reduce la fricción interna entre las partículas mejorando su docilidad.

La compactación del hormigón es un proceso importante ya que garantiza la resistencia, impermeabilidad y durabilidad, un hormigón convencional puede tener ratoneras (espacios con aire) del 5% al 20% en volumen, a causa de la compactación deficiente. Este exceso de aire ocluido reduce la calidad del hormigón, disminuye su resistencia y durabilidad. Se estima que por cada 2% de aire ocluido la resistencia se reduce un 10%.

En la década de los 80 en Japón, el alto riesgo de movimientos sísmicos y la falta de trabajadores capacitados en la industria de la construcción, condicionaba estructuras con alta densidad de armaduras, y eran frecuentes los defectos de llenado, la aparición de "ratoneras" y la segregación del hormigón

en las zonas críticas. Estos defectos, provocaban zonas heterogéneas desde el punto de vista mecánico, y modificaban la durabilidad de los elementos estructurales. Hacía falta un hormigón de cuya calidad no dependiera tanto la mano de obra que lo ejecutara.

Esta situación promovió la investigación de nuevos hormigones, como respuesta el Profesor Okamura de la Universidad de Tokio (Japón) introdujo en 1986 el concepto del HAC promoviendo estudios sobre la trabajabilidad del hormigón que dieron lugar al primer prototipo en 1988. Grandes constructoras japoneses (Kajima Company, Maeda Company, Taisei Group Company) rápidamente tomaron las ideas. Los constructores usaron su investigación en su lugar de trabajo y desarrollaron facilidades para perfeccionar su propia tecnología de HAC. Cada compañía desarrollo su propio diseño de mezcla y entrenaron su propio personal para actuar como técnicos para ensayar mezclas de HAC en situ.

Un importante aspecto fue que cada constructor también desarrollo sus propios dispositivos de ensayos y métodos de prueba. En los inicios de los noventa hubo sólo un limitado conocimiento público acerca del HAC, principalmente en el lenguaje japonés. El fundamental y práctico conocimiento fue guardado como secreto por las grandes corporaciones para mantener las ventajas comerciales. El HAC fue usado bajo nombres comerciales, como el NVC (Non-Vibrated Concrete) de Kajima Company, SQC (Super Quality Concrete) de Maeda Company o el Biocrete (Taisei Company).

2.3. VENTAJAS DE UTILIZACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Así nace el HAC, configurando una alternativa novedosa, ya que además de presentar una serie de ventajas en estado fresco (fluidez, cohesión, viscosidad, homogeneidad, trabajabilidad), ofrece unas excelentes propiedades en estado endurecido (resistencia, durabilidad, etc.), mejorando las condiciones de trabajo (actividad de compactación, ruido) y la productividad.

A continuación se detallan algunas de las ventajas del hormigón autocompactante:

- ✚ Reducción de costos de mano de obra y equipamiento por la elevada trabajabilidad durante el vaciado, en un 50%.
- ✚ Reducción de contaminación auditiva por la eliminación de maquinarias.
- ✚ El tiempo de ejecución del vaciado disminuye considerablemente.
- ✚ Acabados de mejor calidad, con estructuras arquitectónicas muy vistosas que dan libertad de diseño geométrico.
- ✚ En lugares confinados y de limitada ventilación, se evita riesgos laborales del personal al eliminar ruidos de altos decibeles y aspiración de gases tóxicos, ocasionados por vibradores mecánicos y eléctricos.
- ✚ La vida útil de los moldes prefabricados se extiende al no tener desgaste por la vibración.

✚ Durante el proceso de vaciado al ser un hormigón fluido, facilita el bombeo sin la necesidad de incrementar agua a la mezcla.

2.4. APLICACIONES PRÁCTICAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

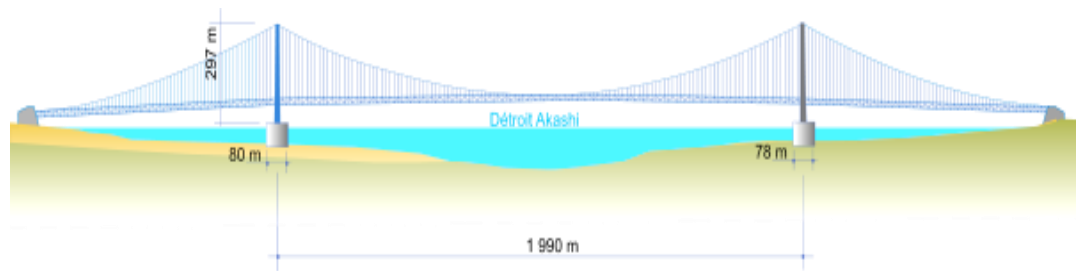
No se ha logrado aún extender la producción de hormigón autocompactante que considerablemente baja en comparación con el hormigón convencional.

El HAC resulta ventajoso en las reparaciones, cuyas condiciones de trabajo sean de complicado acceso o las estructuras sean densamente armadas, además se lo está aplicando en losas, soleras, pavimentos, ya que tiene como ventajas la rápida y cómoda aplicación; se lo emplea en la ejecución de prefabricados con excelentes resultados debido a que se obtienen altas resistencias iniciales y buenos acabados, además de disminuir los gastos de mano de obra y utilización de maquinarias.

Se detallan ejemplos de la utilización del HAC en algunos países y las obras que se han realizado:

En Japón se realizaron las primeras obras in situ, una de las más destacadas es el anclaje del puente colgante Akashi Kaikyo, de 1.991 metros de luz, en el que se utilizaron 290.000 m³ de hormigón autocompactante, se logró reducir el tiempo de ejecución a tan solo 6 meses.

Figura 1 - Características del puente colgante Akashi Kaikyo



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Gran_Puente_de_Akashi_Kaikyo

En Europa, se aplicó hormigón autocompactante a partir de 1998 y en España desde el año 2003, cuando se fabricaron 312 vigas cajón con 17.500 m³ de hormigón autocompactante pretensado para los viaductos en la autopista Scut do Norte Litoral.

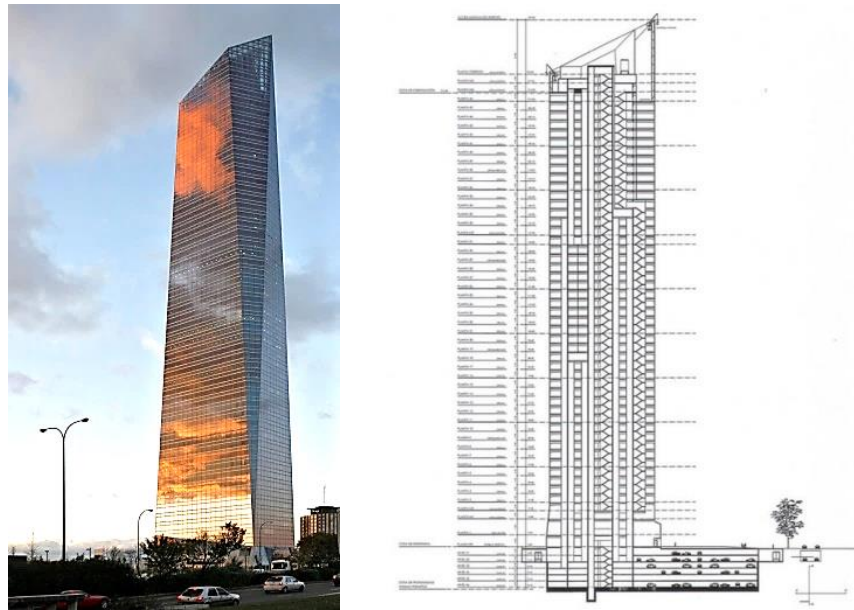
Para el año 2004 se realizaron las reparaciones de los Túneles de Montblanc y Lilla de la línea AVE Madrid-Zaragoza-Barcelona en la que se emplearon 124.000 m³ de hormigón autocompactante.

En Barcelona, en la Ciudad de la Justicia se construyeron ocho edificios con hormigón visto estructural de siete colores que se realizó con hormigón autocompactante para minimizar los efectos del hormigón visto/coloreado.

En Zaragoza se construyó el Puente del Milenio de la EXPO 2008 con hormigones autocompactantes blancos de altas resistencias.

En Madrid para la Torre de Cristal, se emplearon dos tipos de hormigones autocompactantes, consiste en un edificio con altura de 249 m sobre rasante, Plaza Castilla, bajo la rasante tiene nueve niveles de estacionamientos.

Figura 2 - La Torre de Cristal – Madrid – España



Fuente: <http://marginalidadvertical.tumblr.com/post/72569313290/torre-de-cristal>

La EPMAPS y los Contratistas al utilizar hormigón autocompactante, se verían beneficiados al garantizar que las estructuras cumplan con la resistencia establecida, mejor acabado, además de cumplir con las especificaciones técnicas tanto en los proyectos de agua potable (tanques, cámaras de válvulas, captaciones, plantas de tratamiento, entre otros), como en los de alcantarillado (colectores, túneles, pozos de visita, estructuras especiales, etc).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES CONSTITUYENTES

3.1. CEMENTO

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan, la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición abarca una gran variedad de materiales de cementación.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc.

Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación de hormigón tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos.

Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse, en general en cementos naturales, cementos Portland y cementos aluminosos. El presente estudio utilizará cemento Portland.

3.1.1. **Reseña Histórica del cemento Portland**

El uso de materiales de cementación es muy antiguo. Los egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro. Los griegos y romanos empleaban caliza calcinada y, posteriormente, aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas. Este es el primer concreto de la historia.

Un mortero de cal no endurece con el agua, y para la construcción con agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada, finamente trituradas.

En 1756, John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddyston, en la costa de Cornwall, y encontró que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba "puzolana" con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. Al reconocer el papel de la arcilla que hasta entonces se consideraba indeseable, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica.

A partir de esto, se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el "cemento romano" que obtuvo Joseph Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que vinieron a culminar en la patente del "cemento Portland", efectuada en 1824 por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds. Este cemento se preparaba calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el CO₂; esta temperatura era mucho más baja que la necesaria para la formación de Clinker. El prototipo de cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de Clinker con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto fuertemente cementoso.

El nombre de cemento Portland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de Portland (una caliza obtenida en una cantera de Dorset) se ha conservado hasta nuestros días para describir un cemento obtenido de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos y otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, quemándolos a una temperatura de formación de Clinker. Esta es la definición actual del British Standard (B.S.12:1958), el cual estipula también que ningún otro material, fuera del yeso y el agua, puede ser adicionado después de la calcinación.

3.1.2. Procesos de fabricación y componentes

Por la definición de cemento Portland dada anteriormente, se puede observar que está compuesto principalmente por materiales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. También se utiliza marga, que es un material calcáreo-arcilloso. La marga se encuentra en el sureste de Gran Bretaña y por esta razón las fábricas de cemento se concentraron cerca de la desembocadura del Támesis y en las orillas del Medway. La caliza se encuentra en muchas partes del suroeste, en las llanuras medias del norte de Inglaterra y Gales, y los depósitos de arcilla se extienden por todo el país.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla en un horno rotatorio de gran dimensión; a una temperatura de 1300 a 1400°C, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clinker. El clinker se enfría y

tritura hasta obtener un polvo fino; a continuación, se adiciona un poco de yeso y el producto comercial resultante es el cemento Portland que tanto se usa en todo el mundo.

3.1.2.1. Proceso de fabricación por vía seca

En los procesos seco y semiseco, las materias primas se trituran y adicionan en las proporciones correctas en un molino de mezclado, donde se secan y se reduce su tamaño a un polvo fino. El polvo seco, llamado grano molido crudo, se bombea al silo de mezclado y se hace un ajuste final en la proporción de los materiales requeridos para la manufactura del cemento. Para obtener una mezcla íntima y uniforme, se mezcla el grano crudo, generalmente mediante aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente del polvo y reduciendo su densidad aparente. El aire se bombea por turnos sobre cada cuadrante del silo, esto permite al material aparentemente más pesado de los cuadrantes no aireados moverse lateralmente hacia el cuadrante aireado.

De este modo, el material aireado tiende a comportarse como un líquido y, por aireado sucesivo de todos los cuadrantes, que se completa en un período de alrededor de una hora, se obtiene una mezcla uniforme. En algunas plantas de cemento se emplean sistemas de mezclado continuo.

El grano molido y mezclado se pasa por un tamiz y se deposita en una cuba rotativa llamada granulados. Simultáneamente, se agrega agua en una cantidad correspondiente a un 12% del peso del grano molido adicionado. De esta forma, se obtienen pastillas duras de alrededor de 15 mm de diámetro

interior. Esto es conveniente, si se introdujera directamente el polvo en el horno, se impediría el flujo de aire y el intercambio de calor necesarios para las reacciones químicas de la formación de clinker del cemento.

Las pastillas se hornean en una rejilla de precalentamiento, mediante gases calientes del horno, hasta endurecer. En seguida, las pastillas se meten al horno y las operaciones posteriores son similares al proceso de fabricación en húmedo. Sin embargo, como el contenido de humedad de las pastillas es sólo del 12%, comparado con el 40% de la lechada empleada en el proceso húmedo, el horno empleado en el proceso seco tiene dimensiones considerablemente menores. La cantidad de calor requerida es mucho más baja, puesto que hay que eliminar alrededor de sólo un 12% de humedad, aunque ya se ha utilizado previamente calor adicional para remover la humedad original de las materias primas (generalmente del 6 al 10 %). El proceso es, por lo tanto, bastante económico, pero sólo si las materias primas están relativamente secas. En tal caso, el consumo total de carbón puede ser tan pequeño como 100 kg. por tonelada de cemento.

Las dificultades de control del mezclado seco han impedido hasta tiempos recientes un uso más amplio de este tipo de proceso. Sin embargo, se ha utilizado en Estados Unidos, en Alemania y en 1957 se inauguró la primera fábrica de cemento británica con proceso semiseco. En diversos países se utilizan pequeños hornos verticales, en los cuales se producen hasta 150 toneladas de cemento al día.

3.1.2.2. **Proceso de fabricación por vía húmeda**

Consideremos inicialmente el proceso húmedo. Cuando se emplea marga, este material se tritura finamente y se dispersa con agua en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos revolventes radiales con rastrillos, los cuales rompen los aglomerados de materias sólidas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, generalmente en un molino de lavado semejante al anterior. En seguida se bombean las dos mezclas de forma tal que se mezclen en proporciones determinadas y pasen a través de una serie de cribas. La lechada resultante fluye a estanques de almacenamiento.

Si se emplea caliza, debe barrenarse, triturarse, generalmente en dos trituradoras, una más pequeña que la otra, y luego depositarse en un molino de bolas, con la arcilla dispersa en agua. Allí se continúa el molido de la caliza hasta el grado de finura de harina, y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. De aquí en adelante, el proceso es el mismo sin importar la naturaleza original de las materias primas.

Un ajuste final para obtener la composición química requerida puede efectuarse mezclando lechadas de diferentes tanques de almacenamiento, utilizando a veces un sistema complicado de tanques de mezclado.

Finalmente, la lechada con el contenido de cal deseado pasa a un horno rotatorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño, recubierto de material refractario, con diámetro interior hasta de 5 m, y una longitud que a veces alcanza 150 m, el cual gira lentamente alrededor de su eje, levemente inclinado hacia la horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno, mientras que se añade carbón pulverizado mediante la insuflación de un

chorro de aire en el extremo inferior, donde la temperatura alcanza de 1400 a 1500°C. El carbón, que no debe tener un contenido demasiado alto de cenizas merece una mención especial, puesto que se consumen hasta 350 kilogramos para fabricar una tonelada de cemento. Es importante tener esto en cuenta al considerar el precio del cemento. En lugar de carbón se puede emplear petróleo o gas natural.

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua y se libera el CO₂; posteriormente, el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que finalmente, en la parte más caliente del horno, un 20 a 30 % del material se vuelve líquido y la cal, la sílice y la alúmina vuelven a combinarse. Después la masa se funde en bolas de diámetros que varían entre 3 y 25 mm, conocidas como clinker. El clinker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos que a menudo favorecen un intercambio de calor con el aire que después se usa para la combustión del carbón pulverizado. Un horno de grandes dimensiones que puede producir más de 700 toneladas de cemento al día.

El clinker frío, que es característicamente negro reluciente y duro, se mezcla con yeso para evitar un fraguado relámpago del cemento. La mezcla se efectúa en un molino de bolas compuesto por diversos compartimentos, los cuales tienen bolas de acero cada vez más pequeñas. En algunas plantas se emplea un sistema de circuito cerrado de mezcla donde el cemento descargado por el molino pasa a través de un separador, y las partículas finas se trasladan a un silo de almacenamiento por medio de una corriente de aire, mientras que las partículas mayores vuelven a pasar por el molino.

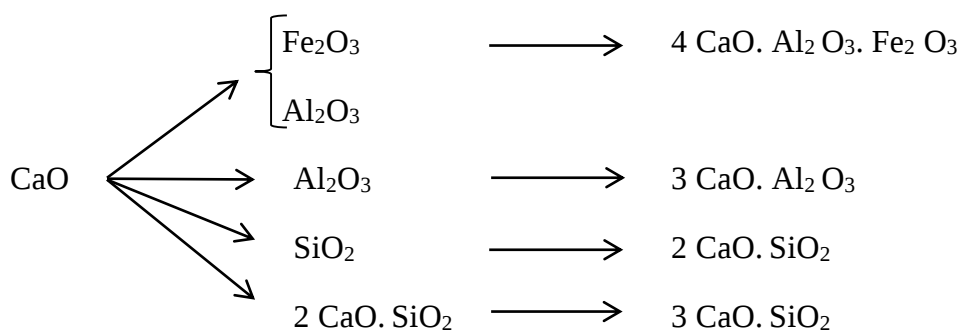
3.1.2.3. Composición química del cemento

Dentro del proceso de fabricación del cemento, la etapa más importante es la calcinación, ya que en ella se producen las reacciones químicas entre los compuestos del clinker.

Cuando la temperatura de los hornos ascienden a $700 - 900^{\circ}\text{C}$, reacciona la caliza sola (CaCO_3) descomponiéndose en óxido de calcio (CaO) o cal viva y anhídrido carbónico (CO_2).

Alrededor de los 1100°C , se produce la reacción de la arcilla sola, descomponiéndose en óxidos de sílice (SiO_2), de aluminio (Al_2O_3), de hierro (Fe_2O_3).

A temperaturas de 1250°C , se combinan entre sí los compuestos de la cal y la arcilla, dando lugar a la formación de los siguientes compuestos:



En donde:

Tabla 1 - Composición química del cemento

$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2 \text{ O}_3 \cdot \text{Fe}_2 \text{ O}_3$	FERROALUMINATO TETRACÁLCICO	C_4AF
$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2 \text{ O}_3$	ALUMINATO TRICÁLCICO	C_3A
$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	SILICATO DICÁLCICO	C_2S
$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	SILICATO TRICÁLCICO	C_3S

Fuente: www.elconstructorcivil.com/2011/01/composicion-quimica-del-cemento.html

Realizó: Jefferson Benavides R.

Además, el 10% del peso del cemento está constituido por yeso, cal libre, óxido de magnesio, óxido de potasio, óxido de sodio e impurezas.

3.1.2.4. **Tipos de cemento**

Existen diferentes tipos de cementos que dependen de su composición química y las características físicas que pueden mostrar diferentes propiedades cuando se hidratan. De este modo, debería ser posible seleccionar mezclas de materias primas para la producción de cementos con las propiedades deseadas. Para este efecto, se ofrecen comercialmente varios tipos de cemento Portland, además de los cementos Portland, especiales que se pueden producir para usos específicos, estos se producen bajo pedido.

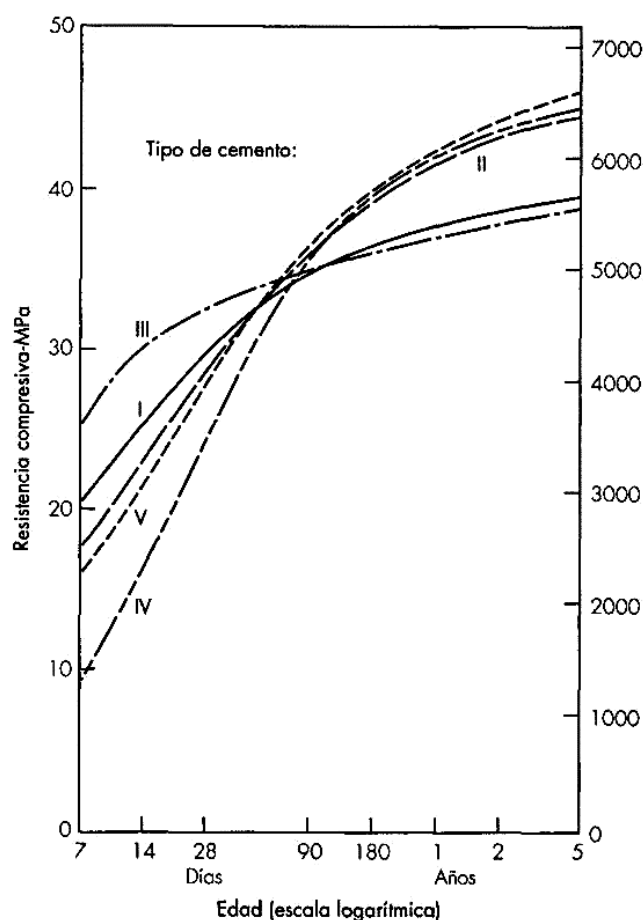
Muchos de los cementos se han desarrollado para asegurar una buena duración del concreto sometido a una variedad de condiciones. Sin embargo, no ha sido posible encontrar en la constitución del cemento una respuesta completa al problema de durabilidad del concreto: entre las principales propiedades mecánicas del concreto endurecido tenemos: resistencia, contracción permeabilidad, resistencia a la intemperie y fluencia, se ven afectados también por factores distintos de la constitución del cemento, aunque esto último determina en gran parte la rapidez del aumento en su resistencia final.

Tabla 2 - Composición de compuestos por tipos de cemento

Tipo de cemento portland	Composición química, %						Composición potencial de los compuestos, %						Finura Blaine m²/kg
	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	Na₂O eq	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF		
I (min-max)	18.7-22.0	4.7-6.3	1.6-4.4	60.6-66.3	0.7-4.2	1.8-4.6	0.11-1.20	40-63	9-31	6-14	5-13	300-421	
I (promedio)	20.5	5.4	2.6	63.9	2.1	3.0	0.61	54	18	10	8	369	
II** (min-max)	20.0-23.2	3.4-5.5	2.4-4.8	60.2-65.9	0.6-4.8	2.1-4.0	0.05-1.12	37-68	6-32	2-8	7-15	318-480	
II** (promedio)	21.2	4.6	3.5	63.8	2.1	2.7	0.51	55	19	6	11	377	
III (min-max)	18.6-22.2	2.8-6.3	1.3-4.9	60.6-65.9	0.6-4.6	2.5-4.6	0.14-1.20	46-71	4-27	0-13	4-14	390-644	
III (promedio)	20.6	4.9	2.8	63.4	2.2	3.5	0.56	55	17	9	8	548	
IV (min-max)	21.5-22.8	3.5-5.3	3.7-5.9	62.0-63.4	1.0-3.8	1.7-2.5	0.29-0.42	37-49	27-36	3-4	11-18	319-362	
IV (promedio)	22.2	4.6	5.0	62.5	1.9	2.2	0.36	42	32	4	15	340	
V (min-max)	20.3-23.4	2.4-5.5	3.2-6.1	61.8-66.3	0.6-4.6	1.8-3.6	0.24-0.76	43-70	11-31	0-5	10-19	275-430	
V (promedio)	21.9	3.9	4.2	63.8	2.2	2.3	0.48	54	22	4	13	373	
Blanco (min-max)	22.0-24.4	2.2-5.0	0.2-0.6	63.9-68.7	0.3-1.4	2.3-3.1	0.09-0.38	51-72	9-25	5-13	1-2	384-564	
Blanco (promedio)	22.7	4.1	0.3	66.7	0.9	2.7	0.18	63	18	10	1	482	

Fuente: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/compuestos-quimicos-e-hidratacion-del.html>

Figura 3 - Diagrama de resistencia de concretos elaborados con distintos tipos de cementos



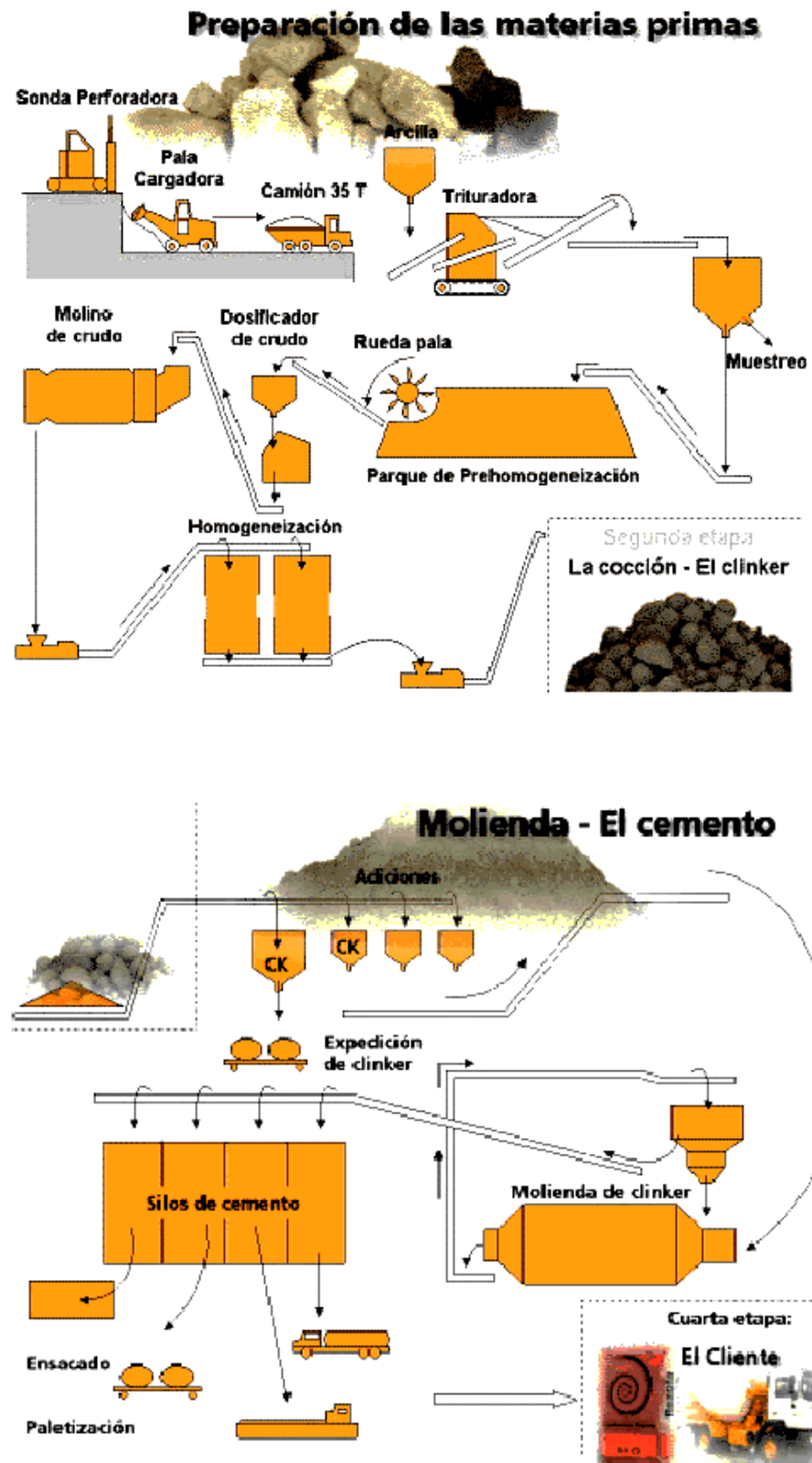
Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

La figura N° 3, se muestra cómo se va desarrollando la resistencia de concretos elaborados con cementos de diferentes tipos, mientras que las tasas de crecimiento de resistencia varía considerablemente, sin embargo a los 90 días la resistencia es muy similar, aunque en algunos casos, como se ve en la figura 3, es mayor. La tendencia "general" es que los cementos con baja rapidez de endurecimiento tengan una resistencia final un poco mayor. Por ejemplo, la figura 1.1 muestra que el cemento tipo IV tiene la menor resistencia a los 28 días, pero se coloca como segundo en resistencia a la edad de 5 años.

La división de cementos en diferentes tipos no puede ser, por fuerza, más que una clasificación a grandes rasgos, y algunas veces hay grandes diferencias entre cementos del mismo tipo. Por otro lado, a menudo no hay una discontinuidad en las propiedades de diferentes tipos de cementos y muchos pueden clasificarse en más de un tipo.

El obtener una propiedad especial del cemento puede significar características indeseables en otros aspectos. Por esta razón el equilibrio de requisitos puede ser necesario, y así mismo, es preciso tomar en cuenta las consideraciones económicas de manufactura. Tenemos un ejemplo de un cemento "término medio" en el Cemento Tipo II.

Figura 4 - Proceso de fabricación del Cemento Portland



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos58/produccion-cemento/produccion-cemento2.shtml>

Los métodos de manufactura han mejorado constantemente con los años y ha habido un constante desarrollo de cementos que sirven para diferentes finalidades, con su correspondiente cambio en las especificaciones.

a. Cemento TIPO I

Es el tipo de cemento de uso general y aplicable sobre todo en donde no se requiera condiciones de obra, a más de su resistencia. Adecuando en climas fríos por su alto calor de hidratación, su resistencia se consigue a los 28 días, por su contenido alto de C3S es un cemento de resistencia alta no es apto para grandes volúmenes de hormigón, es decir, en hormigón en masa.

Debido a su alto calor de hidratación no es aconsejable utilizarlo en donde las condiciones climáticas sean severas, ni tampoco en donde el hormigón es sujeto al ataque de suelos y aguas sulfatadas como alcantarillas y rompeolas.

Sus materias primas principales son la caliza, la arcilla, ésta se presenta en dos tipos, una arenosa rica en sílice y otra plástica rica en alúmina, y el mineral de hierro que es considerado como aditivo, deben ser analizadas a fin de conocer, su composición" química; estos valores, las necesidades estequiométricas para sus combinaciones y otros criterios como los módulos determinan un diseño de mezcla de materias primas.

El cemento Portland es un aglomerante hidráulico que se obtiene mezclando íntimamente cal y arcilla, u otras primas que los contengan, dosificadas convenientemente con sumo esmero.

La mezcla de los componentes se hace según su naturaleza, por vía seca o húmeda, adoptándose el primer procedimiento, generalmente, si se trata de piedras calcáreas y de tiza, con la adición de arcilla, que es fácilmente separable con agua. En el procedimiento seco, las materias primas prolijamente dosificadas se desmenuzan con trituradoras, molinos, etc. hasta reducirlas a polvo, el que se humedece para evitar que al entrar en el horno, el fuerte tiraje que allí existe arrastre los componentes más livianos, y se altere la rigurosa dosificación.

b. Cemento TIPO II

Conocido también como cemento Portland Modificado. Por su bajo calor de hidratación es el cemento ideal para climas calurosos y porque su resistencia de diseño a los 42 días es similar a la del tipo I a los 28 días.

Este tipo de cemento se recomienda cuando se teme ataques moderados de sulfatos, y sobre todo es recomendable para hormigones masivos y obras marítimas tales como muelles.

En los Estados Unidos su uso es muy generalizado y en nuestro país es fabricado únicamente por Cemento Rocafuerte. Su fraguado inicia luego de 2 horas y termina aproximadamente en 18 horas.

c. Cemento TIPO III

A este tipo de cemento se lo conoce como de endurecimiento rápido. Es el cemento que desarrolla su resistencia a edades más tempranas, pues consigue resistencias más altas dentro de los 3 primeros días, y a los 7 días obtiene la resistencia del mismo orden que el cemento Portland Tipo I a los 28 días.

Esta mayor rapidez de ganancia de resistencia se debe a su alto contenido de C3S y a un molido más fino del clinker del cemento. Por su alta resistencia a edades tempranas es el más indicado para ser utilizado cuando por condiciones de obra sea urgente el desencofrado. En cambio, por su alto calor de hidratación generado es aconsejable utilizarlo cuando las condiciones climáticas sean extremadamente frías, es decir en lugares donde el clima permita fácilmente disipar el calor de manera que no se produzcan contracciones violentas que provoquen fisuramientos.

Además de este cemento no se recomienda utilizarlo en secciones estructurales grandes; pero por su finura, es el cemento ideal para inyecciones; además su velocidad de hidratación es 4 veces mayor que la del Cemento Tipo I.

d. Cemento TIPO IV

Este tipo de cemento es el que más bajo calor de hidratación genera, por lo que reduce considerablemente las posibles contracciones y consabidos agrietamientos.

Por efectos del bajo contenido de C3S obtiene a los 72 días una resistencia equivalente a la del Tipo I a los 28 días, pero su resistencia final no se ve afectada ya que la adquiere pasados los 6 meses.

Debido a su bajo calor de hidratación se lo recomienda para usos en obras hidráulicas como túneles, alcantarillas, canales, y en general contra la acción de sulfatos.

Es utilizable en hormigones masivos como presas hidráulicas, por lo demás es muy similar al cemento Tipo II.

e. Cemento TIPO V

Este cemento tiene un bajísimo contenido de aluminato tricálcico (C_3A) y es un tipo de cemento muy resistente a sulfatos, sobre todo si éstos actúan en etapas alternas de seco y mojado como es el caso de una estructura marina ubicada en la zona de marea.

Su resistencia a edades tempranas es baja ya que la consigue a los 90 días comparados con la del Tipo I a los 28 días.

El calor desarrollado por este tipo de cemento no es mucho menor que el que desarrolla el Tipo IV, por lo tanto el cemento Tipo V sería el cemento óptimo e ideal contra la acción de sulfatos, pero debido a ciertos requisitos especiales este tipo de cemento no puede fabricarse de manera económica.

En términos generales, es utilizado en obras hidráulicas y en lugares en donde el clima sea severo con variaciones de temperatura que oscilen entre $-10^{\circ}C$ y $+40^{\circ}C$.

f. Cemento de ESCORIA

Es el producto de la molienda simultánea del clinker del cemento y de la escoria proveniente de los desechos de la fabricación del hierro. Esta escoria es una fusión de cal, sílice y aluminio, es decir, son los mismos óxidos componentes del cemento pero en proporciones diferentes.

Este tipo de cemento es fabricado en los Estados Unidos, conociéndoselo con el nombre de Cemento Tipo IS, descrito en la norma ASTM-C595.

Debido a su finura, su resistencia a edades inferiores a los 28 días es un tanto menor que la del cemento Tipo I, pero sobre los 29 días su resistencia es un poco mayor. Este tipo de cemento es factible de utilizar en hormigón en masa, pero debido a su bajo calor de hidratación puede ser perjudicial al facilitar el congelamiento al vaciar el hormigón en climas fríos.

En síntesis, es un cemento de uso general.

g. Cemento de BLANCO

Su uso general es con fines arquitectónicos ya que no causa manchas por su contenido de álcalis solubles, su coloración radica en su casi nulo contenido de óxidos de hierro y magnesio. Como materia prima se utiliza arcilla blanca y caliza libre de impurezas.

Tanto la purificación de la materia prima cuanto las precauciones para evitar la contaminación del cemento con óxidos de hierro durante el proceso de molienda, y el uso de molinos con guijarros, hacen que repercuta en el costo de producción de este cemento.

La relación agua/cemento en este tipo de cemento no debe exceder de 0.40; la resistencia del cemento blanco es muy similar a la del cemento Portland Tipo I, pero en cambio, su densidad es algo menor ya que se halla alrededor de 3 gr/cm³.

h. Cemento PUZOLÁNICO

El cemento puzolánico es el producto de la mezcla de cemento Portland y de un 15 a 30% de puzolana. Por definición de la ASTM la puzolana es un elemento silicoso y aluminoso con casi nulo poder cementante, pero que en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 para de esta manera adquirir propiedades cementantes; a la puzolana se la encuentra como ceniza volcánica, piedra pómez y pizarra, artificialmente se la obtiene mediante la calcinación de la arcilla (ladrillo).

Tanto su resistencia como hidratación dependen de la proporción y actividad química de la puzolana, por esta razón se requiere de un tiempo de curado mayor. Debido a su bajo calor de hidratación, lo hace recomendable en construcciones masivas. También exhibe buena resistencia a los sulfatos, reduce la segregación y sangrado en el hormigón y la reacción álcali-agregado. Su resistencia se obtiene a los 90 días respecto a la del Tipo I y su tiempo final de fraguado supera las 24 horas.

Como conclusión general, se puede anotar que para satisfacer las necesidades de nuestro medio bastaría con la fabricación de los cementos Tipo I, II y III.

3.2. AGREGADOS

Puesto que el agregado ocupa las 3/4 partes del volumen del hormigón, es fácil comprender que su calidad revista considerable importancia. El agregado delimita la resistencia del hormigón, ya que afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del hormigón.

El agregado se consideraba originalmente como un material inerte, que estaba disperso dentro de la pasta de cemento y cuya motivación era sobre todo económica. Es posible, sin embargo, adoptar el punto de vista contrario, y considerar el agregado como un material de construcción que se une a todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, de manera similar a la construcción de mampostería. De hecho, el agregado no es realmente inerte y sus propiedades físicas, térmicas, y químicas, influyen sobre el comportamiento del hormigón.

El agregado es más barato que el cemento y, por lo tanto, resulta económico poner en la mezcla un máximo de agregado y el mínimo posible de cemento; pero la economía no es la única razón por la que se utiliza este material; el agregado confiere considerables ventajas técnicas al hormigón, el cual tiene más estabilidad de volumen y mejor durabilidad que la pasta de cemento sola.

3.2.1. Clasificación General del Agregado

El tamaño del agregado usado en el concreto varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal, el tamaño máximo

varia, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diferentes tamaños; la distribución del tamaño de las partículas se llama granulometría. En la fabricación de concreto de "baja graduación" se usan a veces agregados de depósitos que contienen toda una variedad de tamaños, desde el más grande hasta el más pequeño; esto puede llamarse agregado de tamaño indiscriminado.

La otra posibilidad mucho más común, que se usa siempre en la fabricación de concreto de buena calidad, consiste en obtener el agregado de dos grupos de tamaños, por lo menos. La principal división se hace entre el agregado fino, que a menudo se llama arena cuyo tamaño no excede de 5 mm o 3/16 pulgadas y el agregado grueso, el cual comprende material de no menos de 5 mm. Conviene notar que el uso del término "agregado" (en el sentido de querer mencionar agregado grueso), en contraste con la arena no es correcto, aunque resulta comparativamente común.

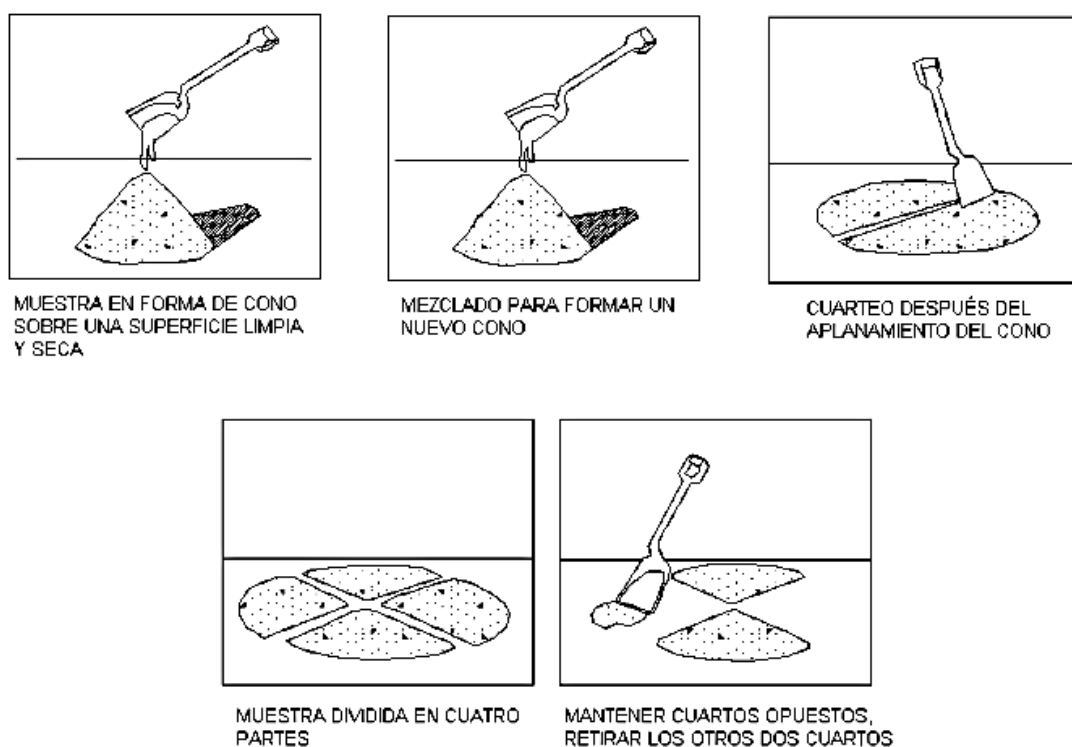
3.2.2. Muestreo de Agregado

Para conocer las propiedades de los agregados se llevan a cabo con muestras del material, el resultado obtenido en cada uno de los ensayos realizados, deberla aplicarse sólo al agregado utilizado en la prueba. Sin embargo, como nos interesa todo el lote recibido o en existencia de agregado, necesitamos estar seguros de que la muestra tomada sea la típica promedio del agregado. Una muestra así se llama representativa, y para obtenerla se deben tomar ciertas precauciones.

No es posible exponer procedimientos minuciosos, porque las situaciones y condiciones que intervienen en obtener muestras en campo varían ampliamente de un caso a otro. No obstante se puede obtener resultados confiables si se tiene presente en todo momento que la muestra debe ser representativa de la mayor parte del material.

Existen dos maneras de reducir el tamaño de la muestra, cada una de las cuales resulta en la división de la muestra en dos partes similares: partición por cuartos y por mitades; en la partición por cuartos, la muestra principal debe ser mezclada muy bien, y en el caso del agregado fino, se humedece para evitar la segregación. Para realizar la mezcla, al material se lo coloca en forma de un cono, a continuación se revuelve con una pala para formar un nuevo cono junto a la anterior. Este procedimiento se repite por lo menos dos veces, depositando siempre el material en la cúspide del cono, de modo que la carga de partículas se distribuya uniformemente sobre la circunferencia de la base; el siguiente paso consiste en expandir el cono formando una circunferencia plana para luego dividirlo en cuatro partes. Se descarta un par diagonalmente opuesto y, los otros dos cuartos forman la muestra para la prueba, en caso de que la muestra sea demasiado grande, se reducen realizando nuevamente el procedimiento de partición en cuartos. Es preciso tener cuidado para incluir todo el material fino en el cuarto correspondiente.

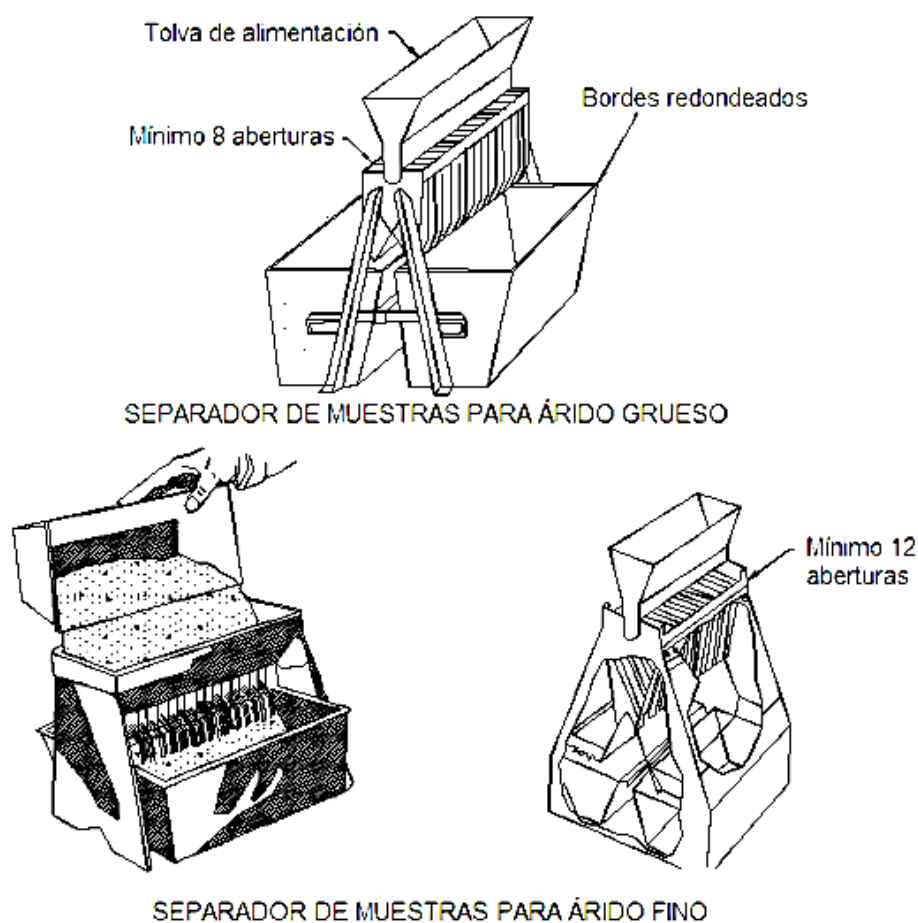
Figura 5 - Método de cuarteo (Norma NTE INEN 2 566:2010)



Fuente: Norma NTE INEN 2 566:2010

Para realizar el otro procedimiento de partición en mitades, se requiere de una caja con divisiones verticales paralelas, con descargas alternadas a la derecha y a la izquierda, la muestra se descarga en este recipiente, las dos mitades resultantes se recogen en dos cajas colocadas bajo las salidas a cada lado, se descarta una de las mitades, y la otra se somete al mismo procedimiento hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado.

Figura 6 - Método Mecánico (Norma NTE INEN 2 566:2010)



Fuente: Norma NTE INEN 2 566:2010

3.2.3. Forma y textura de las partículas

Además de las propiedades petrológicas del agregado, las características externas tienen similar importancia, en particular la forma de la partícula y su textura superficial, en cuanto a la forma de un cuerpo de tres dimensiones resulta difícil describir, por lo tanto conviene definir características geométricas de estos cuerpos.

a. La redondez

Mide el filo o la angulosidad de las aristas y esquinas de una partícula. La redondez depende en gran medida de la dureza y la resistencia a la abrasión de la roca de donde proviene el agregado, así como del desgaste al cual la partícula ha sido sometida. En el caso de agregados obtenidos por trituradoras, la forma de la partícula depende de la naturaleza de la roca original, del tipo de quebradora y la relación de reducción (cociente del tamaño del material puesto en la trituradora y el tamaño del producto terminado).

b. Adherencia del Agregado

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante en la resistencia del concreto, especialmente para la resistencia a la flexión. La adherencia es la unión entre el agregado y la pasta de cemento, debido a la aspereza de la superficie del primero. Cuando se emplean partículas trituradas, con una superficie más áspera, el resultado es una mejor adherencia; se obtiene también una buena adherencia con el empleo de partículas suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas.

Generalmente las partículas cuya textura superficial no permite penetración, estas no producen una buena adherencia; además, la adherencia es afectada por otras propiedades físicas y químicas del agregado, que tienen relación con su composición química y mineralógica además de la condición electrostática de la superficie de la partícula. Por ejemplo, puede existir alguna adherencia química en el caso de los agregados de caliza con la de silicio, y en

las superficies de partículas pulidas se pueden desarrollar algunas fuerzas capilares.

Sin embargo, se sabe poco sobre estos fenómenos y por consiguiente es necesario basarse en la experimentación para predecir la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento que lo rodea.

La determinación de la calidad de adherencia de un agregado es bastante difícil determinar, ya que no existen pruebas aceptadas. Generalmente, cuando la adherencia es buena, la muestra de concreto triturado mostrará algunas partículas de agregado fracturadas dentro de la masa, además de una proporción más numerosa de aquellas arrancadas enteramente de sus lugares.

Un exceso de partículas fracturadas puede sugerir que el agregado es demasiado débil, debido a que la resistencia de la adherencia depende de la resistencia de la pasta, así como de las propiedades de la superficie del agregado, dicha resistencia de adherencia aumentará con la edad del concreto; parece que la relación de la resistencia de adhesión a la resistencia de la pasta se eleva con el paso del tiempo.

c. Resistencia del agregado

La resistencia a compresión de un concreto no puede ser mayor que la de la mayor parte del agregado que contiene. Es difícil probar la resistencia a la trituración del agregado por sí solo, y la información requerida por lo general tendría que obtenerse mediante pruebas indirectas: resistencia a la trituración

de muestras de roca, valores de trituración del agregado a granel y comportamiento del agregado en el concreto.

El comportamiento del agregado en el concreto se refiere a la experiencia previa de un agregado en una mezcla cuya resistencia se conoce con otros agregados ya probados; si el agregado bajo prueba nos lleva hacia un concreto de una resistencia menor a la compresión, y si un gran número de partículas del agregado aparecen fracturadas después de haber fallado la muestra de concreto, entonces la resistencia del agregado es más baja que la resistencia nominal a la compresión del concreto en el cual dicho agregado fue incorporado. Por lo que dicho agregado sólo puede ser usado en concretos de menor resistencia.

La resistencia inadecuada del agregado representa un caso límite porque las propiedades del agregado tienen influencia sobre la resistencia del concreto, aun cuando el agregado tenga suficiente resistencia propia para no fracturarse prematuramente; si comparamos concretos hechos con diferentes agregados, podemos observar que la influencia del agregado en la resistencia del concreto es cualitativamente la misma, cualesquiera que sean las proporciones de la mezcla y lo es tanto bajo compresión como bajo tensión. Es posible que la influencia del agregado en la resistencia del concreto se deba no únicamente a la resistencia mecánica del agregado, sino también a sus características de absorción y adherencia. En general, la resistencia y la elasticidad del agregado dependen de su composición, textura y estructura.

Por otra parte, los agregados de resistencia moderada o baja y módulo pequeño de elasticidad pueden ser de valor en la preservación de la durabilidad

del concreto; los cambios en el volumen del concreto, ya sean por razones higroscópicas o térmicas, reducen los esfuerzos en la pasta de cemento cuando el agregado es compresible. Por lo tanto, esta compresibilidad del agregado reduciría el esfuerzo en el concreto, mientras que un agregado fuerte y rígido podría ocasionar el agrietamiento de la pasta de cemento que lo rodea.

d. Otras propiedades

Entre otras propiedades importantes de los agregados se debe considerar la densidad, porosidad, capacidad de absorción, con tenido de humedad, impurezas orgánicas, etc., que en determinado momento son factores que influyen tanto en el diseño de un hormigón cuanto en sus resultados.

1. Densidad

Debido a que un agregado en su interior contiene poros permeables e impermeables se puede anotar que no se trata de una masa netamente sólida. Por esta razón, y sobre todo por la mayor o menor cantidad de poros o vacíos contenida se hace difícil dar una definición única de la densidad. En tal virtud, en función de los vacíos se conoce los siguientes tipos de densidad:

Densidad real o absoluta.- Es la relación de la masa para el volumen real del cuerpo sólido, esta densidad se la determina cuando el material se halla seco al horno.

$$d_R = \frac{M}{VR}$$

Densidad Global (D_{SSS}).- Esta densidad relaciona la masa del agregado en estado de saturado superficie seca, para el volumen del material sólido incluyéndose todos sus poros saturados de humedad. Esta densidad determinada así es la necesaria para el diseño de hormigones.

$$d_G = \frac{M_{SSS}}{V_{SSS}}$$

Densidad aparente.- Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa el agregado incluyéndose los poros permeables y los vacíos entre sus partículas. Esta densidad se la puede determinar en forma suelta con el fin de establecer volúmenes de producción, y en forma compactada para efectos de diseño de hormigones por el método ACI.

$$d_A = \frac{M}{V_A}$$

Este valor de densidad aparente siempre resulta inferior a los dos anteriores ya que está incluido un volumen que no es propio de los agregados.

2. Porosidad y Capacidad de Absorción

Tanto la porosidad del agregado cuanto su permeabilidad y capacidad de absorción influyen en las características o propiedades básicas como la

durabilidad, resistencia a la trituración, adherencia, entre otras. Mientras más poroso sea el agregado, mayor capacidad de absorción tendrá.

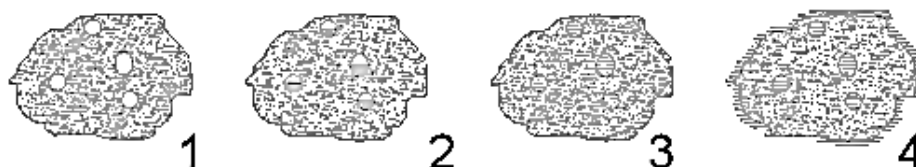
Para definir la capacidad de absorción se debe considerar a las partículas en cuatro estados fundamentales:

- ✚ Una partícula totalmente carente de humedad se la obtiene dejándola al horno a 110°C por lo menos durante 24 horas, llamándose estado seco al horno.
- ✚ El estado seco al aire se produce cuando la partícula absorbe la humedad ambiental, por lo tanto sus poros se saturan parcialmente.
- ✚ El estado saturado superficie seca se obtiene cuando los poros permeables de la partícula se saturan totalmente, sin embargo mantiene su superficie seca.
- ✚ El estado sobresaturado se obtiene mediante la saturación completa de los poros permeables de la partícula y además posee una película de humedad exterior que la rodea.

Estas etapas de saturación de una partícula se las esquematiza la siguiente manera:

Figura 7 - Estados de saturación de los agregados

1. Seco (Secado al horno)
2. Parcialmente Saturado
3. Saturado con la superficie seca (SSD, por sus siglas en inglés); poros llenos de agua y seco en la superficie.
4. Saturado húmedo en la superficie; poros llenos de agua y húmedo en la superficie.



Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/caracteristicas-de-los-agregados.html>

La capacidad de absorción se define como la cantidad máxima de agua expresada en porcentaje que pueden absorber las partículas desde cuando se hallan en estado seco al horno hasta cuando se hallan en estado saturado superficie seca.

Dependiendo de que el agregado se encuentre en estado seco, éste puede absorber el agua de mezcla para de esta manera saturarse, condición que es la supuesta durante el fraguado del hormigón. Por lo tanto, reducirá la cantidad efectiva de agua dosificada para la mezcla.

Sin embargo al utilizar un agregado grueso, puede darse el caso de que sus partículas se recubran rápidamente de pasta impidiendo por lo tanto que se produzca la saturación.

3. Contenido de humedad

Se lo define como el porcentaje de agua que contienen las partículas de los agregados en un instante cualquiera. En cualquier tipo de agregado húmedo, el contenido total de agua es igual a la suma del agua de absorción más el contenido de humedad propiamente dicho. Consecuentemente, para efectos de dosificación de hormigones, se considera que las partículas se hallan en estado seco al aire o sobresaturado, razón por la cual se hace imprescindible realizar las correspondientes correcciones por humedad.

Por otro lado, se considera que un agregado en estado saturado superficie seca no absorbe ni cede agua a la dosificación.

4. Relación de sólidos y vacíos

Para cualquier método de diseño de hormigones se hace necesario conocer el volumen real de los sólidos en estado saturado superficie seca y por lo tanto también el volumen de vacíos entre sus partículas.

El principio fundamental para diseño de hormigones es el siguiente:

El agregado grueso ocupa un espacio de todo el volumen, pero este agregado entre sus partículas deja vacíos, los cuales deben ser ocupados por el agregado fino y los vacíos que aún quedan deben ser rellenados con pasta.

$$V_v = V_t - V_r$$

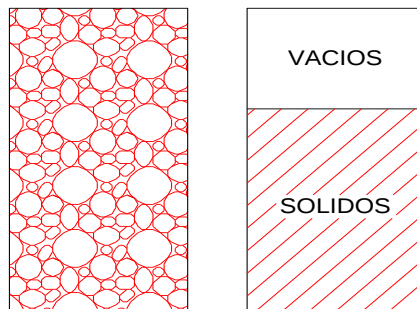
En donde:

V_t = Volumen Total

V_r = Volumen Real

V_v = Volumen de Vacíos

Figura 8 - Estados de saturación de los agregados



Fuente: http://ingenieracivil.blogspot.com/2008_07_01_archive.html

Realizó: Jefferson Benavides R.

$$\%_{vacíos} = \frac{V_t - V_r}{V_t} * 100$$

$$\%_{vacíos} = \left(1 - \frac{V_r}{V_t}\right) * 100$$

$$\%_{vacíos} = \left(1 - \frac{M/d_R}{M/d_A}\right) * 100$$

$$\%_{vacíos} = \left(1 - \frac{d_A}{d_R}\right) * 100$$

3.2.4. Granulometría del agregado

Es una propiedad que estudia la distribución por tamaños del agregado, se emplea el término de uniforme cuando entre las particular del agregado predomina un solo tamaño, en cambio si las particular tienen una variedad equilibrada de todos los tamaños se dice que el agregado es graduado, por tanto esta granulometría dejará menos espacios vacíos entre sus partículas.

De la granulometría que posea el agregado dependen muchos factores entre ellos está la cantidad de pasta que será usada en la mezcla, la mayor o menor trabajabilidad que ofrezca el hormigón fresco, la cohesión y segregación del hormigón.

3.2.4.1. Análisis Granulométrico

Este análisis consiste en efectuar el tamizado de un agregado a través de una serie de mallas de abertura cuadrada cada vez más pequeñas en forma descendente, antes de efectuar el tamizado, el agregado debe estar en estado seco al horno, a fin de evitar que terrones de material fino se clasifiquen como partículas gruesas y también para evitar los tamices se taponen.

La acción del tamizado puede realizarse manualmente con movimientos alternados de atrás hacia adelante y de izquierda a derecha, girando en el sentido de las manecillas del reloj y opuestamente al mismo y todos estos movimientos deben alternarse, de modo que cada partícula tenga la oportunidad de pasar por el tamiz. También se puede realizar el tamizado en una vibradora mecánica, por un lapso no menor a 2 minutos.

3.2.4.2. **Curvas Granulométricas**

Este tipo de curvas son la representación gráfica del resultado de un análisis de tamizado, en la cual se observa claramente una gráfica de la distribución de tamaños de las partículas.

Estos gráficos o curvas revelan a simple vista si la granulometría obtenida está acorde con las especificaciones, si el agregado es demasiado fino o demasiado grueso, o si existe deficiencia de un tamaño en particular.

En un gráfico o curva granulométrica, las abscisas representan la serie de tamices, generalmente a escala logarítmica, y las ordenadas el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz.

3.2.4.3. **Módulo de finura**

El módulo de finura puede considerarse como un tamaño promedio ponderado del agregado y cuyo valor se determina con la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie estándar # 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", etc. hasta el máximo tamaño presente, subiendo siempre en razón doble y dividiendo el sumatorio para 100.

El valor del módulo de finura es mayor según el agregado sea más grueso y viceversa. Así, aproximadamente la arena tiene un valor inferior a 3 y el ripio un valor superior a 3.

Al módulo de finura se lo puede catalogar como un tamaño promedio ponderado de un tamiz en el cual se retiene el material y es el indicador del probable comportamiento del agregado en una mezcla.

En lo que tiene relación con el diseño de mezclas, conocer el valor numérico del módulo finura es indispensable ya que se hace posible el calcular la cantidad de pasta necesaria y la considerar la trabajabilidad del hormigón fresco.

3.2.4.4. **Tamaño nominal**

Es el tamaño con el cual se identifica al agregado grueso y se lo determina por el siguiente tamiz de abertura mayor en el cual se retiene el 10% o más del agregado.

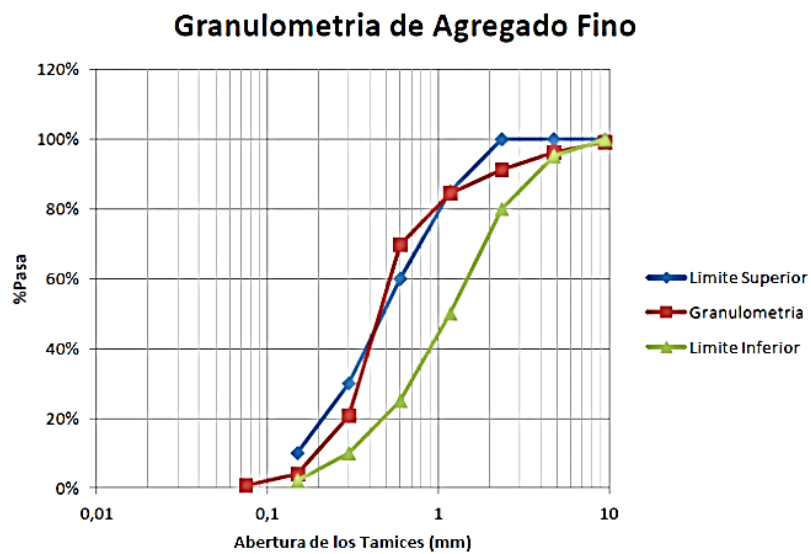
Según se especifica es la norma ASTM-C33, los requisitos o límites granulométricos para el agregado fino son los que a continuación se detallan:

Tabla 3 - Límites para granulometría del agregado fino (Norma ASTM C33)

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO			
Tamiz		Limite Superior	Limite Inferior
(#)	Abertura (mm)		
3/8"	9.5	100%	100%
Nº4	4.75	100%	95%
Nº8	2.36	100%	80%
Nº16	1.18	85%	50%
Nº30	0.6	60%	25%
Nº50	0.3	30%	10%
Nº100	0.15	10%	2%

Fuente: Norma ASTM C33

Gráfico 1 - Límites para granulometría del agregado fino (Norma ASTM C33)



Fuente: Norma ASTM C33

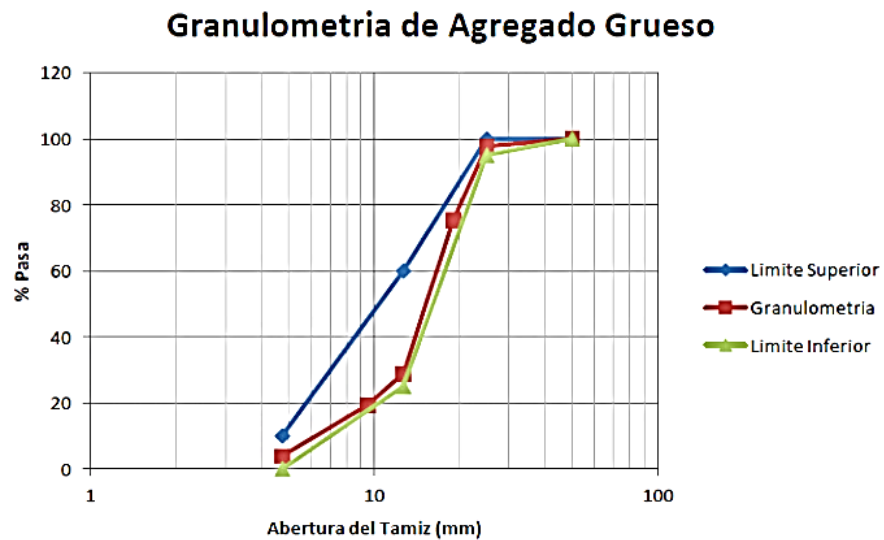
Además se especifica en la norma ASTM-C33, los requisitos o límites granulométricos para el agregado grueso según se detalla:

Tabla 4 - Límites para granulometría del agregado grueso (Norma ASTM C33)

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO			
Tamiz		Limite Superior	Limite Inferior
(#)	Abertura (mm)		
2"	50	100	100
1"	25	100	95
3/4"	19	-	-
1/2"	12,7	60	25
3/8"	9,5	-	-
Nº4	4,75	0	10

Fuente: Norma ASTM C33

Gráfico 2 - Curva granulométrica del agregado grueso (Norma ASTM C33)



Fuente: Norma ASTM C33

3.2.4.5. Requisitos de granulometría

Dependiendo de la importancia de la obra, la granulometría del agregado debe ser estudiada con el objeto de obtener como resultado una mezcla satisfactoria, trabajable, compactable y que deje la menor cantidad de vacíos posible para ser llenada con pasta.

Tornando en consideración el aspecto económico, se ha anotado que aproximadamente $\frac{3}{4}$ del volumen del hormigón está ocupado por los agregados, y ya que estos materiales son de producción barata no es factible imponer límites estrictos a sus granulometrías.

Sin embargo, resulta difícil la obtención de agregados, naturales o artificiales, de una buena granulometría que cumplan con todos los requisitos

que ella exige. Según la norma NTE INEN 872:2011 nos indica los requisitos de graduación para el árido grueso según el siguiente detalle:

Tabla 5 - Requisitos de gradación para áridos gruesos (Norma NTE INEN 872:2011)

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: Norma NTE INEN 872:2011

3.3. ADITIVOS

Los aditivos químicos para hormigón se definen de acuerdo con la norma europea UNE-EN 934-2 como: *“Producto incorporado en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objeto de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido”*.

Es el componente del hormigón con mayores controles de producción y calidad además de ser un producto muy regular en su composición; dentro de nuestro estudio se convierte en un componente esencial para el hormigón autocompactante.

Los aditivos más usados para la fabricación del hormigón autocompactante son los superplastificantes e hiperplastificantes, que pueden ser aditivos reductores de agua de alto rango y los agentes cohesionantes o agentes modificadores de viscosidad.

En el presente estudio usaremos un aditivo de alta capacidad de reducción de agua basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada.

3.3.1. **Aditivo reductor de agua Hiperplastificante**

Este tipo de aditivos actúan por diferentes mecanismos, ya sea por la absorción superficial y el efecto de separación espacial de las partículas de cemento, en paralelo al proceso de hidratación.

Con este tipo de aditivos se obtienen las siguientes propiedades:

-  Fuerte comportamiento autocompactante, sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC).
-  Excelente mantención de la fluidez a través del tiempo.
-  Extremadamente alta reducción de agua (30%), lo que resulta en hormigón de alta resistencia y densidad.
-  Excelente fluidez, lo que resulta en el trabajo reducido al mínimo para la colocación y compactación.
-  Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial.

✚ Mejoramiento del comportamiento en fluencia y retracción.

✚ Reducida velocidad de carbonatación del hormigón.

El aditivo para el presente estudio no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión, por lo que puede ser utilizado sin restricciones en hormigón armado y pretensado.

CAPÍTULO IV

4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Si se considera que la calidad del hormigón fraguado depende de las propiedades del hormigón fresco, es necesario que previamente al vaciado de éste se estudie o analice las propiedades del hormigón fresco.

Durante el tiempo que el hormigón permanece en su estado fresco se puede corregir cualquier defecto de diseño o mezclado, esto es, corregir la dosificación de sus ingredientes de tal forma que a la mezcla de prueba sea la óptima y que cumpla con todos los requerimientos: consistencia, trabajabilidad, cohesión, segregación, entre otros, con el propósito de evitar resultados desagradables en el hormigón fraguado.

4.1. ESTADO FRESCO DEL HAC

Para que el HAC sea considerado como autocompactante debe cumplir ciertas propiedades en estado fresco, de tal manera que cumpla con una óptima trabajabilidad, la mejor manera de evaluar esta condición mediante ensayos que prueban la condición de autocompactación.

La trabajabilidad de la mezcla diseñada va de la mano del adecuado clasificación de los materiales constituyentes, por lo que deben establecer el

tipo de cemento, los agregados y aditivos que se van a utilizar en la elaboración del HAC.

Para que el hormigón sea considerado como autocompactante, debe cumplir las siguientes condiciones:

4.1.1. Capacidad de Relleno

Es la característica que tiene el hormigón para rellenar completamente todas las zonas del encofrado, recubriendo y fluyendo por las armaduras, sin dejar vacíos a su paso sin la necesidad de realizar el vibrado ni tampoco utilizar otros métodos de compactación externos, esta compactación perfecta de fluir y cambiar de forma es producida por peso propio.

La manejabilidad se traduce en términos técnicos como el asentamiento del concreto; siendo una propiedad del concreto que permite al mismo, ser mezclado, transportado, vaciado, consolidado y terminado. La manejabilidad no debe alterar la homogeneidad del concreto.

El hormigón autocompactante necesita mayor fluidez y un elevado grado de viscosidad con lo que mantendrá una consistencia homogénea durante el proceso de vaciado; la viscosidad es importante cuando se requiere un buen acabado superficial o existe alta densidad de armadura.

El tiempo de mantenimiento de la consistencia que se requiriera dependerá del tiempo de transporte y de su colocación en obra; ésta característica se debe determinar y especificar claramente, siendo de

responsabilidad del productor el asegurar que el HAC mantiene las mismas propiedades de estado fresco durante todo periodo que dure este proceso.

El hormigón autocompactante debe aplicarse en un solo vertido, teniendo las mismas condiciones en la entrega y en el proceso de puesta en obra.

4.1.2. **Resistencia a la Segregación**

Es la característica del hormigón se la define como: *“La fluidez y la resistencia a la segregación del HAC aseguran un buen nivel de homogeneidad, una mínima porosidad en el hormigón y una resistencia constante, proporcionando unos mejores niveles de acabado y una mayor durabilidad de la estructura”* (Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante - www.efca.info o www.efnarc.org).

Por lo tanto la resistencia a la segregación en el HAC es fundamental para asegurar la homogeneidad y calidad, el hormigón puede sufrir segregación durante el proceso de vertido, pero también se puede producir después de la aplicación y antes del fraguado. Si la segregación se produzca luego del proceso de vertido, es considerada más perjudicial, produciendo defectos en la superficie como fisuras y debilitamiento de la capa superficial.

4.1.3. Capacidad de Paso

Se la define como: *“Capacidad para fluir libremente a través del armado, ofreciendo un perfecto relleno, sin indicios de bloqueo del árido grueso ni otros fenómenos relacionados con la pérdida de homogeneidad (segregación y exudación)”* (Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante - www.efca.info o www.efnarc.org).

Siendo la característica del hormigón autocompactante en estado fresco al fluir a través de espacios confinados y aperturas estrechas así como también en zonas densamente armadas sin que se produzca segregación o pérdida de uniformidad.

La dimensión a través del cual el HAC debe fluir continuamente para llenar el encofrado, es la del orificio más pequeño; este orificio está relacionado con la separación de las armaduras, si el armado es muy denso, el espaciamiento entre las barras y la superficie del encofrado, llamado recubrimiento, no debe ser considerado, puesto que el HAC puede rodear las barras y no requiere fluir de forma continua a través de estos espacios destinados al recubrimiento.

Si hay poca o ninguna armadura, no se requerirá la especificación de la capacidad de paso.

4.2. MÉTODOS DE ENSAYO

Los ensayos que se realizan en los hormigones tradicionales, no sirven para determinar las propiedades del HAC, por lo que durante el proceso de experimentación se ha ido desarrollado métodos de ensayo que cumplan los requerimientos para medir las propiedades del HAC en estado fresco.

Los ensayos más comunes de acuerdo a las propiedades que se van a valoran, se definen en cuatro métodos; usados por los laboratorios de Europa y que han determinado de manera más confiable las propiedades del HAC.

4.2.1. Extensión Flujo

El ensayo de extensión de flujo permite medir la capacidad de flujo del hormigón, además permite identificar en forma visualmente si existe segregación del hormigón. Es el método universal para la determinación de la trabajabilidad del hormigón en estado fresco.

El equipo necesario para realizar el ensayo es:

 Cono de Abrams,

 Una bandeja o placa metálica de 850 x 850 mm, con dos círculos concéntricos de 200 y 500 mm de diámetro y una cruz en el centro.

El procedimiento que se realiza para tomar la muestra es el siguiente:

1. Se humedece el cono y la bandeja base, se coloca el molde sobre la bandeja que deberá encontrarse sobre una superficie plana horizontal.
2. El cono debe estar firmemente sujeto en el centro de la bandeja, para lo cual nos ayudamos con el círculo de 200 mm, se llena el cono de materia continua sin realizar ningún tipo de compactación.
3. Se realizara el enrase de la superficie por medio de una espátula.
4. Se levanta el cono iniciando la toma del tiempo que tardaba la mezcla de hormigón en esparcirse hasta la circunferencia de 500 mm (T50).
5. Se mide el diámetro que alcanza por el hormigón cuando concluya el movimiento, siendo ésta la media final alcanzada; el resultado se expresará en milímetros con una precisión de ± 5 mm.
6. Si al mediar los dos diámetros perpendiculares existiera una diferencia superior a 5 cm, el ensayo es nulo y se deberá repetir el ensayo con otra porción de muestra.

Fotografía 1 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - llenado del cono de Abrams



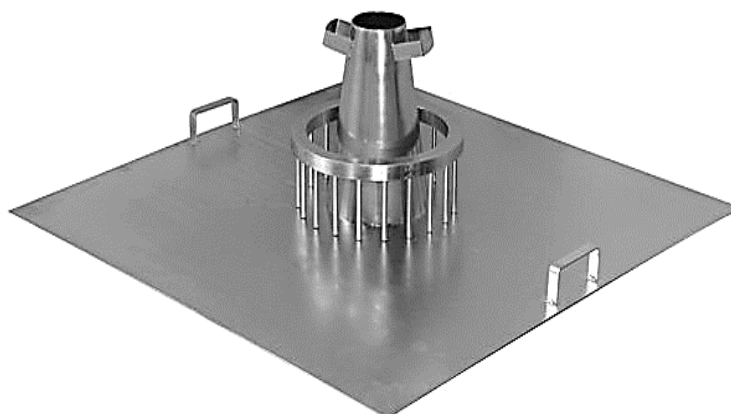
Realizó: Jefferson Benavides R.

Fotografía 2 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - Extensión final del hormigón



Realizó: Jefferson Benavides R.

Fotografía 3 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo – Variante con el anillo japonés



Fuente: <http://www.sistemasdeensayo.com/productos.asp?IdFam=2&IdSubFam=22>

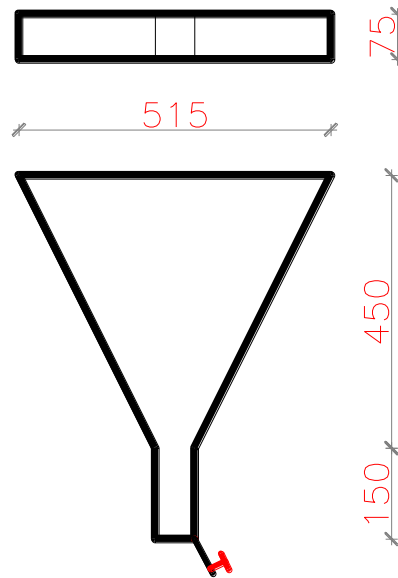
4.2.2. Embudo V

El ensayo del embudo en V permite medir la capacidad del hormigón autocompactante al fluir por zonas estrechas así como la capacidad de rellenar los moldes.

El equipo necesario para realizar el ensayo es:

- ✚ Embudo-V, consiste en un recipiente en forma de V, cuya sección transversal superior es rectangular variable, en la parte inferior una compuerta de apertura, conforme las dimensiones indicadas en la figura, la sección del canal de salida es de 65×75 mm.
- ✚ Recipiente de recolección para el hormigón.

Figura 9 - Ensayos en estado fresco: Embudo en V



Realizó: Jefferson Benavides R.

El procedimiento para el ensayo es el siguiente:

1. Se humedece el embudo.
2. Se llena el embudo, en forma continua sin realizar compactación alguna.
3. Se enrasa por medio de una espátula.
4. Se abre la compuerta inferior del embudo y se toma el tiempo que tarda el hormigón en vaciarse del embudo.
5. El tiempo de flujo es la medida obtenida de este ensayo.

Fotografía 4 - Ensayos en estado fresco: Extensión de flujo - Embudo en V



Fuente: Norma NTE INEN 872:2011

4.2.3. Caja en L

El ensayo de la caja en L permite medir la capacidad de paso del hormigón autocompactante al fluir por zonas estrechas incluyendo el espacio entre las barras de la armadura y otras obstrucciones, existen variaciones del ensayo que consisten básicamente en simular la densidad de la armadura, esto es con 2 o 3 tres barras como obstáculos.

El ensayo consiste en fluir un volumen determinado de HAC fresco colocado en la tolva de llenado, dejar reposar por 60 segundos, se eleva la compuerta permitiendo el paso a través de los obstáculos de barras por la bandeja horizontal, cuando el HAC deje de fluir se realiza la medición de las alturas: inicial en la tolva y final en el otro extremo. La relación entre alturas es la capacidad de paso del HAC.

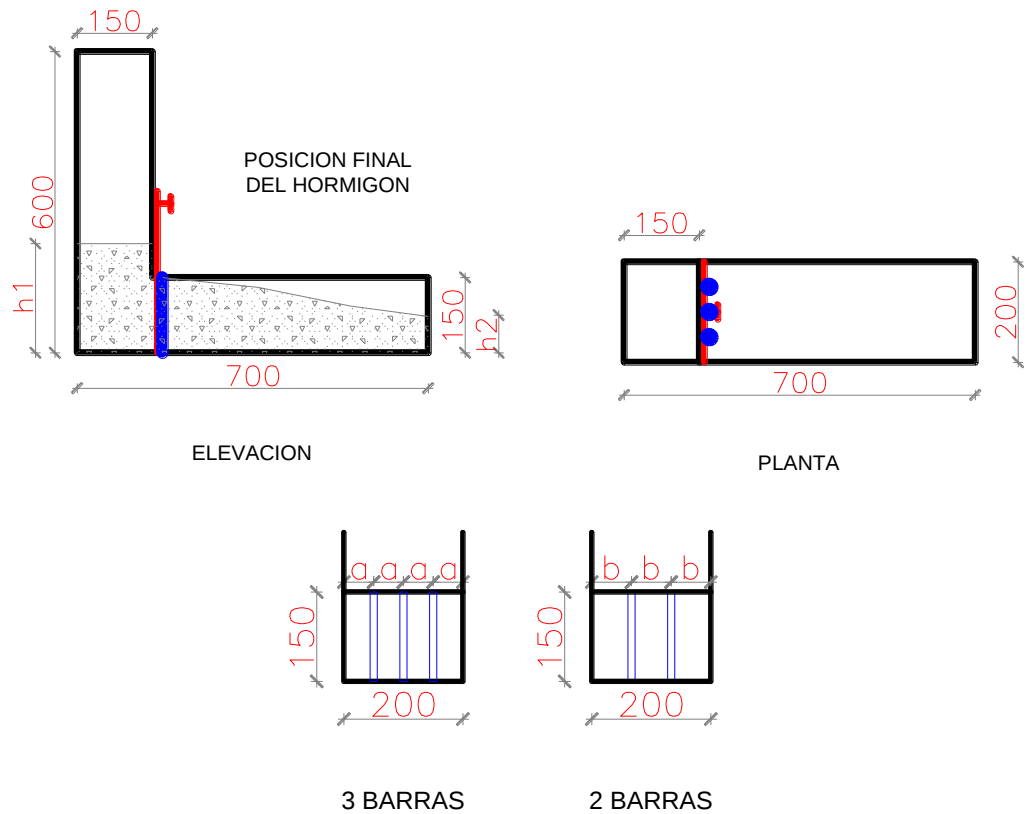
$$P_A = \frac{H_2}{H_1}$$

El equipo necesario para realizar el ensayo es:

✚ Caja en L, de forma genérica y dimensiones como la que se muestra en la figura.

✚ Regla graduada.

Figura 10 - Ensayos en estado fresco: Caja L



Realizó: Jefferson Benavides R.

Fotografía 5 - Ensayos en estado fresco: Caja en L



Fuente: Norma NTE INEN 872:2011

4.3. ESTADO ENDURECIDO DEL HAC

Las consideraciones de los hormigones autocompactantes son consideradas similares a los hormigones convencionales, por lo que se pueden aplicar las mismas formulaciones del hormigón convencional.

La comparación de los hormigones autocompactante y convencional está basada en hormigones de similares resistencias, por lo que a continuación se describen las propiedades del hormigón endurecido.

4.3.1. Resistencia a compresión

La clasificación del hormigón en base a su resistencia a compresión, está dada por normas nacionales e internacionales, esta propiedad sirve como

referencia del estado endurecido; con este antecedente, por ser la principal y más importante característica del hormigón convencional, la relación agua/cemento es el factor determinante, a diferencia del hormigón autocompactante en el que influyen varios factores como: tamaño máximo del árido, inexistencia de compactación, los aditivos, la relación agua/finos, la densidad de la mezcla, (Skarendahl, et al., 2000; Klug et al., 2003; Georgiadis et al., 2007; Agranati, 2008),

Un factor que modifica la resistencia del hormigón es la vibración, ya que en un hormigón convencional con deficiente vibración produce la inclusión de aire dejando orificios en su interior, desmejorando notablemente la resistencia final; en el HAC no se produce este problema de inclusión de aire.

La inclusión de un aditivo superplastificante influye en el desarrollo de la resistencia del HAC, según la ACI, los aditivos hacen que mejore la resistencia a compresión, recomienda también se determine la resistencia a compresión a 91 días ya que las propiedades del HAC por el mayor contenido de material cementante.

Conforme la Norma Europea EN 200-1, se determina el uso de probetas cilíndricas $\varnothing=15\text{cm}$, $h=30\text{cm}$ o probetas cúbicas $l=15\text{cm}$; además la norma establece que para los hormigones vibrados la resistencia de la probeta cilíndrica podrá estar entre el 80% y 83% de la resistencia obtenida en la probeta cubica.

4.3.2. **Resistencia a tracción**

Es una característica del hormigón que está relacionada con la fisuración del hormigón; en hormigones con resistencia a tracción más baja, se fisura con niveles de tensión más bajos, esta propiedad de resistencia a tracción es directamente proporcional con la resistencia a compresión, si se incrementa la resistencia a compresión se incrementa la resistencia a tracción.

Es indispensable en el diseño de las secciones de hormigón armado, el diagrama de resistencia a tracción se usa para evaluar el momento de fisuración de los elementos pretensados, en el diseño de la armadura de control del estado límite de fisuración y de la separación resultante de fisuraciones térmicas por retracción a edades tempranas, para representar los diagramas momentos - deformaciones, para el diseño de pavimentos de hormigón en masa y para hormigón armado con fibras.

La relación de la resistencia a tracción y adherencia del Hormigón Autocompactante respecto a la resistencia a compresión son similares para ambos hormigones y la adherencia al acero llega a ser superior (Gibbs y Zhu, 1999).

4.3.3. **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad (E), es la relación entre tensión y deformación, se la usa para el cálculo de la deformación elástica, es un parámetro del diseño de elementos de hormigón armado, elementos pretensados y postensados.

En el hormigón convencional el módulo de elasticidad depende de tres factores: árido, pasta y la zona de transición entre la pasta y el árido, estos factores también son válidos para el caso del hormigón autocompactante.

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DE MEZCLAS

5.1. INTRODUCCIÓN

Para que la dosificación de la mezcla elegida, deberá satisfacer los criterios del hormigón autocompactante en sus propiedades de estado fresco y endurecido conforme las especificaciones dadas para la estructura.

Siendo la clave encontrar las cantidades adecuadas de los componentes del HAC para obtener buena capacidad de llenado, capacidad de paso y resistencia a la segregación.

Las características que deberán alcanzar el HAC en estado fresco son:

-  Establecer la fluidez y viscosidad de la pasta con la selección y proporción necesaria del cemento y los áridos, definiendo la relación agua/finos; luego de lo cual se añadirá el aditivo superplastificante modulador de viscosidad.
-  Determinar el volumen de pasta necesaria para el transporte de los áridos, que deberá ser un volumen mayor al volumen de espacio de los áridos, siendo así todas las partículas de los áridos estarán completamente recubiertas, manteniendo capas lubricadas de pasta; esta condición incrementa la fluidez y reduce la fricción de los áridos.

✚ Para obtener el recubrimiento con una capa de mortero en todas las partículas gruesas de los áridos, deberá reducir la relación de gruesos y finos en la mezcla, esta condición evita la segregación de los agregados, evitando simultáneamente posibles bloqueos del hormigón a su paso por la armadura o por pequeños espacios del encofrado.

5.2. MATERIALES CONSTITUYENTES DEL HAC

A continuación detallamos los materiales utilizados para el diseño del hormigón autocompactante.

5.2.1. Cemento

El Cemento Pórtland Puzolánico tipo IP, corresponde al cemento Selvalegre, un producto de LAFARGE, de uso muy común en nuestro medio, es un cemento que permite alcanzar las resistencias a la compresión en cualquier edad, siendo un cemento perteneciente a una nueva generación llamados “Compuestos”, los cuales dan una solución a daños y deterioros que han sufrido estructuras que fueron fabricadas con el cemento Portland ordinario (OPC) (tipo I ASTM C 150).

Fotografía 6 - Cemento Portland Tipo I



Fuente: Guía práctica para fabricar hormigones de calidad - LAFARGE

La adición de la Puzolana en el proceso de fabricación, le proporciona valores agregados muy importantes son:

- ✚ El Cemento Selvalegre tiene como propiedad aprovechable el incremento de resistencia, ya que el hormigón adecuadamente curado continúa ganando resistencia hasta los 120 días en un 25 %, teniendo a los 60 días un incremento de resistencia entre el 15 y el 20 % que a los 28 días.
- ✚ Ayuda a evitar el efecto nocivo conocido como “reactividad álcali-sílice”, la cual se presenta con las rocas de nuestro país.
- ✚ Disminuye la temperatura de hidratación, siendo ideal para la aplicación en obras con grandes masas de hormigón.

El Cemento Selvalegre permite obtener elevadas resistencias a edades tempranas, además por sus características fragua rápidamente permitiendo acelerar el proceso constructivo; si se requiere uso de aditivos, se pueden obtener hormigones de alta resistencia a las pocas horas de colado.

Con éste Cemento Selvalegre se fabrican hormigones con una gama de resistencias, de las que demanden del diseño de la obra, los materiales pétreos de buena calidad, el uso de aditivos reductores de agua y un diseño de la mezcla afinado, por lo que es fácil obtener “resistencias a la compresión” del orden de 50 y 60 MPa y “módulos de rotura” (resistencia a la tracción por flexión) de 5,5 y 6 MPa, sin necesidad de recurrir a procedimientos sofisticados.

Según LAFARGE, se han realizados ensayos en laboratorio controlando rígidamente todos los parámetros del diseño, con materiales locales de uso común, logrando resistencias a la compresión de 85 y 90 MPa.

El cemento Selvalegre cumple con lo las especificaciones químicas y físicas de la norma INEN 152.

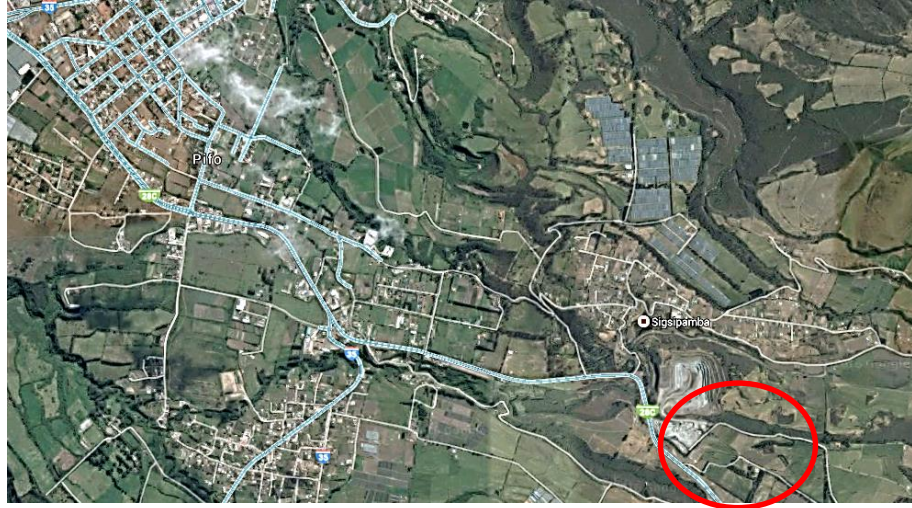
5.2.2. Agregados gruesos

El agregado grueso seleccionado proviene de la cantera de la empresa MinCivil, la cual está localizada en la Provincia de Pichincha, en la parroquia Pifo, al Oriente de la ciudad de Quito, próxima a la población de Pifo, su altura aproximada es de 2820 msnm, el acceso a la cantera es por la vía Pifo – Pintag.

El agregado grueso es una grava natural, obtenida por medio de trituración, de color gris-rojizo, contiene escorias volcánicas, presenta una

forma de partícula cúbica y aplanada con bordes cortantes y angulosos; proviene de rocas sanas, duras; el material que se extrae, es roca andesita sedimentaria y meteorizada.

Fotografía 7 - Ubicación de la cantera de Pifo



Fuente: Google Earth

Realizó: Jefferson Benavides R.

A fin de obtener las resistencias establecidas, las partículas deben ser de tamaño promedio, para obtener resistencias sobre los 24 Mpa, se debe emplear un tamaño nominal máximo de 25.4 mm (1”).

Fotografía 8 - Agregado grueso - cantera de Pifo



Realizó: Jefferson Benavides R.

5.2.2.1. Abrasión

La norma NTE INEN 861:2011 establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño mayor a 19 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles.

Procedimiento de ensayo:

DATOS DE LABORATORIO:

Masas Inicial =	A	5000 gr.
Masas retenida en el Tamiz N° 12 (500 rev) =	B	3806 gr.
Masas retenida en el Tamiz N° 12 =	C	1194 gr.
Porcentaje de desgaste =	D	23.88 %

CÁLCULOS:

El valor de la degradación es la pérdida de masa (diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra) expresada en porcentaje respecto a la masa inicial

$$D = \frac{A - B}{A} * 100 \qquad C = A - B$$

PROCEDIMIENTO:

- Se mide unos 5000 grs de muestra seca con una aproximación de 1 gramo y se coloca en la máquina de Los Angeles, junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta que la velocidad angular es constante.
- Después se retira el material del cilindro y luego se hace pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la Norma NTE INEN861. El material retenido en el tamiz #12 debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 °C y 110 °C. Al día siguiente se cuantifico la muestra eliminando los finos y luego fue pesada.

CONCLUSIONES:

- * De los resultados obtenidos en laboratorio se concluye que el agregado es de alta resistencia al desgaste.
- * Este agregado es apto para el diseño de la mezcla de concreto, ya que puede garantizar buenos resultados al ser utilizado.
- * Las propiedades de los agregados dependen de las características del bloque de roca que proviene.
- * El porcentaje de desgaste de 23.88% sirve para la fabricación de estructuras de concreto.

5.2.2.2. **Peso Unitario**

La norma NTE INEN 858:2010 establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del agregado, tanto para condición compactada como para suelta, además calcula los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa del molde =	<i>P</i>	8592 gr.
Volúmen del molde =	<i>V</i>	9940 cm ³ .
Masas molde + material suelto =	<i>A</i>	22518 m ³ .
Masas molde + material compactado =	<i>B</i>	24262 gr.
Masas del material suelto =	<i>Ms</i>	13926 gr.
Masas del material compactado =	<i>Mc</i>	15670 gr.
Peso unitario suelto =	<i>Ms/V</i>	1401 Kg/m³
Peso unitario compactado =	<i>Mc/V</i>	1576 Kg/m³

FORMULAS:

$$Ms = A - P \quad Mc = B - P \quad P_{us} = \frac{Ms}{V} \quad P_{uc} = \frac{Mc}{V}$$

5.2.2.3. **Densidad específica y absorción**

La norma establece el método para determinar la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa de la muestra saturada con superficie seca =	<i>B</i>	3189 gr.
Masa de la muestra seca =	<i>A</i>	3078 gr.
Masa de la muestra sumergida =	<i>C</i>	1872 gr.
Gravedad específica Bulk =	<i>Ge</i>	2.337
Gravedad específica saturada con superficie seca =	<i>Ges</i>	2.421
Gravedad específica aparente =	<i>Gea</i>	2.552
Porcentaje de absorción =	<i>Ab</i>	3.61%

FORMULAS:

$$Ge = \frac{A}{B - C} \quad Ges = \frac{B}{B - C} \quad Gea = \frac{A}{A - C} \quad Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

5.2.2.4. Contenido de humedad

La norma establece el método para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, es método de ensayo es lo suficientemente preciso como para el ajuste de cantidades de ingredientes para el hormigón.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa del molde =	<i>P</i>	310 gr.
Masas molde + ripio natural=	<i>A</i>	3020 gr.
Masas molde + ripio seco =	<i>B</i>	2980 gr.
Masas del ripio al aire =	<i>Ma</i>	2710 gr.
Masas del ripio seco =	<i>Ms</i>	2670 gr.
Contenido de humedad =	<i>W_R</i>	1.50%

FORMULAS:

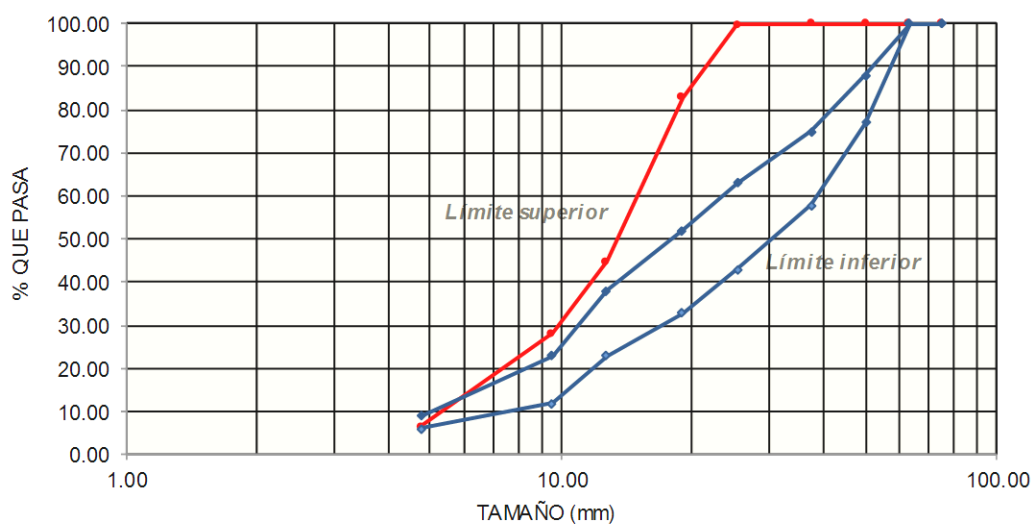
$$Ma = A - P \quad Ms = B - P \quad W_R = \frac{Ma - Ms}{Ms} * 100$$

5.2.2.5. Granulometría

La norma establece el método para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado, con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón u otros propósitos.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICA C. ASTM C 33-03
3"	75.00	0	0	0.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.00	0	0	0.00	100.00	100.00
2	50.00	0	0	0.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.50	0	0	0.00	100.00	100.00
1"	25.40	34	34	0.17	99.83	90-100
3/4"	19.00	3396	3430	17.07	82.93	20-55
1/2"	12.70	7648	11078	55.14	44.86	0-10
3/8"	9.51	3352	14430	71.82	28.18	0-5
N° 4	4.76	4360	18790	93.52	6.48	
PASA N° 4		1302	1302			
SUMA		20092	20092			

CURVA GRANULOMETRICA



- ✦ Tamaño Nominal Máximo = 1"
- ✦ Módulo de Finura = 2.38%

5.2.3. Agregados finos

El agregado fino seleccionado proviene de la cantera de Tanlagua, está localizada en la Provincia de Pichincha, en la parroquia San Antonio de Pichincha, al Noroeste de la ciudad de Quito, próxima a la población de Tanlagua, su altura aproximada es de 2670 msnm, el acceso a la cantera es por la vía a San José de Minas.

El agregado fino, es polvo de piedra, de color gris azulado, tipo andesita, está libre de contaminación y no contiene arcillas, limos o materia orgánica.

Fotografía 9 - Ubicación de la cantera de Tanlagua



Fuente: Google Earth

Realizó: Jefferson Benavides R.

Fotografía 10 - Agregado fino - cantera de Tanlagua



Realizó: Jefferson Benavides R.

5.2.3.1. Peso Unitario

La norma NTE INEN 858:2010 establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del agregado, tanto para condición compactada como para suelta, además calcula los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa del molde =	<i>P</i>	5072 gr.
Volúmen del molde =	<i>V</i>	2980 cm ³ .
Masas molde + material suelto =	<i>A</i>	9368 m ³ .
Masas molde + material compactado =	<i>B</i>	10050 gr.
Masas del material suelto =	<i>Ms</i>	4296 gr.
Masas del material compactado =	<i>Mc</i>	4978 gr.
Peso unitario suelto =	<i>Ms/V</i>	1442 Kg/m³
Peso unitario compactado =	<i>Mc/V</i>	1670 Kg/m³

FORMULAS:

$$Ms = A - P \quad Mc = B - P \quad P_{us} = \frac{Ms}{V} \quad P_{uc} = \frac{Mc}{V}$$

5.2.3.2. Densidad específica y absorción

La norma establece el método para determinar la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa del matríz =	<i>Mm</i>	191.78 gr.
Masa del conjunto: matríz, agua y muestra =	<i>Mmam</i>	753.40 gr.
Masa de la muestra saturada con superficie seca =	<i>B</i>	100.00 gr.
Masa de la muestra seca =	<i>A</i>	98.66 gr.
Masa de agua añadida al matríz =	<i>Ma</i>	461.62 gr.
Gravedad específica Bulk =	<i>Ge</i>	2.571
Gravedad específica saturada con superficie seca =	<i>Ges</i>	2.606
Gravedad específica aparente =	<i>Gea</i>	2.664
Porcentaje de absorción =	<i>Ab</i>	1.36%

FORMULAS:

$$Ma = Mmam - (Mm + B) \quad Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$
$$Ges = \frac{B}{500 - Ma} \quad Gea = \frac{A}{500 + Mm - Mmam + A} \quad Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

5.2.3.3. Contenido de humedad

La norma establece el método para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, es método de ensayo es lo suficientemente preciso como para el ajuste de cantidades de ingredientes para el hormigón.

DATOS DE LABORATORIO:

Masa del molde =	<i>P</i>	190 gr.
Masas molde + arena natural=	<i>A</i>	1798 gr.
Masas molde + arena seco =	<i>B</i>	1786 gr.
Masas del arena al aire =	<i>Ma</i>	1608 gr.
Masas del arena seco =	<i>Ms</i>	1596 gr.
Contenido de humedad =	<i>W_A</i>	0.75%

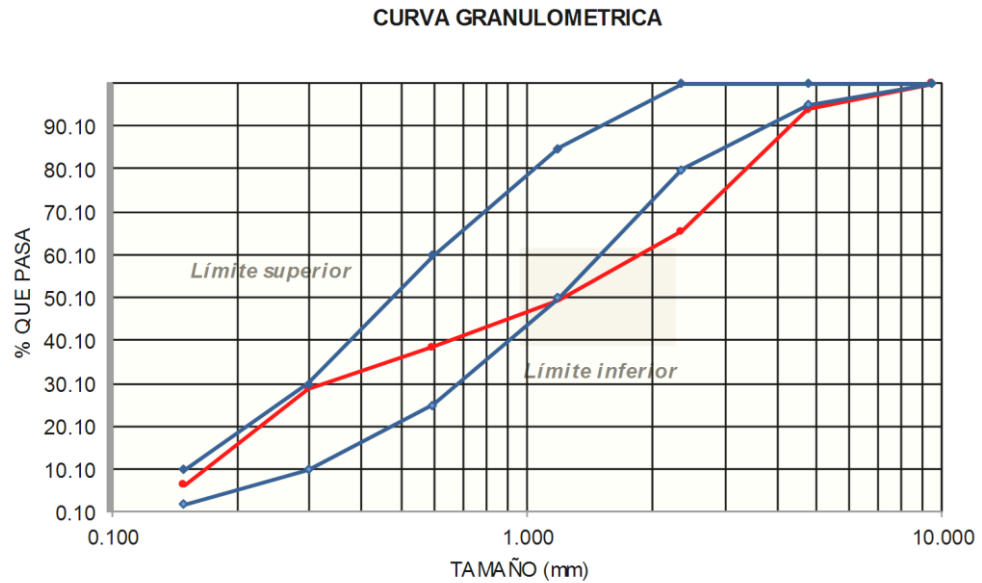
FORMULAS:

$$Ma = A - P \qquad Ms = B - P \qquad W_A = \frac{Ma - Ms}{Ms} * 100$$

5.2.3.4. Granulometría

La norma establece el método para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado, con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón u otros propósitos.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	89.58	89.58	6.15	93.85
N° 8	2.362	412.95	502.53	34.50	65.50
N° 16	1.190	231.27	733.80	50.37	49.63
N° 30	0.595	161.00	894.80	61.42	38.58
N° 50	0.297	140.00	1034.80	71.03	28.97
N° 100	0.149	329.10	1363.90	93.62	6.38
PASAN° 100		92.90	92.90	6.38	
SUMA		1456.80	1456.80		



- ✦ Partículas < 75 μm = 6.38%
- ✦ Módulo de Finura = 3.17%

5.2.3.1. Colorimetría

El ensayo de colorimetría, determina el contenido de materia orgánica que posee el agregado fino y establece si el agregado es recomendable o no, para la elaboración hormigones.

La materia orgánica que se presenta en los agregados finos, por lo general consiste de material vegetal o animal, y se forman por carbono, nitrógeno y agua; esta materia orgánica puede afectar en forma nociva las propiedades del hormigón, disminuyendo la resistencia y durabilidad, además de retrasar el proceso de fraguado.

Color de la muestra

Mayor a: 0

Menor a: 2

Contenido orgánico aceptable

SI	☒
NO	☐

Valor en la escala

Nº 0

OBSERVACIONES:

Según la norma ATMC-40; 9,2 en la escala de TESTER (1 a 5) la muestra es **acceptable hasta 3**.

FIGURA	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro o transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad.
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad

Propiedades del agregado fino según su color. Norma ASTM C-40

5.2.4. Aditivos Superplastificante

El aditivo superplastificante, que se añade a la mezcla de hormigón para mejorar una o más de sus características, permiten reducir el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia, y aumenta la trabajabilidad, se los utiliza para modificar las propiedades del hormigón en estado fresco, el volumen a utilizarse no deberá superar el 5% del peso del cemento.

Para el presente estudio utilizaremos un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con polímeros policarboxilatos.

Entre las ventajas que ofrece el aditivo a utilizar están:

- ✚ Reducción de agua: Puede ser dosificado en pequeñas cantidades para obtener una reducción de agua de 10% al 15% y se logran reducciones de agua por encima del 45% para dosis altas.

- ✚ Alta Plasticidad: La acción súper plastificante del aditivo brinda un alto asentamiento, se obtienen concretos fluidos que mantienen una excelente manejabilidad y pueden ser colocado con un mínimo de vibración incluso con una relaciones a/c de hasta 0.25.

El concreto plastificado es altamente fluido y mantiene completamente la cohesión de la matriz de cemento eliminando la excesiva exudación y segregación.

- ✚ Manejabilidad con fraguados controlados: el aditivo ha sido formulado para proveer tiempos de manejabilidad extendidos de una forma controlada y predecible sin afectar los tiempos de fraguados.

La combinación de la reducción de agua y la acción plastificante del aditivo brinda los siguientes beneficios al concreto endurecido.

- ✚ Altas resistencias finales, permitiendo diseños estructurales flexibles y económicos.

✚ Reducción de la relación a/c, produciendo concretos más densos y durables al reducir la permeabilidad.

✚ El alto efecto plastificante reduce los defectos en la superficie en los elementos de concreto y mejora la apariencia estética.

5.2.5. **Agua**

El agua utilizada cumple los parámetros establecidos por la EPMAPS, siendo principalmente apto para consumo humano, es limpia y libre de impurezas dañinas o sustancias que sean nocivas al hormigón o al acero de refuerzo.

El agua es la encargada de producir las reacciones químicas con el cemento, entonces debe ser limpia, libre de materia orgánica y otras sustancias químicas. “El agua potable es la más adecuada”.

5.4. DISEÑO DE MEZCLAS

Para la dosificación del hormigón se utilizan varios métodos, entre los cuales utilizaremos el Método ACI-211, que es el más utilizado para determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y agregados a ser empleados en la elaboración del hormigón deseado.

5.4.1. Método ACI (American Concrete Institute)

Este método se basa en datos tabulados que se han obtenido a base de un gran número de mezclas de prueba; estos valores tabulados resumen la resistencia del hormigón con la relación agua – cemento, los tipos de estructuras y los grados de exposición ambiental, la cantidad de agua con los diferentes grados de consistencia y el tamaño del agregado grueso, y, el volumen aparente del agregado grueso con el módulo de finura de la arena.

Para el diseño de las mezclas, debe obtenerse los siguientes datos de laboratorio:

-  Análisis y datos de granulometría.
-  Densidad global (en estado saturado con superficie seca).
-  Capacidad de absorción.
-  Contenido de humedad.
-  Densidad aparente compactada.

 Densidad real del cemento.

 Densidad aparente del cemento.

Procedimiento.-

El hormigón debe utilizarse con la menor cantidad posible de agua de mezclado, acorde con una adecuada trabajabilidad, porque así se obtendrá la máxima resistencia y durabilidad.

La mezcla debe diseñarse para producir un hormigón que cumpla las siguientes propiedades:

- a. La mayor consistencia posible, que permita una colocación y compactación satisfactorias.
- b. De durabilidad suficiente para soportar las condiciones ambientales y agentes destructivos.
- c. De resistencia suficiente para soportar cargas sin peligro de falla.

Consistencia y tamaño máximo de los agregados.-

Las tablas 1 y 2 recomiendan ciertas limitaciones para la consistencia (medió como asentamiento) y el tamaño máximo del agregado grueso. Las mezclas muy húmedas deben siempre evitarse, pues no se puede colocar en obra sin segregación, y a la vez originan hormigones muy pobres.

TABLA 1.- REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

<i>Tipos de construcción</i>	<i>Revenimiento (cm)</i>	
	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
Muros de cimentación y zapatas	8	2
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	8	2

Nota: Límites superiores pueden aumentarse en 2 (cm) para compactación manual.

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Debe utilizarse el mayor tamaño de agregado grueso, sin embargo, el tamaño máximo no debe ser mayor que 1/5 de la menor dimensión de la estructura ni mayor que 3/4 del menor espacio libre entre varillas de la estructura, pudiendo utilizarse tamaños menores si otras condiciones las solicitan.

TABLA 2.- TAMAÑO MÁXIMO RECOMENDADO (MM) EN FUNCIÓN DE LA DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN (ACI)

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

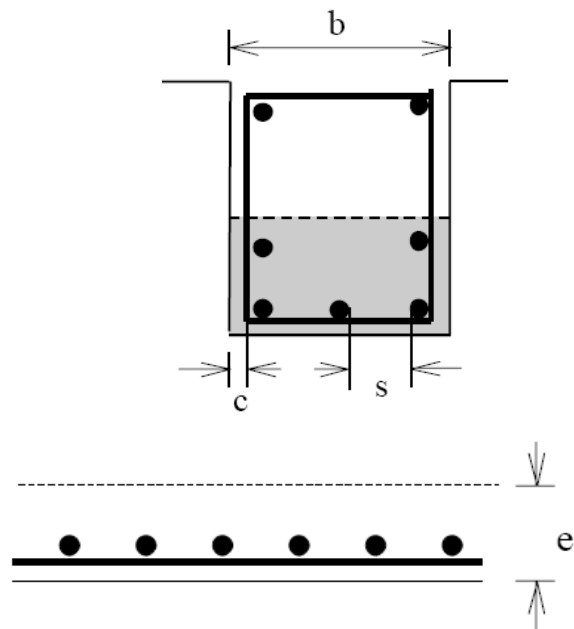
Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Según la norma ACI 211.1-81

$$D_n < \begin{cases} 1/5 \text{ de la menor dimensión interna del encofrado (b)} \\ 3/4 \text{ del espacio libre entre armaduras (s)} \\ 1/3 \text{ del espesor de las losas armadas (e)} \end{cases}$$

Figura N° 21: Especificaciones de Tamaño máximo recomendado (mm) en función de la sección (ACI)



Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Estimación de la cantidad de agua.-

La cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón para producir una mezcla de consistencia deseada, depende del tamaño máximo, forma, graduación del agregado y de la cantidad de cemento. La tabla 3 nos indica con suficiente aproximación la cantidad de agua recomendable.

TABLA 3.- REQUERIMIENTOS APROXIMADOS PARA DOSIS DE AGUA (KG/M3) Y CONTENIDO DE AIRE (%) PARA DIFERENTE TRABAJABILIDAD Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE ÁRIDOS (ACI 211.1- REV. 1985)

Trabajabilidad (cm) o contenido aire	Vebe (seg)	Tamaño máximo del árido (mm)							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
HORMIGÓN SIN AIRE INCORPORADO									
3 - 5	5 - 3	205	200	185	180	160	155	145	125
8 - 10	3 - 0	225	215	200	195	175	170	160	140
15 - 18	0	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aire atrapado aproximado (%)		3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
HORMIGÓN CON AIRE INCORPORADO									
3 - 5	5 - 3	180	175	165	160	145	140	135	120
8 - 10	3 - 0	200	190	180	175	160	155	150	135
15 - 18	0	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)									
Exposición suave		4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*	1,0*
Exposición moderada		6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*	3,0*
Exposición extrema #		7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*	4,0*

Nota: Valores de asentamiento para hormigón con árido mayor que 40 mm basados en ensayos de asentamiento hechos después de remover las partículas mayores a 40 mm por tamizado húmedo.

Dosis de agua para tamaños máximo nominal de 75 y 150 mm. son valores promedio para áridos gruesos razonablemente bien formados y bien graduados desde grueso a fino.

(*) Para hormigón que contiene áridos de gran tamaño y que será tamizado con agua en malla de 40 mm antes del ensayo de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material menor que 40 mm debe ser aquel tabulado en la columna de 40mm. Sin embargo, los cálculos de dosificación inicial deberán estar basados en la dosis de aire como un porcentaje de la mezcla total.

(#) Estos valores están basados en el criterio que un contenido de aire de 9% se necesita en la fase mortero del hormigón.

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Algunos materiales pueden necesitar menos agua que la indicada en la tabla 3; en estos casos, se recomienda no disminuir la cantidad de cemento en previsión de otros factores desventajosos que sirven de compensación.

Relación agua-cemento.-

Las exigencias de calidad de un hormigón puede expresarse en términos de durabilidad y de una resistencia mínima, en términos de un factor de cemento mínimo.

Cuando el hormigón esté sujeto a la acción de sulfatos, debe utilizarse cementos resistentes a los sulfatos (tipo V o tipo II). La tabla 4 sirve de guía para seleccionar la relación agua-cemento máxima permisible para diversos grados de exposición y diferentes tipos de estructuras. Si las condiciones ambientales no son severas, la relación agua-cemento se puede obtener de la tabla 5; pero en todo caso, para condiciones severas, se escogerá la menor relación agua-cemento, de las dos tablas.

TABLA 4.- MÁXIMA RAZÓN AGUA/CEMENTO PERMITIDA PARA HORMIGÓN
(BASADA EN ACI 201.2R)

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Estructura frecuente continuamente húmeda y expuesta a congelamiento y deshielo *</i>	<i>Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos</i>
Secciones delgadas (barandas, rejas, soleras, antepechos, anaqueles, trabajo ornamental) y secciones con menos que 5 mm de recubrimiento sobre el acero	0,45	0,40#
Otro tipo de estructuras	0,50	0,45#

(*) El hormigón debería tener también aire incorporado.

#Si se usa cemento resistente a sulfatos (Tipos II o V de ASTM C 150) se puede aumentar la razón Agua/Cemento permitida en 0,05.

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

El factor de cemento necesario se puede calcular utilizando la relación agua-cemento máxima permisible y la cantidad de agua requerida de la tabla 3.

Se puede estimar con buena aproximación la cantidad de agregado grueso, para agregado graduado dentro de los límites convencionales, tomando las relaciones empíricas indicadas en la tabla 6. Los valores indicados corresponden a los volúmenes aparentes de agregado compactado, seco al ambiente, por unidad de volumen.

TABLA 5.- RELACIÓN AGUA LIBRE/CEMENTO Y RESISTENCIA PROMEDIO DEL HORMIGÓN (ACI 211.1- REV. 85)

Resistencia promedio a compresión a 28 días *		Razón Agua libre/Cemento (en masa)	
MPa	Psi	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	-	0,38	-
42	6000	0,41	-
40	-	0,43	-
35	5000	0,48	0,40
30	-	0,55	0,46
28	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
21	3000	0,68	0,59
20	-	0,70	0,61
15	-	0,80	0,71
14	2000	0,82	0,74

(*) Medida en cilindros estándar. Valores son para un tamaño máximo del árido de 20 a 25 mm., para hormigón conteniendo no más del porcentaje de aire especificado (2 ó 6%) y para cemento Portland corriente (Tipo I).

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Para lograr mejores resultados o cuando se desee obtener un hormigón de alta resistencia, debe reducirse el tamaño máximo del agregado, pues así se logra mayores resistencias para una relación agua-cemento dada.

En el caso de agregados diferentes, especialmente de aquellos que tienen forma diferente de las partículas, la utilización del mismo volumen de agregado da lugar a diferente contenido de vacíos. Por ejemplo, los agregados angulares tienen un contenido de vacíos mayor que las gravas, y por lo tanto requieren mayor cantidad de mortero. En este procedimiento no se refleja la variación en la graduación que tienen los diferentes tamaños nominales de agregados, excepto por el diferente contenido de vacíos que tienen cada uno de ellos. Sin embargo, para gravas que caen dentro de los límites de las normas convencionales de graduación, esta omisión es probablemente de escasa importancia práctica.

Se verá que el volumen aparente seco óptimo de grava por unidad de volumen de hormigón depende de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino, según se indica en la tabla 6.

El método de dosificación de ACI parte del resultado del ensayo de escurrimiento; con este resultado se ajustan las proporciones de los materiales siguiendo las recomendaciones de las tablas n° 7 y 8, una vez fijada la dosificación, se fabrica el hormigón y se realizan los ensayos en estado fresco, ajustando la dosificación hasta que se alcancen las propiedades de autocompactabilidad.

TABLA 6.- VOLUMEN APARENTE DE ÁRIDO GRUESO SECO POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN (L/M3) (ACI 211.1)

Tamaño máximo del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso * para Módulo de Finura de la Arena de:			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

TABLA 7.- SUGERENCIA DEL CONTENIDO DE FINOS DE ACI PARA 1 M3 DE HORMIGÓN (ACI, 2007)

Ensayo de escurrimiento (mm)	< 550 550 – 600 > 650
Contenido de finos (kg)	355 – 385 385 – 445 > 458

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

TABLA 8.- VALORES PARA LA DOSIFICACIÓN DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE SEGÚN LA ACI (ACI, 2007)

Parámetro	Recomendación
% Grava (< 12 mm)	28 – 32
% Pasta	34 – 40
% Mortero	68 – 72
Agua / cemento	0,32 – 0,45
Contenido de cemento (kg)	386 – 475

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Determinación de la dosis de cemento.-

La dosis de cemento se determina en base al cociente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C = \frac{(W + a)}{\frac{W}{C}} \quad (kg/m^3)$$

Determinación de la dosis de arena

 Método Volumétrico:

Se parte de la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, A_f , está dada por:

$$A_f \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_g} + 10a \right) \right]$$

En donde:

$\gamma_f =$ Densidad real sss o peso específico del árido fino (arena).

$\gamma_g =$ Densidad real sss o peso específico del árido grueso (grava).

$\gamma =$ Peso específico del cemento

$A_g =$ Dosis de árido grueso o grava

$a =$ Dosis de aire (%)

$C =$ Dosis de cemento (kg/m³)

$W =$ Dosis de agua (kg/m³)

🚧 Método de Densidad:

También se puede determinar del hecho que la suma de las dosis en peso de los distintos materiales es igual a la densidad o peso por m³ del hormigón.

Para esto se utiliza un valor estimado de la densidad dado por la tabla n°9

Dosis de arena:

$$A_f = D - C - W - A_g$$

En donde:

$D =$ Densidad hormigón fresco compactado (kg/m³)

$C =$ Dosis cemento (kg/m³)

$W =$ Dosis agua libre (kg/m³)

$A_g =$ Dosis de árido grueso o grava.

TABLA 9.- PRIMERA ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO.
(ACI 211.1-REV. 1985)

Tamaño máximo del Árido (mm)	Primera estimación de la densidad del hormigón fresco	
	Sin aire incorporado (kg/m3)	Con aire incorporado (kg/m3)
10	2280	2200
12,5	2310	2230
20	2345	2275
25	2380	2290
40	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Fuente: Norma ACI-211

Realizó: Jefferson Benavides R.

Cálculo de la Densidad Fresca del Hormigón.-

Una forma más precisa de estimar la densidad del hormigón fresco compactado se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 10\gamma_a(100 - a) + C \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma} \right) - W(\gamma_a - 1)$$

En donde:

ρ = Densidad del hormigón fresco

γ_a = Densidad real sss o peso específico ponderado del árido combinado fino y grueso.

γ = Peso específico del cemento

a = Dosis de aire (%)

C = Dosis de cemento (kg/m3)

W = Dosis de agua (kg/m3)

5.4.1.1. Ejemplo de cálculo del diseño de la mezcla

Diseñar un hormigón con una resistencia medida a los 28 días de 280 Kg/cm², el tipo de estructura a fundirse: MUROS ARMADOS (TUNEL).

Los datos obtenidos en el laboratorio son los siguientes.

TABULACION DE DATOS DE LABORATORIO

δ_{RC} (densidad real del cemento) =	3.14 Kg/dm ³
δ_{AR} (densidad aparente del cemento) =	1.49 Kg/dm ³
δ_{GA} (densidad global de la arena) =	1.67 Kg/dm ³
δ_{GR} (densidad global del ripio) =	1.58 Kg/dm ³
δ_{AA} (densidad aparente de la arena) =	1.44 Kg/dm ³
δ_{AR} (densidad aparente del ripio) =	1.40 Kg/dm ³
M _{FA} (módulo de finura de la arena) =	3.17
C _{AA} (capacidad de absorción de la arena) =	1.36 %
C _{AR} (capacidad de absorción del ripio) =	3.61 %
W _A (contenido de humedad de la arena) =	0.75 %
W _R (contenido de humedad del ripio) =	1.50 %

Procedimiento

- De la tabla n° 1 encontramos que el asentamiento máximo para éste tipo de obra es 10 cm y el mínimo 2 cm. Para nuestro caso escogemos un asentamiento de 10 cm.
- De la tabla n° 2 seleccionados el tamaño máximo del árido grueso que se recomienda para diferentes tipos de estructuras para nuestro caso tratándose de paredes de 25 cm de espesor, asumiremos un tamaño máximo de grava de 25 mm.

- c. De la tabla n° 3 debemos seleccionar la cantidad aproximada de agua de mezclado en función del asentamiento y del tamaño del árido grueso. Para un asentamiento de 18 cm, y grava de 25 mm se necesita 205 litros de agua por metro cubico de hormigón; y el porcentaje de aire atrapado es de 1% (hormigón sin inclusión del aire).
- d. Las condiciones atmosféricas son moderadas, y nuestro hormigón no va a estar sujeto a la acción de sulfatos. Tabla n° 4
- e. De la tabla n° 5, y para una resistencia de 280 Kg /cm² encontramos que la relación agua-cemento es 0.64 en peso (0.64 lts. de agua para Kg de cemento).
- f. De la tabla n° 6, seleccionados el volumen aparente del agregado grueso (grava seca compactada) en función del módulo de finura de la arena y tamaño máximo de grava = 25 mm.
- g. Determinamos la cantidad de cemento C

El volumen de agua W=205 lts.

La relación agua –cemento a/c=0.50

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$C = 205 / 0.50$$

$$C = 410.00 \text{ kg/m}^3$$

h. El volumen real del cemento V_{RC}

$$V_{RC} = \frac{M}{\delta_{RC}} \quad (lts)$$

$$V_{RC} = 410.00 / 3.14$$

$$V_{RC} = 130.57 \text{ lts.}$$

i. El volumen aparente del ripio V_{AR}

$$V_{AR} = 640 \text{ lts.}$$

j. La masa de ripio M

$$M = V * \delta_{AR} \quad (Kg)$$

$$M = 640 * 1.40$$

$$M = 896 \text{ kg}$$

k. El volumen real del ripio V_{RR}

$$V_{RR} = \frac{M}{\delta_{GR}} \quad (lts)$$

$$V_{RR} = 896 / 1.58$$

$$V_{RR} = 567.09$$

l. El volumen del aire: $1.00\% = 10 \text{ lts.}$

m. Para calcular el volumen de la arena se procede de la siguiente manera:

Se suma los volúmenes de los ingredientes:

$$W = 205.00 \text{ lts.}$$

$$C = 130.57 \text{ lts.}$$

$$R = 567.09 \text{ lts.}$$

$$a = 10.00 \text{ lts.}$$

$$V_{TI} = 912.66 \text{ lts.}$$

n. Entonces, el volumen real de la arena V_{RA}

$$V_{RA} = 1000 - V_{TI} \quad (lts)$$

$$V_{RA} = 1000 - 912.66$$

$$V_{RA} = 87.34 \text{ lts.}$$

o. La masa de la arena M

$$M_{RA} = V * \delta_{GA} \quad (Kg)$$

$$M = 87.34 * 1.67$$

$$M = 145.86 \text{ kg}$$

Todos los valores obtenidos se los tabulan y se obtiene una dosificación relativa al peso:

MATERIAL	CANTIDADES		DOSIFICACION AL PESO
	VOLUMEN (lts)	PESO (kg)	
W	175.00	175.00	0.62
C	89.89	282.26	1.00
A	254.75	601.21	2.13
R	470.36	1218.24	4.32
aire	10.00	-----	-----
DENSIDAD DEL HORMIGON		2.28	Kg/m ³

Correcciones por humedad:

a. Arena:

CAA (capacidad de absorción de la arena) = 4.24 %

WA (contenido de humedad de la arena) = 0.70

$$104.24 \text{ ————— } 100.70$$

$$601.21 \text{ ————— } X = (100.70 * 601.21) / 104.24$$

$$X = 580.79$$

Cantidad de agua en arena: 20.42 lts.

b. Ripio:

CAR (capacidad de absorción del ripio) = 2.66 %

WR (contenido de humedad del ripio) = 1.20

$$102.66 \text{ ————— } 101.20$$

$$1218.24 \text{ ————— } X = (101.20 * 1218.24) / 102.66$$

$$X = 1200.91$$

Cantidad de agua en ripio: 17.33 lts.

c. Agua:

Exceso de cantidad de agua en arena = 20.42 kg

Exceso de cantidad de agua en ripio = 17.33 kg

37.75 kg AGUA

Tabulamos los datos obtenidos:

MATERIAL	CANTIDADES					PESO CORREGIDO (kg)	VOLUMEN CORREGIDO (dm ³)
	δ_A	PESO (kg)	CAR	WR	AGUA		
W	1.00	175.00	-----	-----	-----	212.74	212.74
C	1.49	282.26	-----	-----	-----	282.26	189.44
A	1.64	601.21	4.24	0.70	20.42	580.79	354.14
R	1.62	1218.23	2.66	1.20	17.33	1200.90	741.30
aire	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DOSIFICACION FINAL AL PESO:

C (kg)	A (kg)	R (kg)	W (lts)
50.00	102.88	212.73	37.69

DOSIFICACION FINAL AL VOLUMEN:

C (saco)	A	R	W (lts)
1.00	1.87	3.91	37.69

La dosificación final es para un saco de cemento, y los agregados se medirán en cajonetas de 0.30x0.30x0.30 (m).

5.5. ENSAYOS DE FLUIDEZ

De los ensayos detallados en el capítulo IV, Métodos de Ensayo, se realizará el ensayo de Extensión de flujo, el cual nos sirve para determinar la capacidad de flujo del hormigón, además permite identificar en forma visualmente si existe segregación del hormigón. Se lo usa por ser un método universal que nos ayuda a determinar la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, además requiere el mismo equipo que se usa para determinar el asentamiento (cono de Abrams y bandeja metálica de 850 x 850 mm, con dos círculos concéntricos de 200 y 500 mm de diámetro y una cruz en el centro.

Los datos obtenidos en el ensayo se tabulan a continuación:

MUESTRA	TIEMPO (min)	DIAMETRO 1 (mm)	DIAMETRO 2 (mm)	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	SEGREGACION
1	2.58	790	796	793	NO
2	2.39	789	802	796	NO
3	1.05	820	830	825	SI
4	0.56	825	835	830	SI

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS

Se ha realizado el análisis de los resultados que se han obtenidos después de ensayar los cilindros testigos de las 4 muestras realizadas; los diseños teóricos han sido elaborados y se ha tomado tres muestras cilíndricas para cada uno de los diseños de prueba para ser ensayados a 7, 14 y 28 días de edad, luego de lo cual se realizó la tabulación de datos obtiene los siguientes resultados:

Se cumple con la norma NEC 2015, con el numeral 3.3.1 Resistencia a la compresión, en el cual nos indica en el literal b.- Especificación de resistencia determinada mediante pruebas, el $f'_{cr} = f'_c + 8.5$; por cuanto no se dispone de información estadística de ensayos, a continuación se tabulan los datos y resultados de ensayos de compresión:

RESISTENCIA MEDIA DEL HORMIGON	
f'_c	f'_{cr}
280.00	288.50
350.00	358.50

Los ensayos de las probetas para las muestras 1 y 2 cumplen el parámetro de resistencia media conforme la norma NEC 2015.

Para las muestras 3 y 4 en las que se realizó el incremento de agua, para incrementar la fluidez, no cumplen la resistencia media estimada en la norma.

Adicionalmente en el ensayo de escurrimiento, las muestras 3 y 4 presentan segregación debido al incremento de agua.

6.1. COSTO UNITARIO DEL HAC

Para realizar el precio unitario referencial de las muestras elaboradas en este proyecto, se ha tomado los valores de la tabla salarial de la Contraloría General del Estado, para los materiales y equipos los valores estimados por el Departamento de Presupuesto Técnico de la EPMAPS.

Tabulamos los precios de las cuatro muestras de acuerdo al material utilizado:

COSTO POR METRO CUBICO DE HORMIGON (USD)	
MUESTRA	PRECIO UNITARIO
1	92.11
2	103.59
3	104.70
4	113.95

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos de probetas cilíndricas de las cuatro muestras diseñadas por el método ACI-211, verificamos el cumplimiento de los objetivos propuestos:

1. Si bien en la actualidad se realiza la compactación mecánica y manual de los hormigones en obra, lo usual es incrementar agua a la mezcla para mejorar la trabajabilidad, esto podemos apreciar en el resultado de las muestras 3 y 4, en los que disminuye la resistencia a compresión, inclusive existe segregación, por lo que con el uso de aditivos plastificantes se alcanza y mejora la resistencia a la compresión.
2. Los diseños de las muestras 1 y 2 sobrepasan la resistencia estimada de 280 y 350 kg/cm², además cumplen con la fluidez proporcionada por el aditivo hiperplastificante, por lo que se podría considerar que se ha obtenido un hormigón autocompactante.
3. Los diseños de las muestras 3 y 4 no cumplen con las resistencias estimadas de 280 y 350 kg/cm², y en el ensayo de fluidez presentan segregación, por lo que no se considera un hormigón autocompactante.

4. Los resultados de las muestras 1 y 2 ensayadas a los 28 días diseñadas con la norma ACI-211, en las que se han adicionado, según recomendación del fabricante, el 1.5% de aditivo por cada kg de cemento, sobrepasan en un 4% a la resistencia solicitada para esos diseños.
5. Según las especificaciones técnicas de la EPMAPS, los diseños de las muestras 1 y 2 cumplen con la resistencia las especificaciones técnicas propuestas, en cuanto a la consistencia y resistencia, ya que todos los ensayos han sido realizados conforme las normas INEN, que son las que rigen en el país.
6. El costo referencial de los hormigones autocompactantes son inferiores al del costo del hormigón tradicional ya que no se usa equipo mecánico de compactación, disminuye el personal, y el rendimiento es mayor, siendo el principal beneficio la mejor calidad de hormigón.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que las canteras existentes en los alrededores de la ciudad de Quito, no son explotadas técnicamente, la granulometría entregada para la fabricación de hormigones no siempre corresponden a la granulometría de los diseños de mezclas, por lo que se hace necesario tener varios diseños para diferentes materiales con diversas resistencias a la compresión.

2. Para la fabricación de hormigones, el control de calidad en obra debe ser riguroso, ya que la cantidad de agua que se añade a la mezcla no debe ser lo más exacta posible, al igual que la dosificación del aditivo; para esto en obra debemos contar con un recipiente con graduación, que permita al inspector verificar la cantidad que se coloca a la mezcla.
3. No se recomienda sobrepasar las dosificaciones impuestas por los fabricantes de aditivos, ya que claramente indican el cambio en el comportamiento del hormigón fresco, retardando el fraguado inicial, o en el hormigón endurecido perdiendo resistencia final.
4. Es necesario profundizar en el tema del hormigón autocompactante, ya que en el país no se lo aplica por desconocimiento o desconfianza en este tipo de hormigón, los aditivos existentes en el mercado nacional tienen una amplia gama de posibilidades y combinaciones que mejoran cada vez las características de los hormigones.

BIBLIOGRAFIA

- + INEN, 2011, Norma NTE INEN 696:2011 – *Áridos análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso* - Primera revisión 2011-05, Ecuador.
- + INEN, 2010, Norma NTE INEN 855:2010 – *Áridos determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón* - Primera revisión 2010-06, Ecuador.
- + INEN, 2010, Norma NTE INEN 857:2010 – *Áridos determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso* - Primera revisión 2010-10, Ecuador.
- + INEN, 2010, Norma NTE INEN 858:2010 – *Áridos determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos* - Primera revisión 2010-12, Ecuador.
- + INEN, 2011, Norma NTE INEN 861:2011 - *Áridos determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles* - Primera Revisión 2011-06, Ecuador.
- + INEN, 2011, Norma NTE INEN 862:2011 - *Áridos para hormigón determinación del contenido total de humedad* - Primera revisión 2011-05, Ecuador.
- + Giraldo Bolívar, Orlando, 1987, *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*, Colombia - Medellín.
- + Laura Huanca, Samuel, 2006, *Diseño de Mezclas de Concreto*, Perú, http://itacanet.org/esp/construccion/diseño_de_mezclas.pdf
- + Cámara de la Construcción, 2015, Norma CÓDIGO NEC - SE - HM - *Estructuras de hormigón armado*, Ecuador
- + Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Illinois – EEUU, Portland Cement Association, www.cement.org.

ANEXOS

ENSAYO DE ABRASION DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-131; NTE INEN 861

Agregado:	GRUESO
Procedencia:	SIGSIPAMBA - PIFO

Masas Inicial =	<i>A</i>	5000 gr.
Masas retenida en el Tamiz N° 12 _(500 rev) =	<i>B</i>	3806 gr.
Masas retenida en el Tamiz N° 12 =	<i>C</i>	1194 gr.
Porcentaje de desgaste =	<i>D</i>	23,88 %

CÁLCULOS:

El valor de la degradación es la pérdida de masa (diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra) expresada en porcentaje respecto a la masa inicial

$$D = \frac{A - B}{A} * 100 \qquad C = A - B$$

PROCEDIMIENTO:

- a. Se mide unos 5000 grs de muestra seca con una aproximación de 1 gramo y se coloca en la máquina de Los Angeles, junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta que la velocidad angular es constante.
- b. Después se retira el material del cilindro y luego se hace pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la Norma NTE INEN861. El material retenido en el tamiz #12 debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 °C y 110 °C. Al día siguiente se cuantifico la muestra eliminando los finos y luego fue pesada.

CONCLUSIONES:

- * De los resultados obtenidos en laboratorio se concluye que el agregado es de alta resistencia al desgaste.
- * Este agregado es apto para el diseño de la mezcla de concreto, ya que puede garantizar buenos resultados al ser utilizado.
- * Las propiedades de los agregados dependen de las características del bloque de roca que proviene.
- * El porcentaje de desgaste de 23.88% sirve para la fabricación de estructuras de concreto.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-29; NTE INEN 858

Agregado:	GRUESO
Procedencia:	SIGSIPAMBA - PIFO

Masa del molde =	<i>P</i>	8592 gr.
Volúmen del molde =	<i>V</i>	9940 cm ³ .
Masas molde + material suelto =	<i>A</i>	22518 m ³ .
Masas molde + material compactado =	<i>B</i>	24262 gr.
Masas del material suelto =	<i>Ms</i>	13926 gr.
Masas del material compactado =	<i>Mc</i>	15670 gr.
Peso unitario suelto =	<i>Ms/V</i>	1401 Kg/m³
Peso unitario compactado =	<i>Mc/V</i>	1576 Kg/m³

Formulas:

$$Ms = A - P \quad Mc = B - P \quad Pus = \frac{Ms}{V} \quad Puc = \frac{Mc}{V}$$

OBSERVACIONES:

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-566; NTE INEN 862

Agregado:	GRUESO
Procedencia:	SIGSIPAMBA - PIFO

Masa del molde =	P	310 gr.
Masas molde + ripio natural=	A	3020 gr.
Masas molde + ripio seco =	B	2980 gr.
Masas del ripio al aire =	Ma	2710 gr.
Masas del ripio seco =	Ms	2670 gr.
Contenido de humedad =	W_R	1,50%

Formulas:

$$Ma = A - P \qquad Ms = B - P \qquad W_R = \frac{Ma - Ms}{Ms} * 100$$

OBSERVACIONES:

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-127; NTE INEN 857

Agregado:	GRUESO
Procedencia:	SIGSIPAMBA - PIFO

Masa de la muestra saturada con superficie seca =	<i>B</i>	3189 gr.
Masa de la muestra seca =	<i>A</i>	3078 gr.
Masa de la muestra sumergida =	<i>C</i>	1872 gr.
Gravedad especifica Bulk =	<i>Ge</i>	2,337
Gravedad especifica saturada con superficie seca =	<i>Ges</i>	2,421
Gravedad especifica aparente =	<i>Gea</i>	2,552
Porcentaje de absorción =	<i>Ab</i>	3,61%

Formulas:

$$Ge = \frac{A}{B - C} \quad Ges = \frac{B}{B - C} \quad Gea = \frac{A}{A - C} \quad Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

OBSERVACIONES:

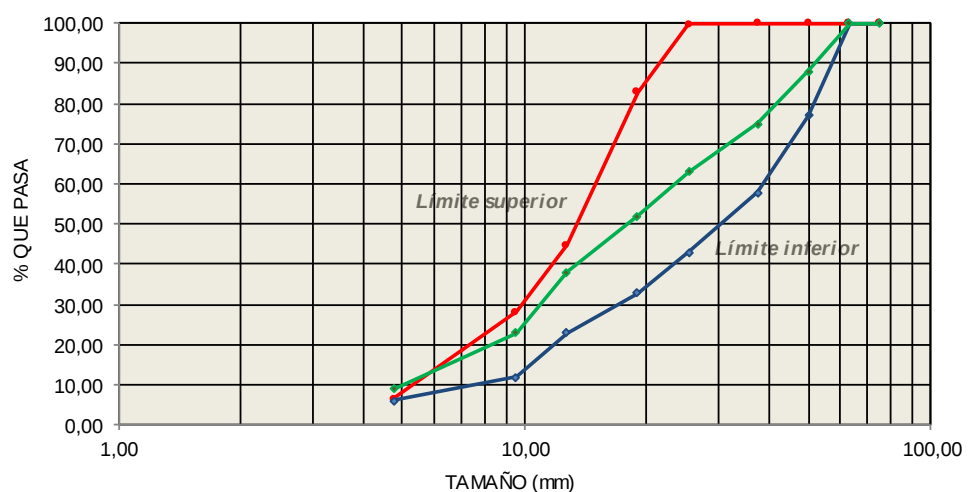
GRANULOMETRIA POR MALLAS DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C-136; NTE INEN 696

Agregado:	GRUESO
Procedencia:	SIGSIPAMBA - PIFO

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICA C. ASTM C 33-03
3"	75,00	0	0	0,00	100,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00	100,00
2	50,00	0	0	0,00	100,00	100,00
1 1/2"	37,50	0	0	0,00	100,00	100,00
1"	25,40	34	34	0,17	99,83	90-100
3/4"	19,00	3396	3430	17,07	82,93	20-55
1/2"	12,70	7648	11078	55,14	44,86	0-10
3/8"	9,51	3352	14430	71,82	28,18	0-5
N° 4	4,76	4360	18790	93,52	6,48	
PASAN° 4		1302	1302			
SUMA		20092	20092			

CURVA GRANULOMETRICA



✦ Tamaño Nominal Máximo = 1"

✦ Módulo de Finura = 2,38%

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-29; NTE INEN 858

Agregado:	FINO
Procedencia:	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Masa del molde =	<i>P</i>	5072 gr.
Volúmen del molde =	<i>V</i>	2980 cm ³ .
Masas molde + material suelto =	<i>A</i>	9368 m ³ .
Masas molde + material compactado =	<i>B</i>	10050 gr.
Masas del material suelto =	<i>Ms</i>	4296 gr.
Masas del material compactado =	<i>Mc</i>	4978 gr.
Peso unitario suelto =	<i>Ms/V</i>	1442 Kg/m³
Peso unitario compactado =	<i>Mc/V</i>	1670 Kg/m³

Formulas:

$$Ms = A - P \quad Mc = B - P \quad Pus = \frac{Ms}{V} \quad Puc = \frac{Mc}{V}$$

OBSERVACIONES:

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-127; NTE INEN 857

Agregado:	FINO
Procedencia:	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Masa del matríz =	<i>Mm</i>	191,78 gr.
Masa del conjunto: matríz, agua y muestra =	<i>Mmam</i>	753,40 gr.
Masa de la muestra saturada con superficie seca =	<i>B</i>	100,00 gr.
Masa de la muestra seca =	<i>A</i>	98,66 gr.
Masa de agua añadida al matríz =	<i>Ma</i>	461,62 gr.
Gravedad específica Bulk =	<i>Ge</i>	2,571
Gravedad específica saturada con superficie seca =	<i>Ges</i>	2,606
Gravedad específica aparente =	<i>Gea</i>	2,664
Porcentaje de absorción =	<i>Ab</i>	1,36%

Formulas:

$$Ma = Mmam - (Mm + B) \quad Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma} \quad Gea = \frac{A}{500 + Mm - Mmam + A} \quad Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

OBSERVACIONES:

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-566; NTE INEN 862

Agregado:	FINO
Procedencia:	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Masa del molde =	<i>P</i>	190 gr.
Masas molde + arena natural=	<i>A</i>	1798 gr.
Masas molde + arena seco =	<i>B</i>	1786 gr.
Masas del arena al aire =	<i>Ma</i>	1608 gr.
Masas del arena seco =	<i>Ms</i>	1596 gr.
Contenido de humedad =	<i>W_A</i>	0,75%

Formulas:

$$Ma = A - P \qquad Ms = B - P \qquad W_A = \frac{Ma - Ms}{Ms} * 100$$

OBSERVACIONES:

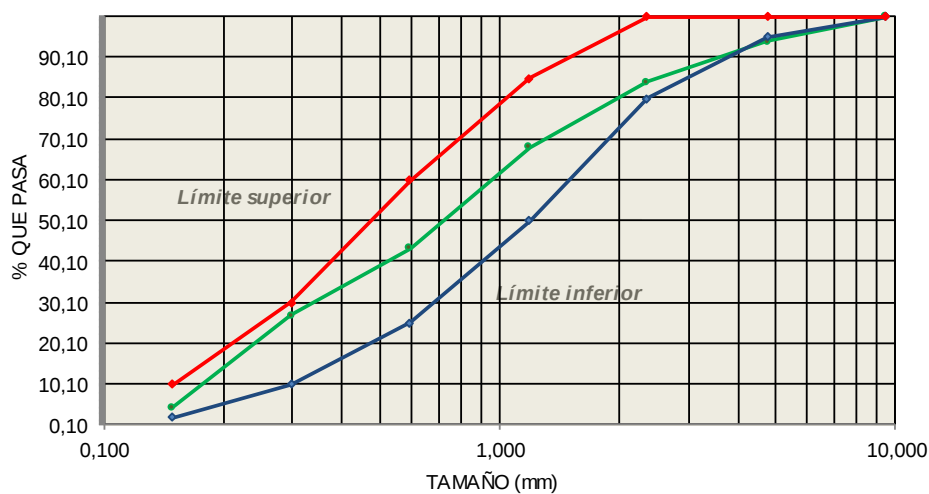
GRANULOMETRIA POR MALLAS DEL AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-136; NTE INEN 696

Agregado:	FINO
Procedencia:	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,760	89,58	89,58	6,15	93,85
N° 8	2,362	142,95	232,53	15,96	84,04
N° 16	1,190	231,27	463,80	31,84	68,16
N° 30	0,595	361,00	824,80	56,62	43,38
N° 50	0,297	240,00	1064,80	73,09	26,91
N° 100	0,149	329,10	1393,90	95,68	4,32
PASAN° 100		62,90	62,90	4,32	
SUMA		1456,80	1456,80		

CURVA GRANULOMETRICA



- ✦ Partículas < 75 μm = 4,32%
- ✦ Módulo de Finura = 2,79%

CONTENIDO ORGANICO EN AGREGADO FINO

NORMA: ASTM C-40; NTE INEN 855

Agregado:	FINO
Procedencia:	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Color de la muestra

Mayor a: **0**

Menor a: **2**

Contenido orgánico aceptable

SI	X
NO	

Valor en la escala

Nº **0**

OBSERVACIONES:

Según la norma ATM C-40; 9,2 en la escala de TESTER (1 a 5) la muestra es **acceptable hasta 3**.

FIGURA	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro o transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad.
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad

Propiedades del agregado fino según su color. Norma ASTM C-40

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDENCIA

Agregado Fino	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA
Agregado Grueso	SIGSIPAMBA - PIFO
Cemento	SEMENTO SELVA ALEGRE - LAFARGE
Agua	POTABLE - EPMAPS

PARAMETROS FISICOS

DATOS DE LABORATORIO:

C	δ_{RC} (densidad real del cemento) =	3,14 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del cemento) =	1,49 Kg/dm ³
A	ϖ_{GA} (peso unitario suelto de la arena) =	1,44 Kg/dm ³
	ϖ_{GA} (peso unitario compactado de la arena) =	1,67 Kg/dm ³
	δ_{GA} (densidad global de la arena) =	2,61 Kg/dm ³
	δ_{AA} (densidad aparente de la arena) =	2,66 Kg/dm ³
	M _{FA} (módulo de finura de la arena) =	2,79
	C _{AA} (capacidad de absorción de la arena) =	1,36 %
	W _A (contenido de humedad de la arena) =	0,75 %
R	ϖ_{GR} (peso unitario suelto del ripio) =	1,40 Kg/dm ³
	ϖ_{GR} (peso unitario compactado del ripio) =	1,58 Kg/dm ³
	δ_{GR} (densidad global del ripio) =	2,42 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del ripio) =	2,55 Kg/dm ³
	C _{AR} (capacidad de absorción del ripio) =	3,61 %
	W _R (contenido de humedad del ripio) =	1,50 %

DATOS INICIALES:

Resistencia	27,45 MPa	280 kg/cm ²
Asentamiento	10 cm	TABLA Nº 1
TMN	25 mm	TABLA Nº 2
W	195 lts/m ³	TABLA Nº 3
w/c _{max}	0,50	TABLA Nº 4
A/C	0,57	TABLA Nº 5
Aire	1,50%	TABLA Nº 3
Volumen Agregado Grueso	0,671	TABLA Nº 6

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

CALCULOS:

La cantidad de cemento C: **342,11 Kg/m³**

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

El volumen real del cemento V_{RC}: **108,95 lts**

$$V_{RC} = \frac{M}{\delta_{RC}} \quad (\text{lts})$$

El volumen de agua W: **195,00 lts**

El volumen aparente del ripio V_{AR}: **671,00 lts**

La masa de ripio M: **1057,50 kg**

$$M = V * \delta_{AR} \quad (\text{Kg})$$

El volumen real del ripio V_{RR}: **414,38 lts**

$$V_{RR} = \frac{M}{\delta_{GR}} \quad (\text{lts})$$

El volumen del aire: 1,50% **15,00 lts**

Para calcular el volumen de la arena se procede de la siguiente manera:

Se suma los volúmenes de los ingredientes:

W =	195,00 lts
C =	108,95 lts
R =	414,38 lts
a =	15,00 lts
V _{TI} =	733,33 lts

Entonces, el volumen real de la arena V_{RA}: **266,67 lts**

$$V_{RA} = 1000 - V_{TI} \quad (\text{lts})$$

La masa de la arena M: **694,94 kg**

$$M_{RA} = V * \delta_{GA} \quad (\text{Kg})$$

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

Todos los valores obtenidos se los tabulan y se obtiene una dosificación relativa al peso:

MATERIAL	CANTIDADES		DOSIFICACION AL PESO
	VOLUMEN (lts)	PESO (kg)	
W	195,00	195,00	0,57
C	108,95	342,11	1,00
A	266,67	694,94	2,03
R	414,38	1057,50	3,09
aire	15,00	-----	-----
DENSIDAD DEL HORMIGON		2,29	Kg/m³

CORRECCIONES POR HUMEDAD:

Arena:

C_{AA} (capacidad de absorción de la arena) = 1,36 %

W_A (contenido de humedad de la arena) = 0,75

101,36	—	100,75
694,94	—	690,76

Cantidad de agua en arena: **4,18 lts**

Ripio:

C_{AR} (capacidad de absorción del ripio) = 3,61 %

W_R (contenido de humedad del ripio) = 1,50

103,61	—	101,50
1057,50	—	1035,96

Cantidad de agua en ripio: **21,54 lts**

Agua:

Exceso de cantidad de agua en arena = 4,18 kg

Exceso de cantidad de agua en ripio = 21,54 kg

25,72 kg	AGUA
----------	------

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

MATERIAL	CANTIDADES					PESO CORREGIDO (kg)	VOLUMEN CORREGIDO (dm ³)
	δ _A	PESO (kg)	C _{AR}	W _R	AGUA		
W	1,00	195,00	-----	-----	-----	219,61	219,61
C	1,49	342,11	-----	-----	-----	342,11	229,60
A	2,66	694,94	1,36	0,75	4,18	690,76	259,29
R	2,55	1003,21	3,61	1,50	20,43	982,78	385,10
aire	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DOSIFICACION FINAL AL PESO:

C (kg)	A (kg)	R (kg)	W (lts)	Aditivo (lts)
50,00	100,96	143,64	32,10	0,75

DOSIFICACION FINAL AL VOLUMEN:

C (saco)	A	R	W (lts)	Aditivo (lts)
1,00	1,13	1,68	32,10	0,75

La dosificación final es para un saco de cemento.

Los agregados se medirán en cajonetas de 0.30x0.30x0.30 (m).

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDENCIA

Agregado Fino	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA
Agregado Grueso	SIGSIPAMBA - PIFO
Cemento	SEMENTO SELVA ALEGRE - LAFARGE
Agua	POTABLE - EPMAPS

PARAMETROS FISICOS

DATOS DE LABORATORIO:

C	δ_{RC} (densidad real del cemento) =	3,14 Kg/dm³
	δ_{AR} (densidad aparente del cemento) =	1,49 Kg/dm³
A	ϖ_{GA} (peso unitario suelto de la arena) =	1,44 Kg/dm³
	ϖ_{GA} (peso unitario compactado de la arena) =	1,67 Kg/dm³
	δ_{GA} (densidad global de la arena) =	2,61 Kg/dm³
	δ_{AA} (densidad aparente de la arena) =	2,66 Kg/dm³
	M_{FA} (módulo de finura de la arena) =	2,79
	C_{AA} (capacidad de absorción de la arena) =	1,36 %
	W_A (contenido de humedad de la arena) =	0,75 %
R	ϖ_{GR} (peso unitario suelto del ripio) =	1,40 Kg/dm³
	ϖ_{GR} (peso unitario compactado del ripio) =	1,58 Kg/dm³
	δ_{GR} (densidad global del ripio) =	2,42 Kg/dm³
	δ_{AR} (densidad aparente del ripio) =	2,55 Kg/dm³
	C_{AR} (capacidad de absorción del ripio) =	3,61 %
	W_R (contenido de humedad del ripio) =	1,50 %

DATOS INICIALES:

Resistencia	34,31 MPa	350 kg/cm²
Asentamiento	10 cm	TABLA Nº 1
TMN	25 mm	TABLA Nº 2
W	195 lts/m³	TABLA Nº 3
w/c_{max}	0,50	TABLA Nº 4
A/C	0,48	TABLA Nº 5
Aire	1,50%	TABLA Nº 3
Volumen Agregado Grueso	0,671	TABLA Nº 6

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

CALCULOS:

La cantidad de cemento C: **406,25 Kg/m³**

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

El volumen real del cemento V_{RC}: **129,38 lts**

$$V_{RC} = \frac{M}{\delta_{RC}} \quad (\text{lts})$$

El volumen de agua W: **195,00 lts**

El volumen aparente del ripio V_{AR}: **671,00 lts**

La masa de ripio M: **1057,50 kg**

$$M = V * \delta_{AR} \quad (\text{Kg})$$

El volumen real del ripio V_{RR}: **414,38 lts**

$$V_{RR} = \frac{M}{\delta_{GR}} \quad (\text{lts})$$

El volumen del aire: 1,50% **15,00 lts**

Para calcular el volumen de la arena se procede de la siguiente manera:

Se suma los volúmenes de los ingredientes:

W =	195,00 lts
C =	129,38 lts
R =	414,38 lts
a =	15,00 lts
V _{TI} =	753,76 lts

Entonces, el volumen real de la arena V_{RA}: **246,24 lts**

$$V_{RA} = 1000 - V_{TI} \quad (\text{lts})$$

La masa de la arena M: **641,70 kg**

$$M_{RA} = V * \delta_{GA} \quad (\text{Kg})$$

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

Todos los valores obtenidos se los tabulan y se obtiene una dosificación relativa al peso:

MATERIAL	CANTIDADES		DOSIFICACION AL PESO
	VOLUMEN (lts)	PESO (kg)	
W	195,00	195,00	0,48
C	129,38	406,25	1,00
A	246,24	641,70	1,58
R	414,38	1057,50	2,60
aire	15,00	-----	-----
DENSIDAD DEL HORMIGON		2,30	Kg/m³

CORRECCIONES POR HUMEDAD:

Arena:

C_{AA} (capacidad de absorción de la arena) = 1,36 %

W_A (contenido de humedad de la arena) = 0,75

101,36	—	100,75
641,70	—	637,84

Cantidad de agua en arena: **3,86 lts**

Ripio:

C_{AR} (capacidad de absorción del ripio) = 3,61 %

W_R (contenido de humedad del ripio) = 1,50

103,61	—	101,50
1057,50	—	1035,96

Cantidad de agua en ripio: **21,54 lts**

Agua:

Exceso de cantidad de agua en arena = 3,86 kg

Exceso de cantidad de agua en ripio = 21,54 kg

25,40 kg	AGUA
----------	------

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	1,50%

MATERIAL	CANTIDADES					PESO CORREGIDO (kg)	VOLUMEN CORREGIDO (dm ³)
	δ _A	PESO (kg)	C _{AR}	W _R	AGUA		
W	1,00	195,00	-----	-----	-----	219,29	219,29
C	1,49	406,25	-----	-----	-----	406,25	272,65
A	2,66	641,70	1,36	0,75	3,86	637,84	239,43
R	2,55	1003,21	3,61	1,50	20,43	982,78	385,10
aire	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DOSIFICACION FINAL AL PESO:

C (kg)	A (kg)	R (kg)	W (lts)	Aditivo (lts)
50,00	78,50	120,96	26,99	0,75

DOSIFICACION FINAL AL VOLUMEN:

C (saco)	A	R	W (lts)	Aditivo (lts)
1,00	0,88	1,41	26,99	0,75

La dosificación final es para un saco de cemento.

Los agregados se medirán en cajonetas de 0.30x0.30x0.30 (m).

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDENCIA

Agregado Fino	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA
Agregado Grueso	SIGSIPAMBA - PIFO
Cemento	SEMENTO SELVA ALEGRE - LAFARGE
Agua	POTABLE - EPMAPS

PARAMETROS FISICOS

DATOS DE LABORATORIO:

C	δ_{RC} (densidad real del cemento) =	3,14 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del cemento) =	1,49 Kg/dm ³
A	ϖ_{GA} (peso unitario suelto de la arena) =	1,44 Kg/dm ³
	ϖ_{GA} (peso unitario compactado de la arena) =	1,67 Kg/dm ³
	δ_{GA} (densidad global de la arena) =	2,61 Kg/dm ³
	δ_{AA} (densidad aparente de la arena) =	2,66 Kg/dm ³
	M _{FA} (módulo de finura de la arena) =	2,79
	C _{AA} (capacidad de absorción de la arena) =	1,36 %
	W _A (contenido de humedad de la arena) =	0,75 %
R	ϖ_{GR} (peso unitario suelto del ripio) =	1,40 Kg/dm ³
	ϖ_{GR} (peso unitario compactado del ripio) =	1,58 Kg/dm ³
	δ_{GR} (densidad global del ripio) =	2,42 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del ripio) =	2,55 Kg/dm ³
	C _{AR} (capacidad de absorción del ripio) =	3,61 %
	W _R (contenido de humedad del ripio) =	1,50 %

DATOS INICIALES:

Resistencia	27,45 MPa	280 kg/cm ²
Asentamiento	10 cm	TABLA Nº 1
TMN	25 mm	TABLA Nº 2
W	180 lts/m ³	TABLA Nº 3
w/c _{max}	0,50	TABLA Nº 4
A/C	0,57	TABLA Nº 5
Aire	1,00%	
Volumen Agregado Grueso	0,551	TABLA Nº 6

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

CALCULOS:

La cantidad de cemento C: **315,79 Kg/m³**

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

El volumen real del cemento V_{RC}: **100,57 lts**

$$V_{RC} = \frac{M}{\delta_{RC}} \quad (\text{lts})$$

El volumen de agua W: **180,00 lts**

El volumen aparente del ripio V_{AR}: **551,00 lts**

La masa de ripio M: **868,38 kg**

$$M = V * \delta_{AR} \quad (\text{Kg})$$

El volumen real del ripio V_{RR}: **340,27 lts**

$$V_{RR} = \frac{M}{\delta_{GR}} \quad (\text{lts})$$

El volumen del aire: 1,00% **10,00 lts**

Para calcular el volumen de la arena se procede de la siguiente manera:

Se suma los volúmenes de los ingredientes:

W =	180,00 lts
C =	100,57 lts
R =	340,27 lts
a =	10,00 lts
V _{TI} =	630,84 lts

Entonces, el volumen real de la arena V_{RA}: **369,16 lts**

$$V_{RA} = 1000 - V_{TI} \quad (\text{lts})$$

La masa de la arena M: **962,03 kg**

$$M_{RA} = V * \delta_{GA} \quad (\text{Kg})$$

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

Todos los valores obtenidos se los tabulan y se obtiene una dosificación relativa al peso:

MATERIAL	CANTIDADES		DOSIFICACION AL PESO
	VOLUMEN (lts)	PESO (kg)	
W	180,00	180,00	0,57
C	100,57	315,79	1,00
A	369,16	962,03	3,05
R	340,27	868,38	2,75
aire	10,00	-----	-----
DENSIDAD DEL HORMIGON		2,33	Kg/m³

CORRECCIONES POR HUMEDAD:

Arena:

C_{AA} (capacidad de absorción de la arena) = 1,36 %

W_A (contenido de humedad de la arena) = 0,75

101,36		100,75	
962,03		956,24	

Cantidad de agua en arena: **5,79 lts**

Ripio:

C_{AR} (capacidad de absorción del ripio) = 3,61 %

W_R (contenido de humedad del ripio) = 1,50

103,61		101,50	
868,38		850,70	

Cantidad de agua en ripio: **17,68 lts**

Agua:

Exceso de cantidad de agua en arena = 5,79 kg

Exceso de cantidad de agua en ripio = 17,68 kg

23,47 kg	AGUA
----------	------

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	280 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

MATERIAL	CANTIDADES					PESO CORREGIDO (kg)	VOLUMEN CORREGIDO (dm ³)
	δ _A	PESO (kg)	C _{AR}	W _R	AGUA		
W	1,00	180,00	-----	-----	-----	202,57	202,57
C	1,49	315,79	-----	-----	-----	315,79	211,94
A	2,66	962,03	1,36	0,75	5,79	956,24	358,95
R	2,55	823,79	3,61	1,50	16,78	807,01	316,23
aire	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DOSIFICACION FINAL AL PESO:

C (kg)	A (kg)	R (kg)	W (lts)	Aditivo (lts)
50,00	151,40	127,78	32,07	-----

DOSIFICACION FINAL AL VOLUMEN:

C (saco)	A	R	W (lts)	Aditivo (lts)
1,00	1,69	1,49	32,07	-----

La dosificación final es para un saco de cemento.

Los agregados se medirán en cajonetas de 0.30x0.30x0.30 (m).

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDENCIA

Agregado Fino	TANLAGUA - SAN ANTONIO DE PICHINCHA
Agregado Grueso	SIGSIPAMBA - PIFO
Cemento	SEMENTO SELVA ALEGRE - LAFARGE
Agua	POTABLE - EPMAPS

PARAMETROS FISICOS

DATOS DE LABORATORIO:

C	δ_{RC} (densidad real del cemento) =	3,14 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del cemento) =	1,49 Kg/dm ³
A	ϖ_{GA} (peso unitario suelto de la arena) =	1,44 Kg/dm ³
	ϖ_{GA} (peso unitario compactado de la arena) =	1,67 Kg/dm ³
	δ_{GA} (densidad global de la arena) =	2,61 Kg/dm ³
	δ_{AA} (densidad aparente de la arena) =	2,66 Kg/dm ³
	M _{FA} (módulo de finura de la arena) =	2,79
	C _{AA} (capacidad de absorción de la arena) =	1,36 %
	W _A (contenido de humedad de la arena) =	0,75 %
R	ϖ_{GR} (peso unitario suelto del ripio) =	1,40 Kg/dm ³
	ϖ_{GR} (peso unitario compactado del ripio) =	1,58 Kg/dm ³
	δ_{GR} (densidad global del ripio) =	2,42 Kg/dm ³
	δ_{AR} (densidad aparente del ripio) =	2,55 Kg/dm ³
	C _{AR} (capacidad de absorción del ripio) =	3,61 %
	W _R (contenido de humedad del ripio) =	1,50 %

DATOS INICIALES:

Resistencia	34,31 MPa	350 kg/cm ²
Asentamiento	10 cm	TABLA Nº 1
TMN	25 mm	TABLA Nº 2
W	180 lts/m ³	TABLA Nº 3
w/c _{max}	0,50	TABLA Nº 4
A/C	0,48	TABLA Nº 5
Aire	1,00%	
Volumen Agregado Grueso	0,551	TABLA Nº 6

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

CALCULOS:

La cantidad de cemento C: **375,00 Kg/m³**

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

El volumen real del cemento V_{RC}: **119,43 lts**

$$V_{RC} = \frac{M}{\delta_{RC}} \quad (\text{lts})$$

El volumen de agua W: **180,00 lts**

El volumen aparente del ripio V_{AR}: **551,00 lts**

La masa de ripio M: **868,38 kg**

$$M = V * \delta_{AR} \quad (\text{Kg})$$

El volumen real del ripio V_{RR}: **340,27 lts**

$$V_{RR} = \frac{M}{\delta_{GR}} \quad (\text{lts})$$

El volumen del aire: 1,00% **10,00 lts**

Para calcular el volumen de la arena se procede de la siguiente manera:

Se suma los volúmenes de los ingredientes:

W =	180,00 lts
C =	119,43 lts
R =	340,27 lts
a =	10,00 lts
V _{TI} =	649,70 lts

Entonces, el volumen real de la arena V_{RA}: **350,30 lts**

$$V_{RA} = 1000 - V_{TI} \quad (\text{lts})$$

La masa de la arena M: **912,88 kg**

$$M_{RA} = V * \delta_{GA} \quad (\text{Kg})$$

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

Todos los valores obtenidos se los tabulan y se obtiene una dosificación relativa al peso:

MATERIAL	CANTIDADES		DOSIFICACION AL PESO
	VOLUMEN (lts)	PESO (kg)	
W	180,00	180,00	0,48
C	119,43	375,00	1,00
A	350,30	912,88	2,43
R	340,27	868,38	2,32
aire	10,00	-----	-----
DENSIDAD DEL HORMIGON		2,34	Kg/m³

CORRECCIONES POR HUMEDAD:

Arena:

C_{AA} (capacidad de absorción de la arena) = 1,36 %

W_A (contenido de humedad de la arena) = 0,75

101,36	—	100,75
912,88	—	907,39

Cantidad de agua en arena: **5,49 lts**

Ripio:

C_{AR} (capacidad de absorción del ripio) = 3,61 %

W_R (contenido de humedad del ripio) = 1,50

103,61	—	101,50
868,38	—	850,70

Cantidad de agua en ripio: **17,68 lts**

Agua:

Exceso de cantidad de agua en arena = 5,49 kg

Exceso de cantidad de agua en ripio = 17,68 kg

23,17 kg	AGUA
----------	------

INFORME: DISEÑO DE HORMIGON - METODO ACI

NORMA: ACI-211

Estructura:	TUNEL	Fecha:	<i>Junio - 2015</i>
Ubicación:		f _c :	350 kg/cm²
Solicitante:		Aditivo:	-----

MATERIAL	CANTIDADES					PESO CORREGIDO (kg)	VOLUMEN CORREGIDO (dm ³)
	δ _A	PESO (kg)	C _{AR}	W _R	AGUA		
W	1,00	180,00	-----	-----	-----	202,27	202,27
C	1,49	375,00	-----	-----	-----	375,00	251,68
A	2,66	912,88	1,36	0,75	5,49	907,39	340,61
R	2,55	823,79	3,61	1,50	16,78	807,01	316,23
aire	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DOSIFICACION FINAL AL PESO:

C (kg)	A (kg)	R (kg)	W (lts)	Aditivo (lts)
50,00	120,98	107,60	26,97	-----

DOSIFICACION FINAL AL VOLUMEN:

C (saco)	A	R	W (lts)	Aditivo (lts)
1,00	1,35	1,26	26,97	-----

La dosificación final es para un saco de cemento.

Los agregados se medirán en cajonetas de 0.30x0.30x0.30 (m).

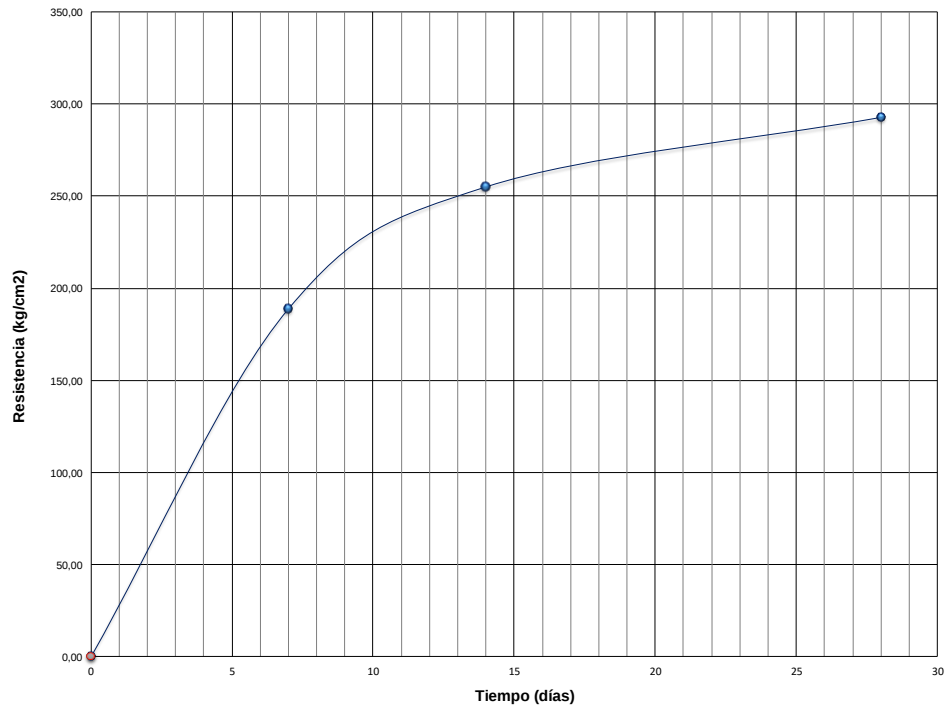
HOJA DE CONTROL DE PRODUCCION DE HORMIGON SIMPLE DE CEMENTO PORTLAND

Proyecto:		Mezcla N°:	1	Diseño:	ACI-211
Estructura:		Aditivo:	HIPERPLASTIFICANTE	Porcentaje:	1,50%

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS

N°	Tipo de Estructura	Diámetro cm	Altura cm	Edad (días)	Área cm ²	Volumen cm ³	Masa gr	Densidad g/cm ³	RESISTENCIA A LA COMPRESION						Observaciones
									Carga lb	Carga kg	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ³	Resistencia Promedio kg/cm ²	Porcentaje	
1	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.378	2,27	74.957	34.071,23	187,27	280	188,77	67%	
2	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.268	2,25	78.651	35.750,34	196,50	280			
3	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.274	2,25	73.063	33.210,41	182,54	280			
4	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.301	2,25	101.192	45.996,16	252,81	280	254,84	91%	
5	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	11.715	2,15	106.179	48.262,96	265,27	280			
6	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	11.686	2,14	98.635	44.834,06	246,43	280			
7	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.011	2,20	117.063	53.210,67	292,47	280	292,53	104%	
8	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.325	2,26	116.888	53.130,78	292,03	280			
9	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.380	2,27	117.308	53.321,69	293,08	280			

GRAFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION - MEZCLA N° 1



OBSERVACIONES:

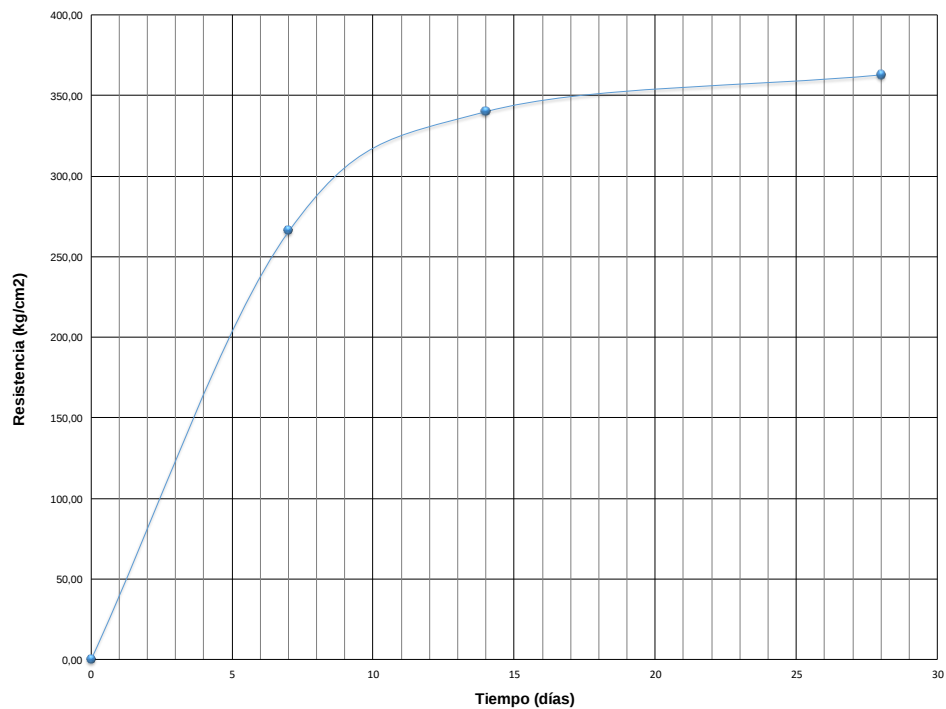
HOJA DE CONTROL DE PRODUCCION DE HORMIGON SIMPLE DE CEMENTO PORTLAND

Proyecto:		Mezcla N°:	2	Diseño:	ACI-211
Estructura:		Aditivo:	HIPERPLASTIFICANTE	Porcentaje:	1,50%

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS

N°	Tipo de Estructura	Diámetro cm	Altura cm	Edad (días)	Área cm ²	Volumen cm ³	Masa gr	Densidad g/cm ³	RESISTENCIA A LA COMPRESION						Observaciones
									Carga lb	Carga kg	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ³	Resistencia Promedio kg/cm ²	Porcentaje	
1	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.351	2,26	106.717	48.507,64	266,62	350	265,82	76%	
2	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.257	2,25	105.974	48.170,06	264,76	350			
3	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.401	2,27	106.501	48.409,65	266,08	350			
4	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.385	2,27	136.598	62.089,78	341,27	350	340,25	97%	
5	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.177	2,23	135.647	61.657,68	338,90	350			
6	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.352	2,26	136.322	61.964,36	340,58	350			
7	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.261	2,25	145.024	65.920,11	362,33	350	363,06	104%	
8	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.268	2,25	143.810	65.368,31	359,29	350			
9	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.361	2,26	147.115	66.870,44	367,55	350			

GRAFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION - MEZCLA N° 2



OBSERVACIONES:

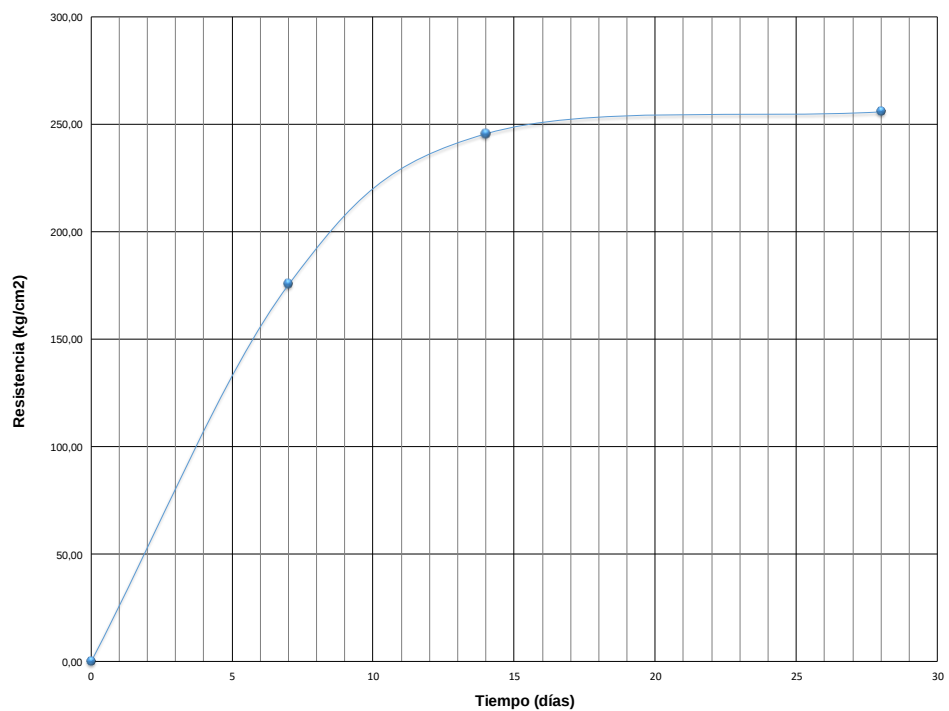
HOJA DE CONTROL DE PRODUCCION DE HORMIGON SIMPLE DE CEMENTO PORTLAND

Proyecto:		Mezcla N°:	3	Diseño:	ACI-211
Estructura:		Aditivo:	HIPERPLASTIFICANTE	Porcentaje:	

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS

N°	Tipo de Estructura	Diámetro cm	Altura cm	Edad (días)	Área cm ²	Volumen cm ³	Masa gr	Densidad g/cm ³	RESISTENCIA A LA COMPRESION						Observaciones
									Carga lb	Carga kg	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ³	Resistencia Promedio kg/cm ²	Porcentaje	
1	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.315	2,26	67.690	30.768,17	169,12	280	175,51	63%	
2	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.278	2,25	72.186	32.811,89	180,35	280			
3	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.154	2,23	70.871	32.214,10	177,06	280			
4	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.378	2,27	94.766	43.075,44	236,76	280	245,71	88%	
5	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.411	2,27	101.061	45.936,64	252,49	280			
6	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.356	2,26	99.219	45.099,74	247,89	280			
7	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.177	2,23	100.152	45.523,81	250,22	280	255,88	91%	
8	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.352	2,26	104.615	47.552,38	261,37	280			
9	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.268	2,25	102.490	46.586,54	256,06	280			

GRAFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION - MEZCLA N° 3



OBSERVACIONES:

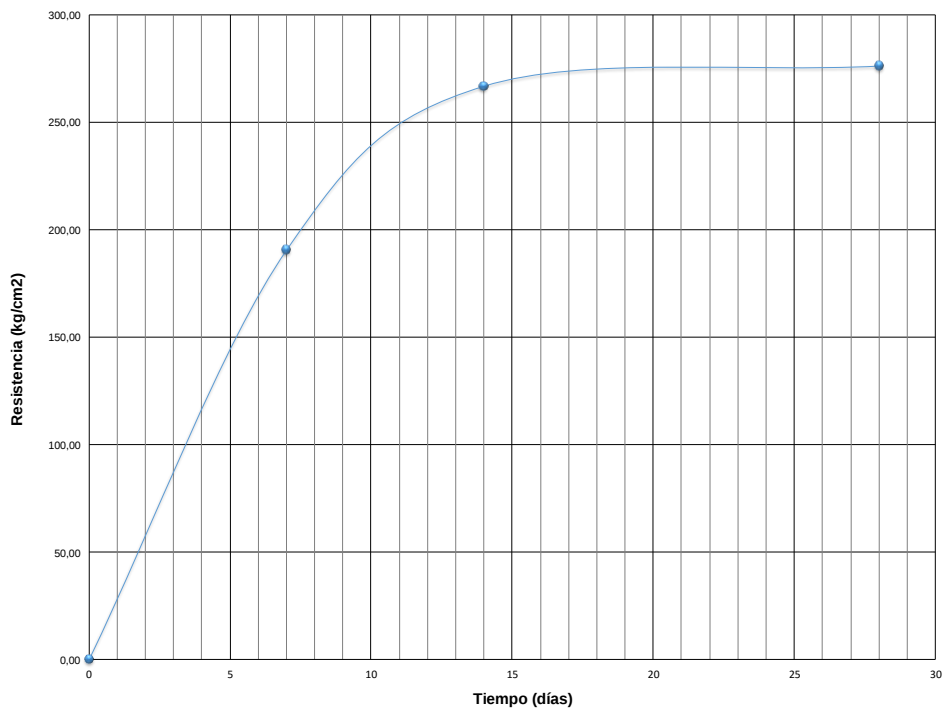
HOJA DE CONTROL DE PRODUCCION DE HORMIGON SIMPLE DE CEMENTO PORTLAND

Proyecto:		Mezcla N°:	4	Diseño:	ACI-211
Estructura:		Aditivo:	HIPERPLASTIFICANTE	Porcentaje:	

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS

N°	Tipo de Estructura	Diámetro cm	Altura cm	Edad (días)	Área cm ²	Volumen cm ³	Masa gr	Densidad g/cm ³	RESISTENCIA A LA COMPRESION						Observaciones
									Carga lb	Carga kg	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ³	Resistencia Promedio kg/cm ²	Porcentaje	
1	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.415	2,27	74.457	33.843,96	186,02	350	190,46	54%	
2	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.521	2,29	87.675	39.852,49	219,05	350			
3	CILINDROS	15,22	30,00	7	181,94	5.458,09	12.485	2,29	66.566	30.257,24	166,31	350			
4	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.462	2,28	104.239	47.381,55	260,43	350	266,64	76%	
5	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.252	2,24	122.746	55.793,49	306,67	350			
6	CILINDROS	15,22	30,00	14	181,94	5.458,09	12.341	2,26	93.192	42.360,14	232,83	350			
7	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.241	2,24	111.393	50.633,11	278,30	350	275,98	79%	
8	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.262	2,25	111.618	50.735,29	278,86	350			
9	CILINDROS	15,22	30,00	28	181,94	5.458,09	12.068	2,21	108.380	49.263,81	270,78	350			

GRAFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION - MEZCLA N° 4



OBSERVACIONES:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CODIGO	
RUBRO	HORMIGON SIMPLE $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
DESCRIPCION	HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE
UNIDAD	m ³

A. - EQUIPO

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/EQUIPO	COSTO
	HERRAMIENTA MANUAL	1,00	0,20	0,667	0,13
	CONCRETERA	1,00	5,00	0,667	3,33
TOTAL A					3,47

B. - MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	SALARIO HORA	RENDIMIENTO H/HOMBRE	COSTO
	PEON - EO E2	6,00	3,26	0,667	13,04
	ALBAÑIL - EO D2	2,00	3,30	0,667	4,40
	MAESTRO DE OBRA - EO C1	1,00	3,66	0,067	0,24
	INSPECTOR DE OBRA - EO B3	1,00	3,66	0,067	0,24
TOTAL B					17,93

C. - MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO
	CEMENTO	kg	342,11	0,16	54,74
	ARENA	m ³	0,26	12,00	3,11
	RIPIO	m ³	0,39	12,00	4,62
	AGUA	m ³	0,22	2,00	0,44
	ADITIVO PLASTIFICANTE PARA HORMIGON	kg	5,13	1,52	7,80
TOTAL C					70,71

COSTO DIRECTO TOTAL (A+B+C)	92,11
COSTOS INDIRECTOS (0%)	
COSTO TOTAL RUBRO (USD)	92,11

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CODIGO	
RUBRO	<i>HORMIGON SIMPLE f_c= 350 kg/cm²</i>
DESCRIPCION	<i>HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE</i>
UNIDAD	<i>m³</i>

A. - EQUIPO

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/EQUIPO	COSTO
	HERRAMIENTA MANUAL	1,00	0,20	0,667	0,13
	CONCRETERA	1,00	5,00	0,667	3,33
TOTAL A					3,47

B. - MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	SALARIO HORA	RENDIMIENTO H/HOMBRE	COSTO
	PEON - EO E2	6,00	3,26	0,667	13,04
	ALBAÑIL - EO D2	2,00	3,30	0,667	4,40
	MAESTRO DE OBRA - EO C1	1,00	3,66	0,067	0,24
	INSPECTOR DE OBRA - EO B3	1,00	3,66	0,067	0,24
TOTAL B					17,93

C. - MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO
	CEMENTO	kg	406,25	0,16	65,00
	ARENA	m ³	0,24	12,00	2,87
	RIPIO	m ³	0,39	12,00	4,62
	AGUA	m ³	0,22	2,00	0,44
	ADITIVO PLASTIFICANTE PARA HORMIGON	kg	6,09	1,52	9,26
TOTAL C					82,20

COSTO DIRECTO TOTAL (A+B+C)	103,59
COSTOS INDIRECTOS (0%)	
COSTO TOTAL RUBRO (USD)	103,59

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CODIGO	
RUBRO	HORMIGON SIMPLE $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
DESCRIPCION	HORMIGON CONVENCIONAL
UNIDAD	m ³

A. - EQUIPO

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/EQUIPO	COSTO
	HERRAMIENTA MANUAL	1,00	0,20	1,000	0,20
	CONCRETERA	1,00	5,00	1,000	5,00
	VIBRADOR	1,00	3,75	1,000	3,75
TOTAL A					8,95

B. - MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	SALARIO HORA	RENDIMIENTO H/HOMBRE	COSTO
	PEON - EO E2	8,00	3,26	1,000	26,08
	ALBAÑIL - EO D2	3,00	3,30	1,000	9,90
	MAESTRO DE OBRA - EO C1	1,00	3,66	0,100	0,37
	INSPECTOR DE OBRA - EO B3	1,00	3,66	0,100	0,37
TOTAL B					36,71

C. - MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO
	CEMENTO	kg	315,79	0,16	50,53
	ARENA	m ³	0,36	12,00	4,31
	RIPIO	m ³	0,32	12,00	3,79
	AGUA	m ³	0,20	2,00	0,41
TOTAL C					59,03

COSTO DIRECTO TOTAL (A+B+C)	104,70
COSTOS INDIRECTOS (0%)	
COSTO TOTAL RUBRO (USD)	104,70

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CODIGO	
RUBRO	HORMIGON SIMPLE $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
DESCRIPCION	HORMIGON CONVENCIONAL
UNIDAD	m ³

A. - EQUIPO

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/EQUIPO	COSTO
	HERRAMIENTA MANUAL	1,00	0,20	1,000	0,20
	CONCRETERA	1,00	5,00	1,000	5,00
	VIBRADOR	1,00	3,75	1,000	3,75
TOTAL A					8,95

B. - MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	SALARIO HORA	RENDIMIENTO H/HOMBRE	COSTO
	PEON - EO E2	8,00	3,26	1,000	26,08
	ALBAÑIL - EO D2	3,00	3,30	1,000	9,90
	MAESTRO DE OBRA - EO C1	1,00	3,66	0,100	0,37
	INSPECTOR DE OBRA - EO B3	1,00	3,66	0,100	0,37
TOTAL B					36,71

C. - MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO
	CEMENTO	kg	375,00	0,16	60,00
	ARENA	m ³	0,34	12,00	4,09
	RIPIO	m ³	0,32	12,00	3,79
	AGUA	m ³	0,20	2,00	0,40
TOTAL C					68,29

COSTO DIRECTO TOTAL (A+B+C)	113,95
COSTOS INDIRECTOS (0%)	
COSTO TOTAL RUBRO (USD)	113,95

ESPECIFICACIONES TECNICAS

01 RUBROS COMUNES

01.011 HORMIGONES

01.011.1.00 DEFINICION. -

Se entiende por hormigón al producto endurecido resultante de la mezcla de: cemento Portland, agua y agregados pétreos (áridos), en proporciones adecuadas; a esta mezcla pueden agregarse aditivos con la finalidad de obtener características especiales determinadas en los diseños o indicadas por la fiscalización.

01.011.2.00 ESPECIFICACIONES. -

GENERALIDADES

Estas especificaciones técnicas, incluyen los materiales, herramientas, equipo, fabricación, transporte, manipulación, vertido, a fin de que los hormigones producidos tengan perfectos acabados, resistencia, y estabilidad requeridos.

CLASES DE HORMIGON

Las clases de hormigón a utilizarse en la obra serán aquellas señaladas en los planos u ordenada por el Fiscalizador, y están relacionadas con la resistencia requerida, el contenido de cemento, el tamaño máximo de agregados gruesos, contenido de aire y las exigencias de la obra para el uso del hormigón.

Se reconocen varias clases de hormigón, que se clasifican según el valor de la resistencia a la compresión a los 28 días, pudiendo ser entre otros:

TIPO DE HORMIGON	f' c (Kg/cm ²)
HS	280
HS	210
HS	180
HS	140
H Ciclópeo	60% HS (f' c=180 K/cm ²) + 40% Piedra

Los hormigones que están destinados al uso en obras expuesta a: la acción del agua, líquidos agresivos, y a severa o moderada acción climática como congelamientos y deshielos alternados, tendrán diseños especiales determinados en los planos, especificaciones y/o más documentos técnicos.

El hormigón que se coloque bajo el agua será de la resistencia especificada con el empleo del tipo de cemento adecuado para fraguado rápido.

El hormigón de 210 kg/cm² está destinado al uso en secciones de estructura o estructuras no sujetas a la acción directa del agua o medios agresivos, secciones masivas ligeramente reforzadas, muros de contención.

El hormigón de 180 kg/cm² se usa generalmente en secciones masivas sin armadura, bloques de anclaje, collarines de contención, replantillos, contrapisos, pavimentos, bordillos, aceras.

El hormigón de 140 kg/cm² se usará para muros, revestimientos u hormigón no estructural.

Todos los hormigones a ser utilizados en la obra deberán ser diseñados en un laboratorio calificado por la Entidad Contratante. El contratista realizará diseños de mezclas, y mezclas de prueba con los materiales a ser empleados que se acopien en la obra, y sobre esta base y de acuerdo a los requerimientos del diseño entregado por el laboratorio, dispondrá la construcción de los hormigones.

Los cambios en la dosificación contarán con la aprobación del Fiscalizador.

NORMAS

Forman parte de estas especificaciones todas las regulaciones establecidas en el Código Ecuatoriano de la Construcción.

MATERIALES

CEMENTO

Todo el cemento será de una calidad tal que cumpla con la norma INEN 152: Cemento Portland, Requisitos, no deberán utilizarse cementos de diferentes marcas en una misma fundición. Los cementos nacionales que cumplen con estas condiciones son los cementos Portland: Rocafuerte, Chimborazo, Guapán y Selva Alegre.

A criterio del fabricante, pueden utilizarse aditivos durante el proceso de fabricación del cemento, siempre que tales materiales, en las cantidades utilizadas, hayan demostrado que cumplen con los requisitos especificados en la norma INEN 1504.

El cemento será almacenado en un lugar perfectamente seco y ventilado, bajo cubierta y sobre tarimas de madera. No es recomendable colocar más de 14 sacos uno sobre otro y tampoco deberán permanecer embodegados por largo tiempo.

El cemento Portland que permanezca almacenado a granel más de 6 meses o almacenado en sacos por más de 3 meses, será nuevamente muestreado y ensayado y deberá cumplir con los requisitos previstos, antes de ser usado.

La comprobación de la calidad del cemento, indicado en el párrafo anterior, se referirá a:

TIPO DE ENSAYO	NORMA INEN
Análisis químico	INEN 152:05
Finura	INEN 196, 197
Tiempo de fraguado	INEN 158, 159
Consistencia normal	INEN 157
Resistencia a la compresión de morteros	INEN 488
Resistencia a la flexión que a la compresión de mortero	INEN 198
Resistencia a la tracción	AASHTO T-132

Si los resultados de las pruebas no satisfacen los requisitos especificados, el cemento será rechazado.

Cuando se disponga de varios tipos de cemento estos deberán almacenarse por separado y se los identificará convenientemente para evitar que sean mezclados.

AGREGADO FINO

Los agregados finos para hormigón de cemento Portland estarán formados por arena natural, arena de trituración (polvo de piedra) o una mezcla de ambas.

La arena deberá ser limpia, sílica (cuarzosa o granítica), de mina o de otro material inerte con características similares. Deberá estar constituida por granos duros, angulosos, ásperos al tacto, fuertes y libres de partículas blandas, materias orgánicas, esquistos o pizarras. Se prohíbe el empleo de arenas arcillosas, suaves o disgregables. Igualmente no se permitirá el uso del agregado fino con contenido de humedad superior al 8 %.

Los requerimientos de granulometría deberá cumplir con la norma INEN 872: Áridos para hormigón. Requisitos. El módulo de finura no será menor que 2.4 ni mayor que 3.1; una vez que se haya establecido una granulometría, el módulo de finura de la arena deberá mantenerse estable, con variaciones máximas de ± 0.2 , en caso contrario el fiscalizador podrá disponer que se realicen otras combinaciones, o en último caso rechazar este material.

Ensayos y tolerancias

Las exigencias de granulometría serán comprobadas por el ensayo granulométrico especificado en la norma INEN 697. Áridos para hormigón.

El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo estipulado en la norma INEN 856. Áridos para hormigón.

El peso unitario del agregado se determinará de acuerdo al método de ensayo estipulado en la norma INEN 858. Áridos para hormigón.

El árido fino debe estar libre de cantidades dañinas e impurezas orgánicas, se aplicará el método de ensayo INEN 855. Se rechazará todo material que produzca un color más oscuro que el patrón.

Un árido fino rechazado en el ensayo de impurezas orgánicas puede ser utilizado, si la decoloración se debe principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas discretas similares. También puede ser aceptado si, al ensayarse para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros, la resistencia relativa calculada a los 7 días, de acuerdo con la norma INEN 866, no sea menor del 95 %.

El árido fino por utilizarse en hormigón que estará en contacto con agua, sometida a una prolongada exposición de la humedad atmosférica o en contacto con la humedad del suelo, no debe contener materiales que reaccionen perjudicialmente con los álcalis del cemento, en una cantidad suficiente para producir una expansión excesiva del mortero o del hormigón. Si tales materiales están presentes en cantidades dañinas, el árido fino puede utilizarse, siempre que se lo haga con un cemento que contenga menos del 0.6 % de álcalis calculados como óxido de sodio.

El árido fino sometido a 5 ciclos de inmersión y secado para el ensayo de resistencia a la disgregación (norma INEN 863), debe presentar una pérdida de masa no mayor del 10 %, si se utiliza sulfato de sodio; o 15 %, si se utiliza sulfato de magnesio. El árido fino que no cumple con estos porcentajes puede aceptarse siempre que el hormigón de propiedades comparables, hecho de árido similar proveniente de la misma fuente, haya mostrado un servicio satisfactorio al estar expuesto a una intemperie similar a la cual va a estar sometido el hormigón por elaborarse con dicho árido.

El árido fino que requerido para ensayos, debe cumplir los requisitos de muestreo establecidos en la norma INEN 695.

La cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se especifican en la norma INEN 872

Porcentajes máximos de sustancias extrañas en los agregados.-

Los siguientes son los porcentajes máximos permisibles (en peso de la muestra) de sustancias indeseables y condicionantes de los agregados.

Agregado Fino	% DEL PESO
Material que pasa el tamiz No. 200	3.00
Arcillas y partículas desmenuzables	0.50
Hulla y lignito	0.25
Otras sustancias dañinas	2.00
Total máximo permisible	4.00

En todo caso la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se estipula en la norma INEN 872. Áridos para hormigón requeridos.

AGREGADO GRUESO

Los agregados gruesos para el hormigón de cemento Portland estarán formados por grava, roca triturada o una mezcla de estas que cumplan con los requisitos de la norma INEN 872. Áridos para hormigón requeridos.

Para los trabajos de hormigón, la roca triturada mecánicamente, será de origen andesítico, preferentemente de piedra azul.

Se empleará ripio limpio de impurezas, materias orgánicas, y otras sustancias perjudiciales, para este efecto se lavará perfectamente. Se recomienda no usar el ripio que tenga formas alargadas o de plaquetas.

También podrá usarse canto rodado triturado a mano o ripio proveniente de cantera natural siempre que tenga forma cúbica o piramidal, debiendo ser rechazado el ripio que contenga más del 15 % de formas planas o alargadas.

La producción y almacenamiento del ripio, se efectuará dentro de tres grupos granulométricos separados, designados de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado y según los siguientes requisitos:

TAMIZ INEN	PORCENTAJE EN MASA QUE DEBEN PASAR POR LOS TAMICES		
(aberturas cuadradas)	No.4 a 3/4"(19 mm)	3/4" a 1 1/2"(38mm)	1 1/2 a 2" (76mm)
3" (76 mm)			90-100
2" (50 mm)		100	20-55
1 1/2" (38 mm)		90-100	0-10
1" (25 mm)	100	20-45	0-5
3/4"(19mm)	90-100	0-10	
3/8(10mm)	30-55	0-5	
No. 4(4.8mm)	0-6		

En todo caso los agregados para el hormigón de cemento Portland cumplirán las exigencias granulométricas que se indican en la tabla 3 de la norma INEN 872.

Ensayos y tolerancias

Las exigencias de granulometrías serán comprobadas mediante el ensayo granulométrico según la Norma INEN 696.

El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo INEN 857.

Porcentajes máximos de sustancias extrañas en los agregados.-

Los siguientes son los porcentajes máximos permisibles (en peso de la muestra) de sustancias indeseables y condicionantes de los agregados.

Agregado Grueso	% DEL PESO
Solidez, sulfato de sodio, pérdidas en cinco ciclos:	12.00
Abrasión - Los Ángeles (pérdida):	35.00
Material que pasa tamiz No. 200:	0.50
Arcilla:	0.25
Hulla y lignito:	0.25
Partículas blandas o livianas:	2.00
Otros:	1.00

En todo caso la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido grueso no debe exceder los límites que se estipula en la norma INEN 872.

PIEDRA

La piedra para hormigón ciclópeo deberá provenir de depósitos naturales o de canteras; será de calidad aprobada, sólida resistente y durable, exenta de defectos que afecten a su resistencia y estará libre de material vegetal tierra u otro material objetables. Toda la piedra alterada por la acción de la intemperie o que se encuentre meteorizada, será rechazada.

Las piedras a emplearse para cimientos o cualquier obra de albañilería serán limpias, graníticas, andesíticas o similares, de resistencia y tamaño adecuado para el uso que se les va a dar, inalterables bajo la acción de los agentes atmosféricos.

Ensayos y tolerancias:

La piedra para hormigón ciclópeo tendrá una densidad mínima de 2.3 gr/cm³, y no presentará un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión realizado según norma INEN 861 luego de 500 vueltas de la máquina de los Ángeles.

La piedra para hormigón ciclópeo no arrojará una pérdida de peso mayor al 12 %, determinada en el ensayo de durabilidad, norma INEN 863, Luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio.

El tamaño de las piedras deberá ser tal que en ningún caso supere el 25 % de la menor dimensión de la estructura a construirse. El volumen de piedras incorporadas no excederá del 50 % del volumen de la obra o elemento que se esta construyendo con ese material.

AGUA

El agua para la fabricación del hormigón será potable, libre de materias orgánicas, deletéreos y aceites, tampoco deberá contener sustancias dañinas como ácidos y sales, deberá cumplir con la norma INEN 1108 Agua Potable: Requisitos. El agua que se emplee para el curado del hormigón, cumplirá también los mismos requisitos que el agua de amasado.

ADITIVOS

Esta especificación tiene por objeto establecer los requisitos que deben de cumplir los aditivos químicos que pueden agregarse al hormigón para que éste desarrolle ciertas características especiales requeridas en obra.

En caso de usar aditivos, estos estarán sujetos a aprobación previa de fiscalización. Se demostrará que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y rendimiento del hormigón en todos los elementos donde se emplee aditivos.

Se respetarán las proporciones y dosificaciones establecidas por el productor.

Los aditivos que se empleen en hormigones cumplirán las siguientes normas:

Aditivos para hormigones. Aditivos químicos. Requisitos. Norma INEN PRO 1969.

Aditivos para hormigones. Definiciones. Norma INEN PRO 1844

Aditivos reductores de aire. Norma NTE INEN 0152:05

Los aditivos reductores de agua, retardadores y acelerantes deberán cumplir la "Especificación para aditivos químicos para concreto" (ASTM - C - 490) y todos los demás requisitos que esta exige exceptuando el análisis infrarrojo.

AMASADO DEL HORMIGON

Se recomienda realizar el amasado a máquina, en lo posible una que posea una válvula automática para la dosificación del agua.

La dosificación se la hará al peso. El control de balanzas, calidades de los agregados y humedad de los mismos deberá hacerse por lo menos a la iniciación de cada jornada de fundición.

El hormigón se mezclará mecánicamente hasta conseguir una distribución uniforme de los materiales. No se sobrecargará la capacidad de las hormigoneras utilizadas; el tiempo mínimo de mezclado será de 1.5 minutos, con una velocidad de por lo menos 14 r.p.m.

El agua será dosificada por medio de cualquier sistema de medida controlado, corrigiéndose la cantidad que se coloca en la hormigonera de acuerdo a la humedad

que contengan los agregados. Pueden utilizarse las pruebas de consistencia para regular estas correcciones.

Hormigón mezclado en camión

La norma que regirá al hormigón premezclado será la NTE INEN 1855-1:0.

Las mezcladoras sobre camión serán del tipo de tambor giratorio, impermeables y de construcción tal que el hormigón mezclado forme una masa completamente homogénea.

Los agregados y el cemento serán medidos con precisión en la planta central, luego de lo cuál se cargará el tambor que transportará la mezcla. La mezcladora del camión estará equipada con un tanque para medición de agua; solamente se llenará el tanque con la cantidad de agua establecida, a menos que se tenga un dispositivo que permita comprobar la cantidad de agua añadida. La cantidad de agua para cada carga podrá añadirse directamente, en cuyo caso no se requiere tanque en el camión.

La capacidad de las mezcladoras sobre camión será la fijada por su fabricante, y el volumen máximo que se transportará en cada carga será el 60 % de la capacidad nominal para mezclado, o el 80 % del mismo para la agitación en transporte.

El mezclado en tambores giratorios sobre camiones deberá producir hormigón de una consistencia adecuada y uniforme, la que será comprobada por el Fiscalizador cuando él lo estime conveniente. El mezclado se empezará hasta dentro de 30 minutos luego de que se ha añadido el cemento al tambor y se encuentre éste con el agua y los agregados. Si la temperatura del tambor está sobre los 32 grados centígrados y el cemento que se utiliza es de fraguado rápido, el límite de tiempo antedicho se reducirá a 15 minutos.

La duración del mezclado se establecerá en función del número de revoluciones a la velocidad de rotación señalada por el fabricante. El mezclado que se realice en un tambor giratorio no será inferior a 70 ni mayor que 100 revoluciones por minuto. Para verificar la duración del mezclado, se instalará un contador adecuado que indique las revoluciones del tambor; el contador se accionará una vez que todos los ingredientes del hormigón se encuentren dentro del tambor y se comience el mezclado a la velocidad especificada.

Transporte de la mezcla.- La entrega del hormigón para estructuras se hará dentro de un período máximo de 1.5 horas, contadas a partir del ingreso del agua al tambor de la mezcladora; en el transcurso de este tiempo la mezcla se mantendrá en continua agitación. En condiciones favorables para un fraguado más rápido, como tiempo caluroso, el Fiscalizador podrá exigir la entrega del hormigón en un tiempo menor al señalado anteriormente.

El vaciado del hormigón se lo hará en forma continua, de manera que no se produzca, en el intervalo de 2 entregas, un fraguado parcial del hormigón ya colocado; en ningún caso este intervalo será más de 30 minutos.

En el transporte, la velocidad de agitación del tambor giratorio no será inferior a 4 RPM ni mayor a 6 RPM. Los métodos de transporte y manejo del hormigón serán tales que faciliten su colocación con la mínima intervención manual y sin causar daños a la estructura o al hormigón mismo.

MANIPULACION Y VACIADO DEL HORMIGON

MANIPULACION

La manipulación del hormigón en ningún caso deberá tomar un tiempo mayor a 30 minutos.

Previo al vaciado, el constructor deberá proveer de canalones, elevadores, artesas y plataformas adecuadas a fin de transportar el hormigón en forma correcta hacia los diferentes niveles de consumo. En todo caso no se permitirá que se deposite el hormigón desde una altura tal que se produzca la separación de los agregados.

El equipo necesario tanto para la manipulación como para el vaciado, deberá estar en perfecto estado, limpio y libre de materiales usados y extraños.

VACIADO

Para la ejecución y control de los trabajos, se podrá utilizar las recomendaciones del ACI 614 - 59 o las del ASTM. El constructor deberá notificar al fiscalizador el momento en que se realizará el vaciado del hormigón fresco, de acuerdo con el cronograma, planes y equipos ya aprobados. Todo proceso de vaciado, a menos que se justifique en algún caso específico, se realizará bajo la presencia del fiscalizador.

El hormigón debe ser colocado en obra dentro de los 30 minutos después de amasado, debiendo para el efecto, estar los encofrados listos y limpios, asimismo deberán estar colocados, verificados y comprobados todas las armaduras y chicotes, en estas condiciones, cada capa de hormigón deberá ser vibrada a fin de desalojar las burbujas de aire y oquedades contenidas en la masa, los vibradores podrán ser de tipo eléctrico o neumático, electromagnético o mecánico, de inmersión o de superficie, etc.

De ser posible, se colocará en obra todo el hormigón de forma continua. Cuando sea necesario interrumpir la colocación del hormigón, se procurará que esta se produzca fuera de las zonas críticas de la estructura, o en su defecto se procederá a la formación inmediata de una junta de construcción técnicamente diseñada según los requerimientos del caso y aprobados por la fiscalización.

Para colocar el hormigón en vigas o elementos horizontales, deberán estar fundidos previamente los elementos verticales.

Las jornadas de trabajo, si no se estipula lo contrario, deberán ser tan largas, como sea posible, a fin de obtener una estructura completamente monolítica, o en su defecto establecer las juntas de construcción ya indicadas.

El vaciado de hormigón para condiciones especiales debe sujetarse a lo siguiente:

a) Vaciado del hormigón bajo agua:

Se permitirá colocar el hormigón bajo agua tranquila, siempre y cuando sea autorizado por el Ingeniero fiscalizador y que el hormigón haya sido preparado con el cemento determinado para este fin y con la dosificación especificada. No se pagará compensación adicional por ese concepto extra. No se permitirá vaciar hormigón bajo agua que tenga una temperatura inferior a 5°C.

b) Vaciado del hormigón en tiempo frío:

Cuando la temperatura media esté por debajo de 5°C se procederá de la siguiente manera:

- Añadir un aditivo acelerante de reconocida calidad y aprobado por la Supervisión.
- La temperatura del hormigón fresco mientras es mezclado no será menor de 15°C.
- La temperatura del hormigón colocado será mantenida a un mínimo de 10°C durante las primeras 72(setenta y dos) horas después de vaciado durante los siguientes 4(cuatro) días la temperatura de hormigón no deberá ser menor de 5°C.

El Constructor será enteramente responsable por la protección del hormigón colocado en tiempo frío y cualquier hormigón dañado debido al tiempo frío será retirado y reemplazado por cuenta del Constructor.

c) Vaciado del hormigón en tiempo cálido:

La temperatura de los agregados agua y cemento será mantenido al más bajo nivel práctico. La temperatura del cemento en la hormigonera no excederá de 50°C y se debe tener cuidado para evitar la formación de bolas de cemento.

La subrasante y los encofrados serán totalmente humedecidos antes de colocar el hormigón.

La temperatura del hormigón no deberá bajo ninguna circunstancia exceder de 32°C y a menos que sea aprobado específicamente por la Supervisión, debido a condiciones excepcionales, la temperatura será mantenida a un máximo de 27°C.

Un aditivo retardante reductor de agua que sea aprobado será añadido a la mezcla del hormigón de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. No se deberá exceder el asentamiento de cono especificado.

CONSOLIDACIÓN

El hormigón armado o simple será consolidado por vibración y otros métodos adecuados aprobados por el fiscalizador. Se utilizarán vibradores internos para consolidar hormigón en todas las estructuras. Deberá existir suficiente equipo vibrador de reserva en la obra, en caso de falla de las unidades que estén operando.

El vibrador será aplicado a intervalos horizontales que no excedan de 75 cm, y por períodos cortos de 5 a 15 segundos, inmediatamente después de que ha sido colocado. El apisonado, varillado o paleteado será ejecutado a lo largo de todas las caras para mantener el agregado grueso alejado del encofrado y obtener superficies lisas.

PRUEBAS DE CONSISTENCIA Y RESISTENCIA

Se controlará periódicamente la resistencia requerida del hormigón, se ensayarán en muestras cilíndricas de 15 cm (6") de diámetro por 30 cm (12") de altura, de acuerdo con las recomendaciones y requisitos de las especificaciones ASTM: C 172, C 192, C 31 y C 39.

La cantidad de ensayos a realizarse, será de por lo menos uno por cada 6 m³ de Hormigón, o por cada camión de transporte de mezcla de concreto. (2 cilindros por ensayo, 1 probado a los 7 días y el otro a los 28 días).

La prueba de asentamiento que permita ejercer el control de calidad de la mezcla de concreto, deberá ser efectuada por el fiscalizador, inmediatamente antes o durante la descarga de las mezcladoras. El manipuleo y transporte de los cilindros para los ensayos se lo hará de manera adecuada.

El Fiscalizador tomará las muestras para las pruebas de consistencia y resistencia, junto al sitio de la fundición.

La uniformidad de las mezclas, será controlada según la especificación ASTM - C39. Su consistencia será definida por el fiscalizador y será controlada en el campo, ya sea por el método del factor de compactación del ACI, o por los ensayos de asentamiento, según ASTM - C143. En todo caso la consistencia del hormigón será tal que no se produzca la disgregación de sus elementos cuando se coloque en obra.

Siempre que las inspecciones y las pruebas indiquen que se ha producido la segregación de una amplitud que vaya en detrimento de la calidad y resistencia del hormigón, se revisará el diseño, disminuyendo la dosificación de agua o incrementando la dosis de cemento, o ambos. Dependiendo de esto, el asentamiento variará de 7 - 10 cm.

CURADO DEL HORMIGÓN

El constructor, deberá contar con los medios necesarios para efectuar el control de la humedad, temperatura y curado del hormigón, especialmente durante los primeros días después de vaciado, a fin de garantizar un normal desarrollo del proceso de hidratación del cemento y de la resistencia del hormigón.

El curado del hormigón podrá ser efectuado siguiendo las recomendaciones del Comité 612 del ACI.

De manera general, se podrá utilizar los siguientes métodos: esparcir agua sobre la superficie del hormigón ya suficientemente endurecida; utilizar mantas impermeables de papel, compuestos químicos líquidos que formen una membrana sobre la superficie del hormigón y que satisfaga las especificaciones ASTM - C309, también podrá utilizarse arena o aserrín en capas y con la suficiente humedad.

El curado con agua, deberá realizárselo durante un tiempo mínimo de 14 días. El curado comenzará tan pronto como el hormigón haya endurecido.

Además de los métodos antes descritos, podrá curarse al hormigón con cualquier material saturado de agua, o por un sistema de tubos perforados, rociadores mecánicos, mangueras porosas o cualquier otro método que mantenga las superficies continuamente, no periódicamente, húmedas. Los encofrados que estuvieren en contacto con el hormigón fresco también deberán ser mantenidos húmedos, a fin de que la superficie del hormigón fresco, permanezca tan fría como sea posible.

El agua que se utilice en el curado, deberá satisfacer los requerimientos de las especificaciones para el agua utilizada en las mezclas de hormigón.

El curado de membrana, podrá ser realizado mediante la aplicación de algún dispositivo o compuesto sellante que forme una membrana impermeable que retenga el agua en la superficie del hormigón. El compuesto sellante será pigmentado en blanco y cumplirá los requisitos de la especificación ASTM C309, su consistencia y calidad serán uniformes para todo el volumen a utilizarse.

El constructor, presentará los certificados de calidad del compuesto propuesto y no podrá utilizarlo si los resultados de los ensayos de laboratorio no son los deseados.

REPARACIONES

Cualquier trabajo de hormigón que no se halle bien conformado, sea que muestre superficies defectuosas, aristas faltantes, etc., al desencofrar, serán reformados en el lapso de 24 horas después de quitados los encofrados.

Las imperfecciones serán reparadas por mano de obra experimentada bajo la aprobación y presencia del fiscalizador, y serán realizadas de tal manera que produzcan la misma uniformidad, textura y coloración del resto de la superficie, para estar de acuerdo con las especificaciones referentes a acabados.

Las áreas defectuosas deberán picarse, formando bordes perpendiculares y con una profundidad no menor a 2.5 cm. El área a repararse deberá ser la suficiente y por lo menos 15 cm.

Según el caso para las reparaciones se podrá utilizar pasta de cemento, morteros, hormigones, incluyendo aditivos, tales como ligantes, acelerantes, expansores, colorantes, cemento blanco, etc. Todas las reparaciones se deberán conservar húmedas por un lapso de 5 días.

Cuando la calidad del hormigón fuere defectuosa, todo el volumen comprometido deberá reemplazarse a satisfacción del fiscalizador.

JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción deberán ser colocadas de acuerdo a los planos o lo que indique la fiscalización.

Donde se vaya a realizar una junta, la superficie de hormigón fundido debe dejarse dentada o áspera y será limpiada completamente mediante soplete de arena mojada, chorros de aire y agua a presión u otro método aprobado. Las superficies de juntas encofradas serán cubiertas por una capa de un cm de pasta de cemento puro, inmediatamente antes de colocar el hormigón nuevo.

Dicha parte será bien pulida con escobas en toda la superficie de la junta, en los rincones y huecos y entre las varillas de refuerzo saliente.

TOLERANCIAS

El constructor deberá tener mucho cuidado en la correcta realización de las estructuras de hormigón, de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción y de acuerdo a los requerimientos de planos estructurales, deberá garantizar su estabilidad y comportamiento.

El fiscalizador podrá aprobar o rechazar e inclusive ordenar rehacer una estructura cuando se hayan excedido los límites tolerables que se detallan a continuación:

Tolerancia para estructuras de hormigón armado

a) Desviación de la vertical (plomada)

En las líneas y superficies de paredes y en aristas:

En 3 m	6.0 mm
--------	--------

En un entrepiso:

Máximo en 6 m	10.0 mm
---------------	---------

En 12 m o más	19.0 mm
---------------	---------

b) Variaciones en las dimensiones de las secciones transversales en los espesores de losas y paredes:

En menos 6 mm

En más 12.0 mm

c) Zapatas o cimentaciones

1. Variación de dimensiones en planta:

En menos 12.0 mm

En más 50.0 mm

2. Desplazamientos por localización o excentricidad: 2% del ancho de zapata en la dirección del desplazamiento pero no más de 50.0 mm.

3. Reducción en espesores:

Menos del 5% de los espesores especificados

Tolerancias para estructuras masivas:

a) Toda clase de estructuras:

En 6 m 12.0 mm

1. Variaciones de las dimensiones construidas de las establecidas en los planos:

En 12 m 19.0 mm

En 24 m o más 32.0 mm

2. Variaciones de las dimensiones con relación a elementos estructurales individuales, de posición definitiva: En construcciones enterradas dos veces las tolerancias anotadas antes.

b) Desviaciones de la vertical de los taludes especificados o de las superficies curvas de todas las estructuras incluyendo las líneas y superficies de columnas, paredes, estribos, secciones de arcos, medias cañas para juntas verticales y aristas visibles:

En 3 m 12.0 mm

En 6 m 19.0 mm

En 12 ó más 30.0 mm

En construcciones enterradas: dos veces las tolerancias anotadas antes

Tolerancias para colocación del acero de refuerzo:

a) Variación del recubrimiento de protección:

Con 50 mm de recubrimiento: 6.0 mm

Con 76 mm de recubrimiento: 12.0 mm

b) Variación en el espaciamiento indicado: 10.0 mm

DOSIFICACIÓN

Los hormigones deberán ser diseñados de acuerdo a las características de los agregados, y los requerimientos técnicos necesarios en las obras.

C = Cemento

A = Arena

R = Ripio o grava

Ag. = Agua

Los agregados deben ser de buena calidad, libre de impurezas, materia orgánica, y tener adecuada granulometría.

Agua será libre de aceites, sales, ácidos y otras impurezas.

01.011.3.00 FORMA DE PAGO.-

El hormigón será medido en metros cúbicos con 2 decimales de aproximación, determinándose directamente en la obra las cantidades correspondientes.

El hormigón simple de bordillos dimensionados se medirá en metros lineales con 2 decimales de aproximación.

Las losetas de hormigón prefabricado de conformidad con las medidas fijadas, se medirán en unidades.

Los parantes de hormigón armado, contruidos de acuerdo a las medidas señaladas, se mediran en metros.

01.011.4.00 CONCEPTOS DE TRABAJO.-		
01.011 .4.03	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2	m3
01.011 .4.04	HORMIGON SIMPLE f'c=210kg/cm2	m3
01.011 .4.35	HORMIGON LANZADO f'c=300 KG/CM2 (Gunitado, fibra 40 kg/m3)	m3
01.011 .4.37	HORMIGON SIMPLE REPLANTILLO f'c=140KG/CM2	m3
01.011 .4.38	BOLSACRETO	m3
01.011 .4.39	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2	m3
01.011 .4.40	HORMIGON SIMPLE HASTIALES, CUPULAS (TUNEL) f'c=250 kg/cm2	m3
01.011 .4.41	HORMIGON SIMPLE SOLERA (TUNEL) f'c=380kg/cm2	m3
01.011 .4.42	HORMIGON RESISTENTE A LA ABRASION	m3



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

SikaPlast® 1010

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA, RETARDANTE DE MEDIO RANGO - TECNOLOGÍA SIKa VISCOCRETE

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaPlast 1010 es un reductor de agua de alto rango y superplastificante utilizando la tecnología Sika Viscocrete en base a policarboxilatos. SikaPlast 1010 está diseñado para cumplir con la norma ASTM C-494 Tipos G

USOS

SikaPlast 1010 puede ser usado, tanto en concreto premezclado así como en plantas de prefabricados.

- **Como reductor de agua de alto rango:** Levemente retardado proporciona excelente plasticidad, manteniendo la trabajabilidad por mayor tiempo lo que facilita la transportación y vaciado. Por su control sobre los tiempos de fraguado, el SikaPlast 1010 es ideal para concretos de vaciado directo tanto en horizontal como en vertical.

- **Como reductor de agua de rango alto:** Levemente retardado se usa para concretos bombeados y aplicaciones donde se requieran acabados de mejor calidad.

SikaPlast 1010 es ideal para trabajar con mezclas de concreto pobres, ásperas y concretos que contengan cenizas volantes o microsilica.

VENTAJAS

Reductor de agua: SikaPlast 1010 puede ser dosificado en pequeñas cantidades, para obtener reducciones de agua entre un 5 y 10% , en altas dosificaciones se pueden obtener reducciones mayores al 25%.

SikaPlast 1010 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua.

Alta Plasticidad: La acción superplastificante del SikaPlast 1010 proporciona concretos altamente fluidos y de muy buena trabajabilidad que se colocan con una mínima vibración.

Concretos plastificados con SikaPlast 1010 son altamente fluidos, manteniendo por largos periodos de tiempo la cohesión, evitando que se produzca segregación.

Trabajabilidad extendida y control del fraguado: SikaPlast 1010 está formulado para proporcionar trabajabilidad por encima de los 60 minutos con tiempos de fraguado normales.

La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del SikaPlast 1010 proporciona los siguientes beneficios al concreto endurecido.

- Altas resistencias tempranas para un desmoldado rápido en concretos estructurales
- Altas resistencias finales, permitiendo flexibilidad en el plan mayor de ingeniería.
- Reducciones de la relación agua cemento producen concretos más durables, más densos y menos permeables.
- La alta efectividad plastificante, hace que reduzca los defectos de la superficie en elementos de concreto y mejore la apariencia estética.
- SikaPlast 1010 no contiene cloruros ni ningún otro compuesto que produzca la corrosión del acero de refuerzo.

Está formulado para proporcionar la máxima reducción de agua y trabajabilidad extendida a lo largo de todo el rango de dosificación.

DATOS TÉCNICOS

BASES	Agente dispersante de alto rendimiento en base a policarboxilatos.
ASPECTO	Líquido café claro.
DENSIDAD	1.16 kg/l aprox.
ALMACENAMIENTO	12 meses en su envase original bien sellado, bajo techo.
PRESENTACIÓN	Tambores de 200 kg y al granel.

PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN

DOSIS

Las ambientales y requerimientos específicos del proyecto.

Sika recomienda dosis entre 0.5% y el 1.5% del peso del cemento.

SikaPlast 1010 puede causar retardos del fraguado del concreto si es usado en dosificaciones superiores a las recomendadas.

Dosis fuera del rango recomendado, pueden ser utilizadas cuando estén especificados materiales especiales tales como, microsilica o cenizas volantes, condiciones ambientales extremas o cuando condiciones usuales del proyecto requieran consideraciones especiales. Para mayor información, favor contactarse con el Departamento Técnico de la empresa.

MEZCLADO

Para mejores resultados de superplastificante, adicionar el SikaPlast 1010 al final de la mezcla y dejar por lo menos 3 minutos mezclarse a máxima velocidad.

COMBINACIONES CON OTROS ADITIVOS.

El SikaPlast 1010 es altamente efectivo, sólo o en combinación con otros aditivos Sika, con aditivos base naftalenos no es recomendable. Evaluaciones de campo con materiales locales, permitirán determinar la dosis de agentes incorporados de aire que necesiten ser usados.

Combinación con microsilica.

SikaPlast 1010 es particularmente efectivo para usar con microsilica o cenizas volantes por su capacidad de reducción de agua y superior control de la fluidez.

SEGURIDAD

Primeros auxilios

En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua y jabón

En caso de contacto con los ojos o mucosas, lavar con abundante agua y acudir inmediatamente donde un especialista.

Ecología

No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.

Toxicidad

No tóxico

Transporte

No peligroso

NOTA LEGAL

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se debe respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



SIKA ECUATORIANA S.A. www.sika.com.ec

Guayaquil - Km. 3,5 vía Durán Tambo / Casilla 10093 / PBX (593-4) 2812700 - Fax (593-4) 2801229
Quito - Tomás Chariave N49-104 y Manuel Valdiviezo / Telfs. (593-2) 2441929 - 2439504 - 2437224 - 2433554
Cuenca - Av. de las Américas entre 1° de Mayo y Luis Moscoso / Telefax 2856754 - 2856517

Hoja técnica de producto
SikaPlast 1010
Edición N°1 04-2014
Documento N° 402013

