

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“Control en Agregados y Hormigón Fresco para Diseño de
Hormigón Masivo, Experiencia en Obra con Varias
Consistencias y Resistencias”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por

ALEXANDER GERMÁN ACEBO MORÁN

SERGIO LUIS CORREA ASANZA

Guayaquil- Ecuador

2009

DEDICATORIA

A todas las personas que con amor y
paciencia ayudaron, esperaron, empujaron
y alcanzaron con nosotros este logro, por
que se consigue no solo cuando se quiere,
sino también cuando se debe.

A la memoria del profesor y amigo Julio
Rodríguez Ríos, suyo también es este logro.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por brindar la compañía,
sabiduría, fuerza y apoyo de nuestros
padres, hermanos, toda nuestra familia; a
Daniel, Víctor, Perla, Reynaldo, Raúl, José,
Manuel, Otton, Jaime, Alfredo, Alberto,
Gastón, Carmen, Carlos, Kenny, Ricardo,
Vicky, Cecilia, Alfonso, Julio, Luis, Elena,
Guillermo, al resto de amigos disculpen no
encontrar su nombre en el listado a todos
ustedes nuestra gratitud eterna, su ayuda y
recuerdo es invaluable e imborrable.

A todo el staff de Sísmica Ingenieros
Consultores (Consulsismica).

Gracias a la ESPOL sus autoridades,
profesores y trabajadores.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



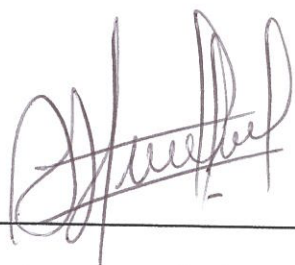
Msc. Nicolas Gaston Proaño

Director de Tesis



Ing. Carmen Terreros de Varela

Vocal



Ing. Juan Carlos Pindo

Vocal

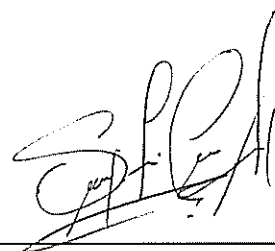
DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”



Alexander Germán Acebo Morán

Autor



Sergio Luis Correa Asanza

Autor

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Tribunal de Graduación.....	IV
Declaración Expresa.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Anexos.....	IX
Índice de Gráficos.....	X
Índice de Tablas.....	XI
Índice de Fotografías.....	XIV

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Aplicación Teórica – Práctica.....	2

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón Masivo.....	3
2.2 Consideraciones Hormigón Masivo.....	4
2.3 Características Generales.....	5
2.4 Tipos de Estructuras.....	6

CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DOSIFICACIÓN

3.1 Condiciones generales para dosificación.....	7
--	---

3.2	Cemento.....	10
3.3	Adiciones.....	14
3.3.1	Puzolana	14
3.4	Aditivos.....	15
3.5	Agregados.....	16
3.5.1	Agregado Fino.....	17
3.5.2	Agregado Grueso.....	19
3.6	Agua.....	22
3.7	Selección de proporciones.....	23
3.8	Control de temperatura.....	24
3.8.1	Practicas comunes en obra.....	27
3.8.2	Instrumentación.....	28
 CAPÍTULO 4: CONTROL EN AGREGADOS Y HORMIGÓN FRESCO		
4.1	Pruebas en Agregados.....	31
4.1.1	Agregado Fino.....	33
4.1.2	Agregado Grueso.....	34
4.2	Pruebas con Cemento.....	35
4.2.1	Pruebas de Caracterización.....	35
4.2.2	Granulometría.....	37
4.3	Control de Calidad del Hormigón en estado Fresco.....	37
4.3.1	Ensayos de control.....	38

4.3.2 Descripción de ensayos.....	39
CAPÍTULO 5: EXPERIENCIAS EN OBRA	
5.1 Pasos para dosificación.....	46
5.2 Características de materia prima.....	58
5.2.1 Caracterización Geológica.....	58
5.2.2 Parámetros de ayuda.....	59
5.3 Casos Prácticos.....	60
Conclusiones y Recomendaciones	67
Bibliografía	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Propiedades del agregado que influyen en el hormigón.....	73
Anexo 2: Granulometría de agregados gruesos.....	77
Anexo 3: Límite de sustancias dañinas que afectan al hormigón.....	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DOSIFICACIÓN

Figura 3.1, Diagrama de dosificación.....	9
Figura 3.2, Evolución de la temperatura en elementos de hormigón.	11
Figura 3.3 Razón de generación de calor afectada por la finura del cemento (ASTM C115).....	12
Figura 3.4 Efecto de la temperatura de colocación o fundición.....	12
Figura 3.5, Evolución de temperatura en elementos de hormigón que contienen 376 lb/yd ³ de cemento colocados a diferentes temperaturas ambientales.....	13

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DOSIFICACIÓN	pag
Tabla 3.1 Condiciones generales para una dosificación.....	8
Tabla 3.2, Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en agregado fino (por peso).....	18
Tabla 3.3, Agregado fino para hormigón masivo.....	19
Tabla 3.4, Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en agregado grueso.....	20
Tabla 3.5, Requisitos para la clasificación de agregados gruesos....	21
Tabla 3.6, Rangos en cada fracción de tamaño de agregado grueso que ha producido hormigón viable.....	22
CAPÍTULO 4: CONTROL EN AGREGADOS Y HORMIGONES FRESCOS	
Tabla 4.1, Propiedades de los agregados que influyen en el hormigón.....	32
Tabla 4.2, Ensayos de caracterización de agregado fino.....	33
Tabla 4.3, Ensayos de caracterización de agregado grueso.....	34
Tabla 4.4, Resultados que muestran ensayos de laboratorio realizados al Cemento.....	36
Tabla 4.5, Ensayos para control de hormigón en estado fresco.....	39

CAPÍTULO 5: EXPERIENCIAS EN OBRA

Tabla 5.1, Cantidades típicas de puzolana y otros materiales para material cementante.....	48
Tabla 5.2: Cantidades de agregados sugeridas para mezclas de prueba.....	49
Tabla 5.3: Esfuerzos a compresión de hormigones para varias relaciones A/C.....	49
Tabla 5.4: Relación agua/cemento para hormigones masivos.....	50
Tabla 5.5: Contenido de aire para agregados y morteros de distinto tamaño.....	51
Tabla 5.6: Contenido de agregado grueso para agregado fino natural o triturado.....	54
Tabla 5.7: Granulometría para tamaños máximos nominales de 6 y 3 pulgadas.....	55
Tabla 5.8: Agua para mezclado en hormigones con distinto revenimiento y agregado.....	56
Tabla 5.9: tamaño máximo nominal de agregado recomendado.....	57
Tabla 5.10: Granulometrías para agregados gruesos.....	57
Tabla 5.11: Resultado de ensayos de laboratorio para agregados a utilizar en hormigones de zapatas.....	61
Tabla 5.12: Peso de agregados para hormigón masivo a utilizar en zapata.....	63

Tabla 5.13: Resultado de ensayos de laboratorio para agregados a utilizar en hormigones de dovelas.....	64
Tabla 5.14: Peso de agregados para hormigón masivo a utilizar en dovelas.....	66

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO 2: DEFINICIONES	pag
Fotografía 2.1, Zapata y pila de sub-estructura de un puente.....	4
Fotografía 2.2, Zapata y pila de sub-estructura de un puente.....	4
Fotografía 2.3, Aliviadero de la Presa San Vicente.....	6
CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DOSIFICACIÓN	
Fotografía 3.1, Tuberías embebidas en elementos de hormigón.....	25
Fotografía 3.2, Tuberías embebidas en elementos de hormigón.....	25
Fotografía 3.3, Termocupla o termómetro de resistencia.....	29
Fotografía 3.4, Colocación de termocupla en armadura de elemento	29
CAPÍTULO 4: CONTROL EN AGREGADOS Y HORMIGÓN FRESCO	
Fotografía 4.1, Medición de Revenimiento, ensayo con el cono de Abrahms.....	40
Fotografía 4.2, Cilindros de hormigón para ensayo de compresión...	42
Fotografía 4.3, Vigueta para ensayo de tiempo de fraguado.....	44
Fotografía 4.4, Agujas con distintas áreas en la punta para realizar la prueba.....	44

CAPÍTULO 5: EXPERIENCIAS EN OBRA

Fotografía 5.1, Muestra armadura de la zapata, parte de la sub- estructura del puente.....	61
Fotografía 5.2, Muestra armadura de segmento de dovela.....	64

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Para cumplir con los requisitos de graduación en la modalidad “Seminario de Graduación”, es necesario desarrollar una tesina de grado cuyo componente principal se relaciona con la aplicación de los conocimientos obtenidos en los cursos aprobados por el Consejo Directivo de la FICT. Con este propósito se desarrolla la tesina de graduación cuyo título es: “Control en agregados y hormigón fresco para diseño de hormigón masivo, experiencia en obras con varias consistencias y resistencias”. Este tema cumple con los requisitos que exige el reglamento vigente de graduación.

1.2 Objetivo

El presente trabajo muestra la definición del hormigón masivo, bosqueja lineamientos principales para generar un plan de control de materiales utilizados para la fabricación del mismo.

Incluye una introducción elemental a las consideraciones para el diseño de dosificaciones, mostrando los pasos y tablas a utilizar para generar un diseño eficiente.

Expone conceptos básicos para generar un plan de control de calidad del hormigón en estado fresco, considerando el comportamiento característico del hormigón masivo. Este documento se refiere al hormigón masivo colocado en sitio.

1.3 Aplicación Teórica - Práctica.

Se exponen los pasos recomendados por la norma a seguir para el diseño de una dosificación de hormigón, posteriormente se comparten experiencias en obra con materiales de la ciudad de Guayaquil.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón Masivo

El hormigón masivo es definido por la norma ACI 207.1R como: “cualquier volumen de hormigón con dimensiones lo suficientemente grandes como para exigir que se adopten medidas para hacer frente a la generación de calor de hidratación del cemento y el consecuente de cambio de volumen para reducir al mínimo grietas”.

Esta definición no provee una medida específica, muchos autores han desarrollado sus definiciones de hormigón masivo. Por ejemplo, el hormigón masivo está definido por algunas entidades como "cualquier elemento de hormigón que posea una arista mínima mayor a 3 ft (0.9 m)". Otras agencias usan dimensiones mínimas diferentes, partiendo de 1.5 a 6.5 ft, dependiendo de las experiencias previas (0.46 para 2.0 m). Note que ninguna de estas definiciones considera el contenido del material cementante del hormigón. Las temperaturas dentro de un elemento de hormigón serán distintas si el hormigón es de alto

rendimiento o elevada resistencia a temprana edad, ambos difieren al hormigón estructural típico.

Fotografía 2.1



Fotografía 2.2



Fotografía 2.1 y 2.2.- Las fotografías muestran la zapata y pila como partes de la subestructura de un puente, en donde se utiliza hormigón masivo de consistencia fluida. (Fuente: Cortesía Compañía Sísmica Consultores, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas.)

2.2. Consideraciones Hormigón masivo.

El hormigón masivo ha sido ampliamente utilizado en la construcción de presas, es aquí en donde se identifica por primera vez la relación agrietamiento-temperatura. Esta relación también se ha

experimentado en otras secciones en estructuras de hormigón que incluye, cimentaciones, pilotes, pilas de puentes, muros, y diversas estructuras más.

Las propiedades principales del hormigón masivo son: durabilidad, economía, acciones térmicas, quedando en segundo lugar la resistencia a la compresión. Altas resistencia a la compresión usualmente no son requeridas en los hormigones masivos, existen excepciones.

2.3. Características Generales.

La característica que distingue al hormigón masivo de otro tipo de hormigón es el comportamiento térmico. La reacción agua-cemento es exotérmica por naturaleza, la temperatura se eleva en el interior del hormigón donde la disipación de temperatura es lenta lo que provoca un aumento de temperatura considerable. Importantes fuerzas de tensión y esfuerzos pueden desarrollarse asociado a un cambio volumétrico dependiente del incremento o disminución de temperatura en la masa de hormigón.

Las medidas de prevención deben ser tomadas donde el agrietamiento debido al comportamiento térmico puede causar pérdida

de la integridad estructural y acción monolítica, o puede causar excesiva infiltraciones y acortamiento de la vida útil de la estructura, o puede ser estéticamente inadmisibles.

2.4. Tipos de estructuras.

La práctica en construcciones con hormigones masivos ha evolucionado para satisfacer los requerimientos de la ingeniería, como presas de gravedad de hormigón, arcos de presas, esclusas de navegación, reactores nucleares, centrales eléctricas, grandes cimentaciones de muelles, puentes. También son aplicables a las estructuras más pequeñas, donde los altos niveles de tensiones por causas térmicas, generan potenciales grietas debido a los cambios volumétricos no tolerables.

Fotografía 2.3



Fotografía 2.3.- La fotografía muestra el aliviadero de la Presa San Vicente. (Fuente: CEDEGE, presentación proyecto: Complejo Hidráulico San Vicente, página 3)

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DOSIFICACIÓN.

Como cualquier otro hormigón, el hormigón masivo está compuesto de cemento, agregados y agua, de forma frecuente contiene adiciones químicas o minerales para generar propiedades específicas.

El objetivo de una dosificación es la selección de combinación de materiales que produzcan un hormigón que cumpla con los requerimientos de la estructura con respecto a la economía, trabajabilidad, estabilidad dimensional y libre de grietas, baja generación de calor, resistencia adecuada, durabilidad, y en caso de estructuras hidráulicas baja permeabilidad.

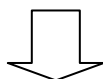
3.1 Condiciones generales para dosificación

Las condiciones generales para la dosificación de un hormigón masivo no difieren en mayor forma de la dosificación de un hormigón

convencional, de aquí que ambos dependen de las condiciones que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1.- Condiciones Generales para una dosificación.

Tipo de Condición	Característica que deben considerarse		Parámetros Condicionales
Diseño	Resistencia		Tipo de Cemento Relación agua/cemento
Uso en Obra	Trabajabilidad	Fluidez	Dosis de Agua
		Consistencia	Granulometría total
	Características del Elemento		Tamaño Máximo
Durabilidad	Condiciones Ambientales		Tipo de Cemento Uso de Aditivos
	Ataques Agresivos		Dosis Mínima de Cemento

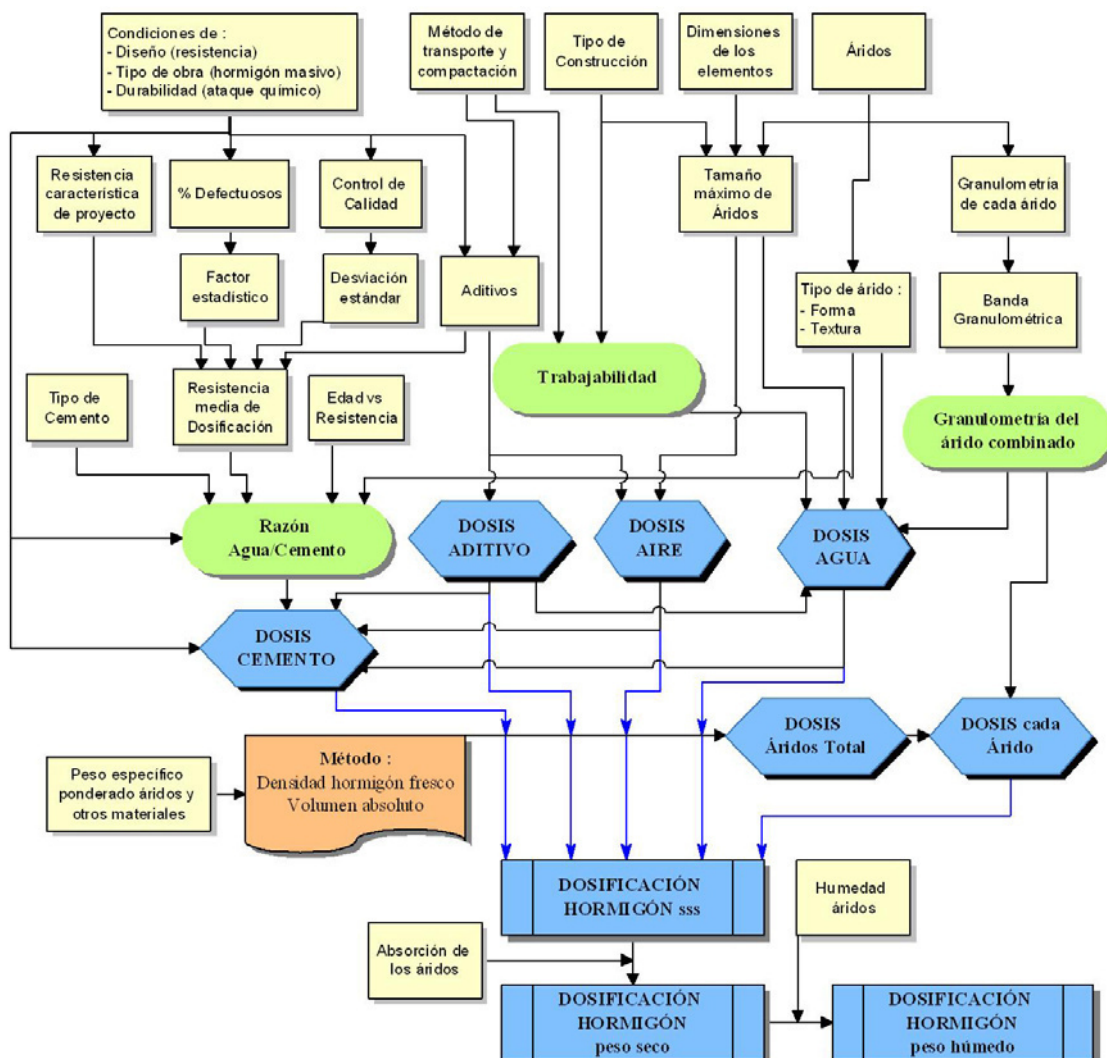


Condiciones de partida para dosificación de un Hormigón Masivo	✓ Tipo de Cemento ✓ Uso de Aditivos ✓ Tamaño Máximo ✓ Fluidez ✓ Consistencia ✓ Relación Agua Cemento
--	---

(Elaboración: Autores)

De forma general se esboza en la tabla 3.2 el diagrama para cálculo de dosificación, en este diagrama no se incluye la variable térmica del hormigón masivo; el análisis térmico se realiza por separado.

Figura 3.1.- Diagrama de Dosificación



(Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, Profesor C. Videla, Curso Dosificación Hormigones, Métodos de dosificación, pagina 7)

3.2 Cemento

Los siguientes tipos de cemento hidráulico son adecuados para uso en construcción de hormigón masivo:

Cemento Pórtland: tipo I, II, IV y V que cumplan con la norma ASTM C 150.

Mezcla de cemento: tipo P, IP, S, IS, I(PM), y I(SM) que cumplan con la norma ASTM C595.

Cuando se utiliza cemento portland con puzolana o con otros cementos, los materiales son almacenados por separado en la planta de mezcla. Economía y la baja generación de temperatura son los dos objetivos logrados al disminuir al mínimo posible el contenido total de cemento.

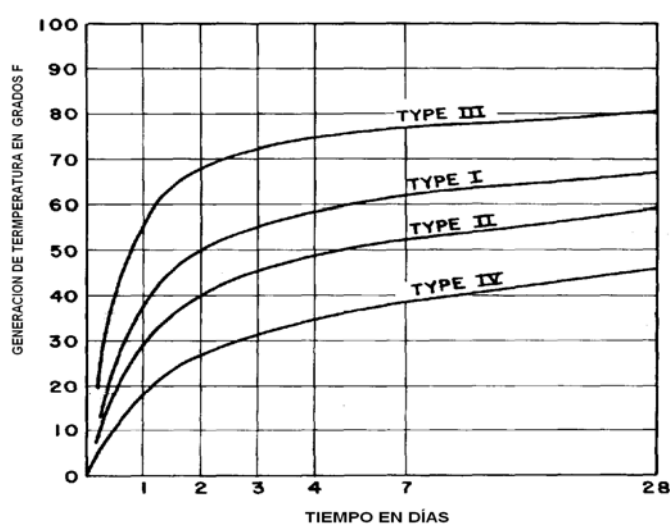
Dentro de las especificaciones que se consideran para el diseño de la dosificación en el hormigón masivo, se incluyen las siguientes:

- Temperatura máxima del hormigón al momento de la colocación.
- Temperatura máxima de calor de hidratación del hormigón durante el fraguado y edades definidas
- Diferencial máximo de temperatura del hormigón colocado entre el inferior y exterior del elemento.

La rata y la magnitud de la generación de calor en el hormigón depende de la cantidad de cemento y puzolana, composición del cemento y tamaño (finura), y de la temperatura durante la hidratación del cemento.

La temperatura de hidratación se ve afectada para aumentar o disminuir por las siguientes condiciones: dimensión del elemento, condiciones de exposición, en definitiva la temperatura exacta del hormigón depende de muchas variables.

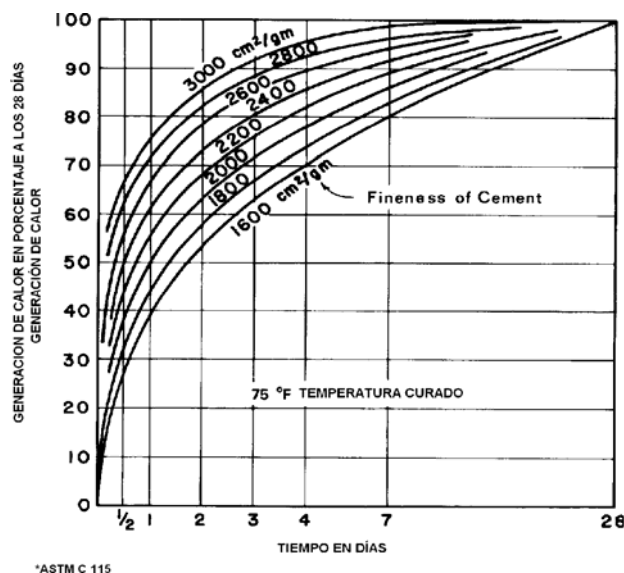
Figura 3.2.- Evolución de temperatura en hormigón masivo con diferentes tipos de cemento (colocado a 73 °F y contiene 376 lb/yd³ de cemento).



Cemento Tipo	Finura ASTM C 115 cm ² /gm	Calor de Hidratación A los 28 días Calor por gr
I	1790	87
II	1890	76
III	2030	105
IV	1910	60

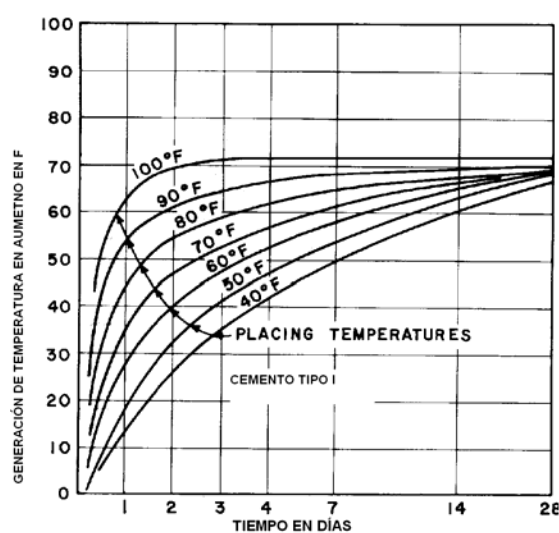
(Fuente: ACI 207.2R-95, capítulo 2.1, página 3)

Figura 3.3.- Razón de generación de calor afectada por la finura del cemento (ASTM C 115), pasta de cemento curada a 75°F.



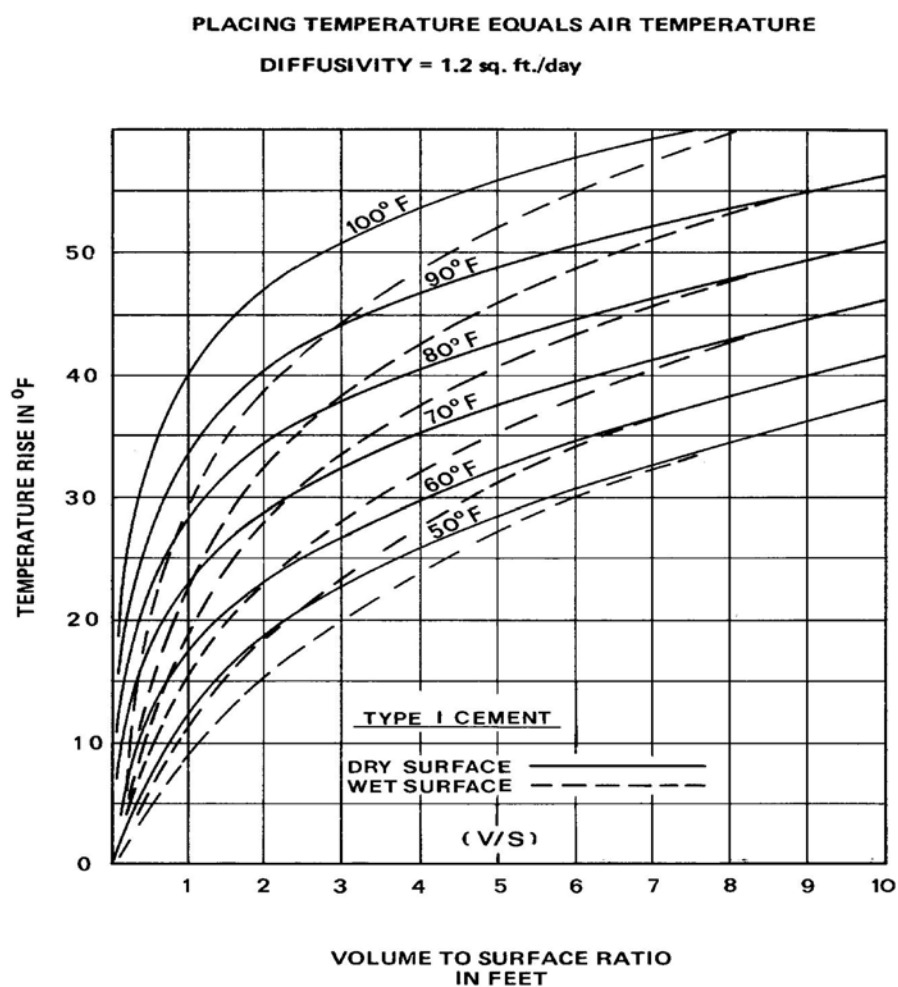
(Fuente: ACI 207.2R-95, capítulo 2, página 4)

Figura 3.4.- Efecto de la temperatura de colocación o fundición (Cemento tipo I contiene 376 lb/yd³)



(Fuente: ACI 207.2R-95, capítulo 2, página 4)

Figura 3.5.- Evolución de temperatura en elementos de hormigón que contienen 376 lb/yd³ de cemento colocados a diferentes temperaturas ambientales (temperatura de colocación igual a temperatura del aire).



(Fuente: ACI 207.2R-95, capítulo 2, página 5)

Las normas ACI 207.2R y ACI 207.4R contienen información adicional de tipos de cementos y efectos de la generación de calor.

3.3 Adiciones

Las adiciones para hormigón son materiales de naturaleza inorgánica que destacan por sus características puzolánicas o hidráulicas; finamente molidos, pueden ser añadidos al hormigón a fin de mejorar sus propiedades o dotarlo de características especiales. Tipos de adiciones: cenizas volantes, humo de sílice, escoria de alto horno.

Las cenizas volantes son los residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados. El humo de sílice es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio. Son subproductos que provienen de fábricas de hierro.

3.3.1 Puzolana

La puzolana en el hormigón masivo es utilizada para reducir el contenido de cemento Pórtland para mejorar la economía, para

disminuir la generación de calor interno, para mejorar la trabajabilidad, y para disminuir el riesgo potencial de daño por la reacción álcali-agregado y ataque de sulfatos. Debe reconocerse, sin embargo, que las propiedades de las diferentes puzolanas pueden variar ampliamente. Algunas puzolanas pueden introducir problemas en el hormigón, como el aumento de la contracción de secado así como la reducción de la durabilidad y baja resistencia a temprana edad.

3.4 Aditivos

Los aditivos para hormigón son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Las adiciones químicas o aditivos que son importantes para el hormigón masivo se clasifican en los siguientes grupos:

- Incorporación de aire,
- Reducción de agua, y
- Establecer parámetros de control.

Importantes beneficios que pueden proporcionar al hormigón masivo en estado plástico: el aumento de trabajabilidad y/o reducir el contenido de agua, retrasar el fraguado inicial, modificar la rata y/o capacidad de sangrado, reduce la segregación.

Propiedades que pueden proporcionar al hormigón masivo en estado endurecido: reducción de la generación de calor durante el endurecimiento, incremento de capacidad portante, disminución del contenido de cemento, aumento de la durabilidad, disminución de permeabilidad, mejor resistencia a la abrasión/erosión.

La norma que cubre de forma amplia las adiciones químicas se encuentran en el ACI 212.3R y ASTM C-494. Los aditivos para incorporación de aire están normados por ASTM C-260.

3.5 Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial con dimensiones varias.

Los agregados proporcionan ventaja técnica al hormigón, al darle mayor estabilidad volumétrica y durabilidad.

Los agregados son más baratos que el cemento por ende se trata de encontrar la distribución de agregados que ocupe la mayor cantidad de espacios con la menor cantidad de cemento, esto produce una economía en el hormigón.

3.5.1 Agregado Fino

Es la fracción de agregado que pasa totalmente el tamiz N° 4 (4,75 mm). Puede estar compuesta por granos naturales, fabricados por trituración de granos de mayor tamaño, o una mezcla de ambos.

El agregado fino debe consistir en partículas resistente, densa, durable, sin partículas de otro material.

No debe contener cantidades dañinas de arcilla, limo, polvo, mica, materia orgánica u otras impurezas, ya sea por separado o en conjunto, pues estas vuelven imposible alcanzar las propiedades requeridas por el hormigón cuando se encuentran en proporciones considerables.

Sustancias nocivas suelen limitar las propiedades del hormigón, algunas de estas sustancias nocivas se indican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2.- Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en el agregado fino (por peso)

Tipo de Sustancia	Porcentaje % (por peso)
Arcilla en grumos o partículas libres.	3.0
Material fino pasante tamiz N° 200:	
Para hormigón sujeta a abrasión	3.0*
Todos los demás hormigones	5.0*
El carbón y el lignito:	
En caso de que la apariencia de la superficie del hormigón sea de importancia.	0.5
Todos los demás hormigones	1.0
*En el caso de arenas trituradas, si el material pasa el tamiz N° 200 (75 mm) consiste en polvo de la fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites podrán incrementarse hasta el 5 por ciento para hormigón sujeta a la abrasión y 7 por ciento para todos los demás hormigones.	

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 9)

La graduación del agregado fino influye fuertemente en la trabajabilidad del hormigón.

Una buena clasificación de arena para hormigón masivo debe estar dentro de los límites que muestra la tabla 3.3.

Tabla 3.3.- Agregado fino para hormigón masivo

Tamiz	Porcentaje retenido, por cada peso
3/8 inch (9.5 mm)	0
Nº 4 (4.75 mm)	0 – 5
Nº8 (2.36 mm)	5 – 15
Nº 16 (1.18 mm)	10 – 25
Nº 30 (600 um)	10 – 30
Nº 50 (300 um)	15 – 35
Nº 100 (150 um)	12 – 20
Fracciones Menores	3 – 7
U. S. Bureau of Reclamation 1981	

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 9)

La investigación en laboratorio puede mostrar otras graduaciones satisfactorias, esto permite un amplio margen de graduaciones.

3.5.2 Agregado Grueso

Agregado grueso se define como la grava, grava triturada, o roca triturada, o una mezcla con tamaño nominal mayor al tamiz Nº 4 (4.75 mm) y menor a 6 pulgadas (150 mm). El tamaño del agregado grueso esta dictado por el espacio entre refuerzo o elementos incrustados. La falta de agregado grueso o el menor tamaño de este inciden en la cantidad de cemento necesaria para el hormigón que redunda en la

cantidad de calor generada en la etapa de hidratación, la posibilidad de agrietamiento por cambio volumétrico y condiciones para colocación de hormigón.

El tamaño máximo de agregado grueso no debe ser menor a la cuarta parte de la menor dimensión de la estructura ni los dos tercios de la distancia libre entre refuerzos entre barras horizontales o donde hay más de un refuerzo vertical para cortante. Caso contrario, la norma para el agregado grueso en el hormigón masivo es utilizar el mayor tamaño de agregado grueso que sea practico.

El agregado grueso debe permanecer libre de sustancias dañinas, la tabla 3.4 muestra los porcentajes admisibles de ciertas sustancias

Tabla 3.4.- Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en el agregado grueso (por peso).

Tipo de Sustancia	Porcentaje (por peso)
Material que pasa el tamiz N° 200 (75 um)	0.5
Material Ligero.	2.0
Grumos de Arcilla.	0.5
Otras sustancias dañinas	1.0

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 10)

La proporción de los agregados en la mezcla de hormigón influye de manera contundente en la trabajabilidad. En Estados Unidos de Norteamérica se recomienda para hormigones masivos el uso de las proporciones de agregado que se muestran en la tabla 3.5, estas granulometrías han rendido grandes resultados en los que tiene que ver a trabajabilidad

Tabla 3.5.- Requisitos para la clasificación de agregados gruesos

Tamaño Tamiz (mm)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz			
	(6 – 3 pulg.) 150 – 75 mm	(3 – 1 ½ pulg.) 75 – 37.5 mm	(1 ½ - ¾ pulg.) 37.5 – 19 mm	(¾ - N° 4) 19 – 4.75 mm
175	100			
150	90 – 100			
100	20 – 45	100		
75	0 – 15	90 – 100		
50	0 - 5	20 – 55	100	
37.5		0 – 10	90 – 100	
25		0 – 5	20 – 45	100
19			1 – 10	90 – 100
9.5			0 – 5	30 – 55
4.75				0 – 5

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 11)

Los agregados que han producido hormigones masivos con resultados favorables han cumplido con las granulometrías especificadas en la

tabla 3.6, en esta tabla se muestran los límites de gradación que cumplieron los agregados para tener los resultados favorables.

Tabla 3.6.- Rangos en cada fracción de tamaño de agregado grueso que ha producido hormigón viable

Tamaño Tamiz (mm)	Porcentaje de separación libre para fracción de agregado grueso				
	(6 – 3 pulg.) 150 – 75 mm	(3 – 1 ½ pulg.) 75 – 37.5 mm	(1 ½ - ¾ pulg.) 37.5 – 19 mm	(¾ - Nº 4)	
				(¾ - ⅜) 19–9.5 mm	(⅜ - Nº 4) 9.5–4.75 mm
150	20 – 30	20 – 32	20 – 30	12 – 20	8 – 15
75		20 – 40	20 – 40	15 – 25	10 – 15
37.5			40 – 55	30 – 35	15 – 25
19				30 - 70	20 – 45
U. S. Bureau of Reclamation 1981					

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 11)

3.6 Agua

El agua utilizada para la mezcla de hormigón debe estar libre de materiales que afectan significativamente las reacciones de la hidratación del cemento portland. El agua que es apta para beber en general puede considerarse como aceptable para el uso en la mezcla del hormigón. La Potabilidad se opone a cualquier contenido objetable de cloruros.

Como regla, el agua con PH de 6,0 a 8,0 o posiblemente hasta 9,0, que no tenga sabor solubre es adecuado para usar.

Cuando es conveniente determinar si el agua contiene materiales que afectan significativamente el desarrollo de la fuerza de cemento, las pruebas comparativas se realizarán en morteros hechos con agua de la fuente y con agua destilada.

Los limites de cloruros para diversas construcciones se encuentran en la norma ACI 201.2R.

3.7 Selección de proporciones

El principal objetivo de los estudios para la dosificación de hormigón masivo es establecer la mezcla adecuada que proporcione economía, resistencia, durabilidad, e impermeabilidad con la mejor combinación de materiales disponibles que proporcionen suficiente trabajabilidad para la colocación y menor generación de temperatura después de la colocación.

La selección de la relación agua-cemento establece la resistencia, la durabilidad, y permeabilidad en el hormigón. También debe existir

suficiente material fino para proporcionar trabajabilidad. La experiencia ha demostrado que el tamaño máximo de agregado es 6 pulgadas (150 mm), la cantidad de cemento puede llegar a ser diez por ciento menor cuando el agregado es angular.

El primer paso para llegar a la dosificación por peso es seleccionar el tamaño del agregado máximo para cada parte de la obra. El siguiente paso es determinar el contenido total de agua, relacionado directamente con el contenido de cemento, en este punto ocupa un lugar importante la trabajabilidad necesaria en el hormigón.

3.8 Control de temperatura

Los cuatro elementos de un efectivo programa de control de temperatura, alguno o todos pueden ser utilizados en un proyecto de hormigón masivo, son los siguientes:

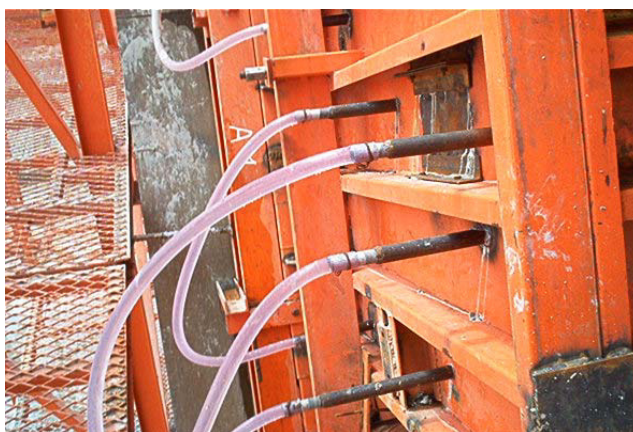
Control del contenido del cemento, donde la elección del tipo y la cantidad de material cementicio pueden disminuir el potencial de generación de calor del hormigón.

Pre-enfriamiento, donde el enfriamiento de los ingredientes logra menor temperatura al momento de colocar el hormigón.

Post-enfriamiento, donde la disipación de calor limita la elevación de temperatura en la estructura.

Administración de la construcción, donde se hacen esfuerzos para proteger la estructura de las diferencias de temperatura excesivas mediante el empleo de los conocimientos de la manipulación del hormigón, programación de la construcción de elementos, y métodos constructivos.

Fotografía 3.1



Fotografía 3.2



Fotografía 3.1 y 3.2.- Muestra las tuberías embebida en el elemento de hormigón cuyo propósito es hacer circular agua fría para la disipación del calor, esto como método de control de la temperatura.

Fuente: Compañía Consulsismica, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas

El control de temperatura para estructuras pequeñas puede necesitar no más de una medida, como la restricción de fundir elementos de hormigón en horarios con temperatura ambiental baja o por la noche.

En el otro extremo, algunos proyectos pueden ser lo suficientemente grandes como para justificar una gran variedad de medidas independientes pero complementarias, además, las medidas de control pueden incluir la selección prudente de un cemento puzolánico de baja generación de calor.

La cuidadosa selección de la granulometría de agregados, el uso del mayor tamaño de agregado en una eficiente mezcla con bajo contenido de cemento.

El pre-enfriamiento de agregados y agua de mezclado (o la colocación de hielo en el agua de mezclado).

Uso de la incorporación de aire y otro aditivo químico para mejorar las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

Utilizando las dimensiones adecuadas para la colocación del hormigón en bloques, secciones o elementos.

La coordinación de horarios de hormigonado con los posibles cambios de temperatura por estaciones climáticas, uso de equipos especiales para mezclar y colocar el hormigón con la mínima absorción de calor ambiental, la refrigeración por evaporación de la superficie a través del agua de curado.

Disipación de calor del hormigón endurecido mediante la circulación de agua fría a través de tuberías embebidas; y superficies aislantes para minimizar el diferencial térmico entre el interior del hormigón y el exterior.

3.8.1 Practicas comunes en obra

Adicional al control de esfuerzos térmicos, el mezclado y el vaciado de hormigón a temperaturas bajas (sin dejar que la temperatura afecte los principios de resistencia) proporciona un incremento de durabilidad y esfuerzos a largo plazo. El hormigón frío es más sensible a la vibración durante el vaciado.

Modestos esfuerzos en el sitio de la construcción pueden mejorar los beneficios nominales del control de temperatura en el hormigón.

Dentro de las prácticas típicas para controlar los cambios de temperatura en la estructura de hormigón se tiene:

- Enfriamiento del agua.
- Reemplazar una porción del agua de mezclado por hielo
- Almacenar bajo sombra los agregados
- Inmersión de los agregados gruesos
- Programar fundición en horario nocturno
- Pronta aplicación del agua de curado
- Post-enfriamiento mediante tuberías de enfriamiento
- Control de las superficies de enfriamiento
- Evitar choques térmicos
- Protección de los bordes de la excesiva pérdida de calor

3.8.2 Instrumentación

El control de temperatura de los componentes del hormigón durante la manipulación del mezclado, el hormigón fresco, antes y después de su descarga en el encofrado pueden ser controlados de forma adecuada con los termómetros ordinarios portátiles con precisión de 1°F o 0.5°C.

Los sistemas de post-enfriamientos requieren dispositivos de detección de temperatura (termocouples-termopares o termómetros de resistencia) embebidos en el elemento a fin de proporcionar información para el control de tasas de refrigeración.

Fotografía 3.3



Fotografía 3.4



Fotografía 3.3.- Termocoupla o termómetro de resistencia. **Figura 3.4.-** colocación de termocoupla en armadura de elemento.

Fuente: Compañía Consulsismica, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas

El medio principal para limitar el aumento de la temperatura es controlar el tipo y la cantidad de materiales cementantes.

El objetivo de los estudios de dosificación es llegar a un contenido material de cementante no mayor al necesario para llegar a la

resistencia de diseño. El factor limitante para llegar a este bajo nivel de cemento es por lo general la necesidad de utilizar una cantidad mínima de cemento con tamaño de partículas necesario para proporcionar trabajabilidad en el hormigón.

Sin el uso de adiciones cementicias como puzolana, incorporación de aire, u otros aditivos la mezcla de hormigón masivo en un proyecto puede experimentar una continua lucha para mantener la trabajabilidad, mientras mantiene un bajo contenido de cemento para protegerse del agrietamiento.

CAPÍTULO 4:

CONTROL EN AGREGADOS Y HORMIGÓN FRESCO.

Esta sección pretende mencionar las normas que fijan las especificaciones técnicas mínimas necesarias para que los agregados cumplan con los requerimientos de calidad y calificación para ser utilizados en un hormigón masivo.

4.1 Pruebas en Agregados.

Al menos tres cuartas partes del volumen del hormigón están ocupadas por agregados, en tal virtud sus propiedades físicas, térmicas y químicas, influyen en el comportamiento del hormigón, lo que demuestra que las características de resistencia de los agregados son importantes.

Distintos autores han realizado estudios con la finalidad de demostrar cuales son las propiedades de los agregados que influyen directamente

en el hormigón, la tabla 4.1 muestra la influencia del agregado en el hormigón con respecto a la resistencia, y características térmicas.

Tabla 4.1.- Propiedades de los agregados que influyen en el hormigón.

PROPIEDADES DEL HORMIGON INFLUENCIADAS POR LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO			
Propiedad Relativa del Agregado	Ensayo estándar	Valores Típicos	Referencias
Propiedad del concreto: Resistencia			
Fuerza de tensión	ASTM D 2936 - Núcleos de roca	300 - 2300 psi	2,2
Fuerza de compresión	ASTM D 2938 - Núcleos de roca	10,000 - 40,000 psi	
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Placa de Color No. 3 o menos	4,5
	ASTM C 87	85 A 105 %	
Forma de la partícula	ASTM C 295 - Petográfico	Aparición de partículas	4,4
	ASTM D 4791 - Agregado Grueso	% plano o alargado	5,1
	CRD-C-120- Agregado fino	% plano o alargado	
	ASTM D 3398	Índice de la forma de la partícula	
	ASTM C 29	38 a 50 %	
Conglomerado de Arcilla y partículas desintegrables	ASTM C 142	0,5 A 2 %	4,3,1
	CRD-C141 - Desgaste del agregado fino	Cantidad de agregados finos generados	5,1
	ASTM C 1137	Igual que el anterior	
Tamaño máximo	ASTM C 136 - Análisis de tamizado	1/2 a 6 in	4,2,2
Propiedad del concreto - Características Térmicas			
Coefficiente de la expansión térmica	CRD - C - 125	1.0 - 9.0 x 10 ⁻⁶ F	2,4
Módulos de elasticidad	Ninguna	1.0 - 10.0 x 10 ⁶ psi	
Calor específico	CRD - C - 124		
Conductividad	Ninguna		
Disifusividad	Ninguna		

(Fuente: ACI 221R-96, capítulo 1, página 4)

Los agregados se dividen en dos grupos de tamaño: agregado fino, llamado a menudo arena con partículas no mayores a 4,75mm y agregado grueso, que comprende el material mayor de 4,75mm.

4.1.1 Agregado Fino

El agregado fino tiene la función de ocupar los espacios vacíos que se forman entre las partículas de agregado grueso, de esta manera se reduce considerablemente la cantidad de cemento necesaria para lograr la resistencia requerida. La tabla 4.2 muestra los ensayos de caracterización del agregado fino.

Tabla 4.2.- Ensayos de caracterización de agregado fino.

Nombre de ensayo	Norma
Densidad y Absorción (%)	ASTM C-127
Granulometría (modulo de finura)	ASTM C-136, ASTM C-33
Masa específica y masa unitaria (g/cm ³)	ASTM C-29, ASTM C-138
Taza de arcilla en grumos (%)	ASTM C-142
Resistencia al ataque de Sulfato de Sodio	ASTM C-88
Detección de impureza orgánica	ASTM C-40
Análisis petrográfico	ASTM C-295
Reactividad potencial	ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-1260/01

(Elaboración: Autores)

4.1.2 Agregado Grueso

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). La tabla 4.3 muestra los ensayos de caracterización del agregado grueso.

Tabla 4.3.- Ensayos de caracterización de agregado grueso

Nombre de ensayo	Norma
Densidad y Absorción (%)	ASTM C-127
Granulometría (modulo de finura)	ASTM C-136, ASTM C-33
Masa específica y masa unitaria (g/cm ³)	ASTM C-29, ASTM C-138
Abrasión Los Ángeles (% pérdida)	ASTM C-131
Resistencia al ataque de Sulfato de Sodio	ASTM C-88
Análisis petrográfico	ASTM C-295
Reactividad potencial	ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-1260/01

(Elaboración: Autores)

Se puede incluir de forma opcional el índice de forma del agregado, los métodos existentes para la determinación de este índice son empíricos y no se encuentran estandarizados, motivo por el cual se los excluye de los ensayos recomendados como obligatorios.

4.2 Pruebas con Cemento.

El cemento puede describirse como un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos para formar un todo compacto.

El cemento posee un papel preponderante en el diseño de hormigón masivo, debido al calor generado en la fase de hidratación y a sus diferentes edades en el periodo de endurecimiento. Con estos antecedentes es recomendable realizar ensayos: físicos, químicos, y físico-químico.

4.2.1 Pruebas de Caracterización

Las pruebas de caracterización que se realizan al cemento muestran los resultados que se detallan en la tabla 4.4, estos resultados representan parte de las propiedades del cemento.

Tabla 4.4.- Resultados que muestran ensayos de laboratorio realizados al Cemento

Propiedades a determinar			
Masa específica (g/cm3)			
Finura	Tamiz N° 200		
	Área específica (cm2/g)		
Tiempo de fraguado (h:min)	Inicial		
	Final		
Agua de consistencia – Pasta (%)			
Expansión de autoclave (%)			
Resistencia a la compresión (MPa)	3 días		
	7 días		
	28 días		
Calor de hidratación (J/g)	3 días		
	7 días		
Componentes químicos (%)	Pérdida al fuego		
	Residuo insoluble		
	Trióxido de azufre (SO3)		
	Óxido de magnesio (MgO)		
	Dióxido de silíco (SiO2)		
	Óxido de hierro (Fe2O3)		
	Óxido de aluminio (Al2O3)		
	Óxido de calcio (CaO)		
	Óxido de calcio libre (CaO)		
	Álcalis Totales	Óxido de sodio (Na2O)	
		Óxido de potasio (K2O)	
Equivalente alcalino			
Sulfato de calcio (CaSO4)			
Composición potencial Método de Bogue (%)	Silicato tricálcico (C3S)		
	Silicato dicálcico (C2S)		
	Aluminato tricálcico (C3A)		
	Ferro Aluminato Tetracálcioco (C4AF)		

(Elaboración: Autores)

4.2.2 Granulometría

Del ensayo de granulometría láser se obtienen los siguientes datos:

- Concentración,
- Diámetro bajo el cual se encontraron 10% de las partículas (um),
- Dimensión medida de partícula (um),
- Diámetro bajo el cual se encontraron 90% de las partículas (um),
- Índice granulométrico,
- Curva granulométrica.

La norma que regula las condiciones y requisitos que debe cumplir el cemento Portland es la ASTM C-150

4.3 Control de calidad del hormigón en estado fresco.

Cada mezcla de hormigón es dosificada en función de requerimientos estructurales, tipo de procedimiento constructivo y condiciones de exposición. Por tales motivos es indispensable poseer un plan adecuado de control de calidad del hormigón previo al vaciado de cada elemento a fundir.

Si bien el hormigón fresco tiene solo interés momentáneo, se debe notar que el grado de compactación se ve afectado, y seriamente en esta etapa; la resistencia del hormigón de proporciones de mezcla dadas es otro de los factores que depende directamente de los cuidados que se tengan en el estado fresco. Por tanto, es vital que la consistencia de la mezcla, sea tal que el hormigón se pueda transportar, colocar, compactar y acabar con suficiente facilidad y sin segregación.

De forma general, se pueden realizar varias clasificaciones para los tipos de hormigón, de acuerdo a:

- Tipo de cemento
- Sistema de vaciado
- Edad para la resistencia mínima
- Control de temperatura
- Resistencia a la compresión especificada

4.3.1 Ensayos de control

El plan de control de calidad de hormigones establece la ejecución de ensayos rutinarios para verificar en cada mezcla enviada a obra el cumplimiento estricto de las especificaciones. La tabla 4.5 muestra las pruebas efectuadas comúnmente en los controles del hormigón.

Tabla 4.5.- Ensayos para control de hormigón en estado fresco

Nombre de ensayo	Norma
Muestreo del hormigón fresco	ASTM C-172
Revenimiento	ASTM C-143
Medición de la temperatura en hormigón fresco	ASTM C-1064
Elaboración de cilindros para ensayos de compresión	ASTM C-43
Medición del contenido de aire (método de presión)	ASTM C-231
Medición del tiempo de fraguado	ASTM C-403
Exudación	ASTM C-232

(Fuente: Ing. V. Orozco, Conferencia Control Calidad Hormigón, capítulo 2, página 7)

4.3.2 Descripción de ensayos

Muestreo del hormigón fresco, para autorizar la colocación del hormigón se ejecuta el muestreo de la parte inicial de la descarga del hormigón, el tiempo de toma no debe superar los 15 minutos (elaboración de muestra completa). Dependiendo del elemento y su volumen se realizará una o varias tomas de la mezcla para la elaboración de cilindros para ensayo de compresión, fraguado y exudación de ser el caso. La elaboración de los moldes se realiza en 15 minutos posterior a la conformación de la muestra compuesta.

Medida de **revenimiento usando el cono de Abrahms**, ensayo valido para hormigones con tamaño de agregado hasta 37,5 mm (1 ½ "); mezclar la muestra previo al moldeo del cono, llenar en 3 capas de

igual volumen con 25 golpes en cada capa penetrando ligeramente en la capa interior, levantar el cono de manera uniforme en un tiempo de 5 ± 2 segundos. Se mide el revenimiento desde el borde superior del cono hasta el punto medio de cono formado, tiempo de ejecución del ensayo: 2,5 minutos.

Figura 4.1



Fotografía 4.1.- Medición de Revenimiento, ensayo con el cono de Abrahms.

(Fuente: Autores)

Medida de la **temperatura en el hormigón fresco**, se utiliza un termómetro de aguja o electrónico, de $50 \pm 0,5$ °C que permita la inserción de 3" en el hormigón; debe existir un recubrimiento mínimo de 3 veces el tamaño del agregado o 75 mm en todas las direcciones del molde. Insertar el termómetro en la masa de hormigón, tomar la lectura después de 2 minutos o hasta que se estabilice; en hormigones

con tamaños mayores a 75 mm puede requerirse tiempos de estabilización de hasta 20 minutos.

Elaboración de **cilindros para ensayos de compresión**, tienen medidas de 15 x 30 cm, humedecer las herramientas previo al procedimiento (varilla de 60 cm diámetro 16 mm, espátula, regla), mezclar la muestra tomada.

Asentamientos menores a 7,5 cm se compactan por vibración, asentamientos mayores a 7,5 cm compactan por varillado; compactar la muestra en 3 capas de 25 golpes cada una distribuida uniformemente penetrando ligeramente la capa inferior, después de apisonar cada capa golpear ligeramente el molde 10 o 15 veces utilizando un mazo de hule (0,6 +/- 0,2 kg), enrasar la superficie utilizando una regla metálica, cubrir los cilindros con un plástico duro durante 24 horas para evitar evaporación del agua de la mezcla, remover los moldes después de 24 +/- 8 horas después de fundidos, colocar las probetas en la cámara de curado.

Fotografía 4.2



Fotografía 4.2.- Cilindros de hormigón para ensayo de compresión.

(Fuente: Autores)

Medición del **contenido de aire (método de presión)**, se utiliza un recipiente tipo B consiste en una olla cilíndrica con tapa hermética la cual posee un manómetro calibrado para marcar el porcentaje de aire contenido en el hormigón, mezclar el hormigón y humedecer las herramientas a utilizar, llenar el molde en 3 capas, procediendo en cada de una de ellas a darle 25 golpes, en la cual se utiliza una varilla de 40 cm, luego se golpea ligeramente el molde con un martillo de hule, enrasar la superficie del molde limpiando cuidadosamente los bordes para asegura herméticamente la tapa; abrir las válvulas de

cebado, cerrar la válvula de conexión entre el tazón y la cámara, colocar agua por la válvula de cebado hasta que salga por la segunda válvula, seguir con la colocación de agua y golpes ligeros a la tapa para eliminar las burbujas, cerrar la válvula de escape de aire y bombear hasta la marca del aparato, cerrar las llaves de purga y abrir la conexión entre la válvula y el tazón, tomar la lectura del manómetro, tener la precaución de restar la corrección necesaria por el tamaño máximo nominal del agregado.

Medición del **tiempo de fraguado en el hormigón**, para ejecutar la prueba se utiliza un penetrometro estandarizado, de “agujas” intercambiables con una marca graduada para medir la fuerza de penetración en la muestra, el hormigón a utilizarse deberá ser tamizado por la malla de 4,75 mm (No. 4), la muestra tamizada se moldea en una viga de hormigón compactada por varillado. Las áreas de las agujas en pulgadas cuadradas: 1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20, 1/40. Se recomienda hacer la primera penetración 1 o 2 horas después de moldeada la viga, aplicar la fuerza vertical gradualmente mediante el aparato hasta que la aguja penetre 25 mm en 10 segundos.

Figura 4.3*Figura 4.4*

Figura. 4.3.- Vigueta para ensayo de tiempo de fraguado; **Figura. 4.4.-** Agujas con distintas áreas en la punta para realizar la prueba de tiempo de fraguado
(Fuente: V. Orozco, Conferencia Control Calidad Hormigón, capítulo 2, página 18)

Medición de la **exudación en el hormigón**, se emplea un recipiente cilíndrico metálico de 141 ml en donde se colocara la muestra de hormigón, si el tamaño máximo nominal del agregado es mayor a 50 mm, deberá tamizar por la malla de 37,5 mm.

Llenar el recipiente en 3 capas de igual volumen, compactadas con 25 golpes distribuidos uniformemente, después de cada capa golpear de 10 a 15 veces con martillo de goma; colocar el recipiente en un área nivelada, con una pipeta se extraerá el agua que se ha acumulado en

la superficie de la muestra, registrando el tiempo en el cual se realizo la extracción, para facilitar la recolección del agua se puede inclinar ligeramente el recipiente colocando una cuña de 50 mm en uno de los lados, 2 minutos antes de proceder con la extracción; el porcentaje de exudación se calcula como la relación entre la masa de agua total extraída de la muestra original del hormigón dividida para la cantidad de agua en el volumen de prueba.

CAPÍTULO 5

EXPERIENCIAS EN OBRA

Este capítulo muestra una forma breve de realizar el cálculo de volúmenes de material para mezcla de hormigones masivos, basado en la normas ACI 207; este método está compuesto de doce pasos y sirve como guía para llegar a los resultados obtenidos en los ejemplos que se presentan al final de este documento.

5.1 Pasos para dosificación

Paso 1. – Determinar todos los requerimientos relacionados a las propiedades del hormigón incluyendo:

- Tamaño máximo nominal de los agregados que pueden ser usados.
- Revenimiento.
- Limitaciones en las proporciones de agua-cemento.

- Temperatura máxima esperada en la colocación.
- Rangos de contenido de aire
- Resistencia requerida y edades de prueba
- Condiciones de exposición esperadas.
- Velocidades esperadas de agua, cuando el hormigón debe ser sujetado al agua suelta.
- Requerimientos de la calidad de los agregados.
- Propiedades del material cementante.

Paso 2. – Determinar las propiedades esenciales de los materiales si la información suficiente no está disponible. Muestras representativas de todos los materiales a ser incorporados en el hormigón deberán ser recolectados en cantidades suficientes para proveer pruebas de verificación por evaluación en conjunto. Las cantidades sugeridas de material necesario para completar las pruebas requeridas se muestran en la tabla 5.2 Si la puzolana es económicamente viable, o requerida por las especificaciones, el porcentaje sugerido en la tabla 5.1 deberá ser usado como punto inicial en las mezcla de pruebas.

Del material enviado para los programas de pruebas, determinar las siguientes propiedades:

- Análisis por tamiz de todos los agregados.
- Gravedad específica de los agregados.

- Absorción de los agregados.
- Forma de partícula de los agregados gruesos.
- Modulo de finura de los agregados finos.
- Gravedad específica del cemento portland, y/o puzolana y/o cemento mezclado.
- Propiedades físicas y químicas del cemento portland y/o puzolana o cemento mezclado incluyendo calor de la hidratación a los 7 días.

Tabla 5.1.- Cantidades típicas de puzolana y otros materiales para material cementante

CANTIDADES TÍPICAS DE PUZOLANA Y OTROS MATERIALES		
Material o Clase de material	Porcentaje total de material cementicio por volumen absoluto	
	Hormigón no Expuesto	Hormigón Expuesto ‡
Puzolana (ASTM C 618):		
Clase F	35	25
Clase N, todos los tipos excepto mineral sin calcinar	30	20
Clase N, mineral sin calcinar	20	20
Otros Materiales:		
Escoria o Cemento Natural	35	25

* Otras cantidades de puzolana u otros materiales pueden ser usados con previa verificación de aceptabilidad por evaluaciones de la mezcla de laboratorio o por experiencias previas. No se han establecido cantidades típicas para la puzolana Clase C.

† Hormigón No Expuesto para estructuras masivas. (presa de gravedad, muro contención)

‡ Hormigón Expuesto para estructuras masivas. (ver nota anterior), y hormigón estructural expuesto, canal de agua, cimientos de edificios, y estructuras similares de tamaño moderado.

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 32)

Un registro completo de las propiedades señaladas con anterioridad debe estar disponible para su uso en obra; esta información podrá

ayudar a realizar ajustes en la mezcla si alguna de las propiedades de los materiales usados en la obra cambia las propiedades de los materiales usados en el programa de ensayos de mezcla del laboratorio.

Tabla 5.2.- Cantidades de agregados sugeridas para mezclas de prueba

Cantidades sugeridas de material para mezclas de prueba en hormigón													
Tamaño máximo nominal de la mezcla		Cantidades de agregados lb (Kg)								Cemento			
		Agregado grueso											
		Agregado Fino		N° 4 a 3/4"		3/4" a 1 1/2"		1 1/2" a 3"				3" a 6"	
				4,75 a 19 (mm)		19 a 37,5 (mm)		37,5 a 75 (mm)				75 a 150 (mm)	
pulg	mm									lb	(Kg)		
1/4	(19)	1200	(544)	1200	(544)	-	-	-	-	400	(181)		
1 1/2	(37.5)	1000	(454)	1000	(454)	1000	(454)	-	-	400	(181)		
3	(75)	2000	(907)	1500	(680)	1000	(454)	2000	(907)	500	(227)		
6	(150)	3000	(1361)	2000	(907)	1500	(680)	2500	(1134)	3000	(1361)		
										700	(318)		

Paso 3. – Selección de la relación **Agua/Cemento**. Si la relación agua-cemento no se determina en las especificaciones del proyecto, seleccionar de la tabla 5.4 la relación de agua-cemento (A/C) máxima permisible para las condiciones de exposición particulares.

Compare esta relación A/C con la relación máxima permisible requerida de la tabla 5.2 para obtener el promedio de resistencia el cual incluye la resistencia especifica más un valor de tolerancia por la variación anticipada y usar la relación A/C más baja.

La relación A/C deberá ser reducida a 0.02 para asegurar que la proporción A/C máxima permisible no sea excedida durante los ajustes en obra.

Tabla 5.4.- Relación agua/cemento para hormigones masivos

MAXIMAS RELACIONES PERMISIBLES DE AGUA CEMENTO PARA SECCIONES MASIVAS		
Ubicación de la Estructura	Relación Agua Cemento, según el peso	
	Clima grave o Moderado	Clima templado, poca nieve o helada
En líneas de agua hidráulica o estructuras con frentes con agua, donde la saturación intermitente es posible	0.5	0.55
Partes no expuestas de estructuras masivas	No límite *	No límite *
Estructuras ordinarias expuestas	0.5	0.55
Inmersión completa continua en agua	0.58	0.58
Hormigón depositado en agua	0.45	0.45
Exposición a fuertes sulfatos de las aguas subterráneas o cualquier otro líquido corrosivo, sal o	0.45	0.45
Hormigón sometido a altas velocidades de flujos de agua	0.45	0.45
Nota: Estas relaciones W/C pueden convertirse en la relación W/(C+P) por el uso de la ecuación 1 de la equivalencia $A/C = A/(C+P)$		
* Deben basarse en el límite mínimo necesario para facilidad de la fuerza en el cuadro 5.1.2		

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 34)

Esta relación A/C, si es requerido, puede ser convertido a una relación agua-cemento más puzolana.

Paso 4. – Estimación de la cantidad de agua requerida para mezclado. Los requerimientos estimados del agua de la tabla 5.7 para el revenimiento específico y el tamaño máximo nominal del agregado. La temperatura inicial de la colocación puede afectar estos requerimientos del agua; para información adicional consulte la tabla 5.5.

Tabla 5.5.- Contenido de aire para agregados y morteros de distinto tamaño

ESTIMACION DE MORTERO Y CONTENIDO DE AIRE PARA VARIOS AGREGADOS DE MAXIMO TAMAÑO NOMINAL (1 1/2 " (37.5 mm) revenimiento y aire contenido entre el 5 y 6 % en las porciones menores 1 1/2 " (37.5 mm))

Tamaño Máximo Nominal y tipo de agregado grueso			Contenido de Mortero cu ft/cu yd $\pm$ 0.2 (m ³ /m ³ + 0.01)		Aire contenido Mezcla Total en porcentaje	
in.	mm		in.	mm		
6	150	Triturado	10.5	0.39	3	4
6	125	Redondeado	10	0.37	3	4
3	75	Triturado	12	0.44	3.5	4.5
3	75	Redondeado	11.5	0.43	3.5	4.5

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 34)

Paso 5. – Selección de aire incorporado. Seleccionar el total del aire contenido de la mezcla como se recomienda en la tabla 5.5. Una

medida exacta de aire contenido se puede realizar durante los ajustes futuros de la mezcla usando la ecuación 5.1.1.

Ecuación 5.1.1

$$A = \frac{a}{1 + r \left(1 - \frac{a}{100}\right)}$$

Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 35

Donde:

- A = aire contenido de la mezcla total, expresado en porcentaje.
- a = aire contenido menos 1 ½ pulgadas (37.5 mm) de fracción de la mezcla, expresado en porcentaje.
- r = proporción del volumen absoluto mas 1 ½ pulgadas (37.5 mm) del agregado al volumen absoluto de todos los materiales de la mezcla excepto aire. Si el 100 por ciento de los agregados excede las 1 ½ pulgadas (37.5 mm) se escoge, r=0, y A=a.

Paso 6. – Calcular el peso del cemento requerido del W/C seleccionado (paso 3) y el requerimiento de agua (paso 4).

Paso 7. – Determinar el volumen absoluto para los materiales cementicios, contenido de agua, y contenido de aire de la información obtenida en los pasos 4, 5 y 6. Calcular individualmente el volumen absoluto del cemento y puzolana.

Ecuación 5.1.2 A

$$v_{c+p} = \frac{C_w}{G_c(62.4)} \text{ cu ft or } \frac{C_w}{G_c(1000)} \text{ m}^3$$

Ecuación 5.1.2 B

$$v_c = v_{c+p}(1 - F_v)$$

Ecuación 5.1.2 C

$$v_p = v_{c+p}(F_v)$$

Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 35

Donde;

C_w = peso del cemento portland equivalente como se determina en el paso 6.

G_c = gravedad específica del cemento portland

v_c = volumen del cemento (cu ft) (m^3)

v_p = volumen de puzolana (cu ft) (m^3)

$v_{(c+p)}$ = volumen del cemento y del puzolana (cu ft) (m^3)

F_v = porcentaje de puzolana por el volumen absoluto del volumen total absoluto del cemento mas la puzolana expresado en factores decimales.

Paso 8.– Selección del porcentaje del agregado grueso. De la tabla 5.6, y basados en los módulos de fineza de los agregados finos así como el tamaño máximo nominal y el tipo de agregado grueso, se determina el porcentaje de agregados gruesos del volumen total de agregados.

Tabla 5.6.- Contenido de agregado grueso para agregado fino natural o triturado

CONTENIDO APROXIMADO DE AGREGADO GRUESO CUANDO SE USA AGREGADO FINO NATURAL (N) O MANUFACTURADO (M). (PORCENTAJE TOTAL DEL AGREGADO POR VOLUMEN ABSOLUTO)

Tamaño Máximo nominal y el tipo de agregado grueso		Tipo Arena:	Módulo de Finura							
			2.4		2.6		2.8		3	
			N	M	N	M	N	M	N	M
6	150									
	Triturado		80	78	79	77	78	76	77	75
6	150									
	Redondeado		82	80	81	79	80	78	79	77
3	75									
	Triturado		75	73	74	72	73	71	72	70
3	75									
	Redondeado		77	75	76	74	75	73	74	72

Nota: Hormigón contenga 5 1/2 por ciento de aire contenido y una depresión de 2 in. (50 mm), ambas medida a la porción menor de 1 1/2 in. (37 mm). El contenido de agregado grueso antes mencionado se puede incrementar aproximadamente 1 o 2 por ciento, si se siguen bien los procedimientos de control. El contenido de agregado grueso de la tabla se refiere principalmente a la forma de las partículas en la porción menor a 1 1/2 in. (37,5 mm)

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 34)

Paso 9. – Se determina el volumen absoluto del total de agregados sustrayendo de la unidad de volumen los volúmenes absolutos de cada material calculados en el paso 7. Basado en el monto de agregados gruesos seleccionados en el paso 8, se determina el volumen absoluto del agregado grueso. El resto de los volúmenes absolutos representa la cantidad de agregados finos en la mezcla.

Paso 10. – Establecer la combinación deseada de los agregados gruesos separados en grupos por tamaño. Usando las clasificaciones individuales del agregado grueso, combinar todos los agregados gruesos en una clasificación uniforme aproximando las clasificaciones a los mostrados en la tabla 5.7 para el agregado de 6 pulgadas (150 mm) tamaño máximo nominal (NMSA) o de 3 pulgadas (75 mm) NMSA. El porcentaje de cada grupo de tamaño deberá ser redondeado para el porcentaje completo más cercano.

Tabla 5.7.- Granulometría para tamaños máximos nominales de 6 y 3 pulgadas

GRANULOMETRIA IDEAL PARA TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALDE DE 6 pulgadas (150mm) y 3 pulgadas (75mm)					
Tamaño Tamizado in. mm		6 in. (150 mm)		3 in. (75 mm)	
		Porcentaje pasante		Porcentaje pasante	
		Aplastado	Redondeado	Aplastado	Redondeado
6	150	100	100		
5	125	85	89		
4	100	70	78		
3	75	54	64	100	100
2	50	38	49	69	75
1 1/2	37.5	28	39	52	61
1	25	19	28	34	44
3/4	19	13	21	25	33
3/8	9.5	5	9	9	14

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 32)

Paso 11. – Convertir todos los volúmenes absolutos a peso por unidad de volumen de todos los ingredientes en la mezcla.

Paso 12. – Revisar el contenido del mortero. De los volúmenes absolutos calculados anteriormente, calcular el contenido del mortero y comparar los resultados con los valores dados en la tabla 5.5. Los valores en la tabla 5.5 proveerán una indicación de la trabajabilidad de la mezcla como se determina por el desempeño en el campo. La tabla 5.5 puede ser usado como una ayuda al hacer ajustes de la mezcla en laboratorio.

Tabla 5.8.- Agua para mezclado en hormigones con distinto revenimiento y agregado

VALORES APROXIMADOS DE AGUA PARA MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE REQUERIDOS EN DISTINTOS REVENIMIENTOS Y TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO

Agua (lb/yd ³) de mezclado para tamaños máximos nominales de agregado indicados								
Revenimiento (pulgadas)	3/8 pulg	1/2 pulg	3/4 pulg	1 pulg	1 1/2 pulg	2 pulg	3 pulg	6 pulg
Hormigón sin incorporación de aire								
1" a 2"	350	335	315	300	275	260	220	190
3" a 4"	385	365	340	325	300	285	245	210
6" a 7"	410	385	360	340	315	300	270	-
Más de 7" *	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Hormigón con incorporación de aire								
1" a 2"	305	295	280	270	250	240	205	180
3" a 4"	340	325	305	295	275	265	225	200
6" a 7"	365	345	325	310	290	280	260	-
Más de 7" *	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio recomendado del contenido total de aire en porcentaje, de acuerdo al nivel de exposición:								
Exposición Leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**	1**
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**	3**
Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**	4**

(Fuente: ACI 211.1-91, capítulo 6, página 8)

Tabla 5.9.- tamaño máximo nominal de agregado recomendado.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE AGREGADO RECOMENDADO PARA DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
CARACTERISTICAS	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL in. (mm)	
Sección de más de 7 1/2 in (190 mm) de ancho y en el cual la clara distancia entre barras de refuerzo se encuentra al mínimo 2 1/4 in. (57 mm)	1 1/2	37.5
Sección no reforzada mas de 12 in. (300 mm) de ancho y sección reforzada sobre 18 in. (457 mm) de ancho y en el cual la clara distancia entre barras de refuerzo es sobre 6 in. (150 mm) y menor de 10 in. (250 mm)	3	75
Secciones masivas en la cual la clara distancia entre barras de refuerzo es de al menos 10 in. (250mm) y adecuado para lo que se ha previsto la colocación de hormigón que contenga tamaños mayores de agregados sin la producción de rocas picadas u otros indeseables condiciones	6	150

(Fuente: ACI 211.1-91, apéndice 5, página 32)

Tabla 5.10.- Granulometrías para agregados gruesos.

TIPIICOS AGREGADOS GRUESOS, LIMITES DE GRADACION						
		Tamaño Separación				
		Porcentaje en peso pasante de los tamices				
		No. 4 a 8 in.	3/4 in. a 1 1/2 in.	1 1/2 in a 3 in.	3 in, a 6 in.	
		4,75 mm a 19 mm	19 mm a 37,5 mm	37,5 mm a 75 mm	75 mm a 150 mm	
Tamaño Separación						
in.	mm					
7	177					100
6	150					90 - 100
4	100			100		20 - 55
3	75			90 - 100		0 - 15
2	50		100	20 -55		0 - 5
1 1/2	37.5		90 - 100	0 - 10		
1	25	100	20 - 55	0 - 5		
3/4	19	90 - 100	0 - 15			
3/8	9.5	20 - 55	0 - 5			
No. 4	4.75	0 - 10				
No. 8	2.36	0 - 5				

(Fuente: ACI 211.1-91, capítulo 6, página 8)

5.2 Características de materia prima

Es conocido que un importante proveedor de hormigones en la ciudad de Guayaquil es la compañía Holcim, ésta utiliza áridos de machaqueo que proporciona Calcáreos Huayco; la base de las dosificaciones la conforman piedra y arena triturada.

5.2.1 Caracterización Geológica

La materia prima para la producción de áridos proviene de una formación geológica denominada San Eduardo, cuya presencia es frecuente en el flanco sur de la cordillera Chongón-Colonche, este material constituye, por su alto contenido de carbonato de calcio (entre 85 y 95 %), la materia prima también de cales y cemento.

El origen es sedimentario – marino y fue formada por la acumulación de micro fósiles los que se encuentran unidos por un cemento calcáreo que produce un material denso y de baja porosidad. Estas dos últimas características físicas del agregado imparten al material otras ventajas para la producción de hormigones de calidad.

5.2.2 Parámetros de ayuda

Se han realizado una extensa cantidad de ensayos de laboratorio a las materias primas que utiliza la productora de cemento, encontrando como parámetros de arranque para diseño de dosificación los siguientes:

En el Agregado grueso:

- Pérdida por abrasión de los Ángeles (ASTM C-131, gradación "A")= 20,0%
- Valor de trituración (BS-812.3)= 26,0%
- Resistencia a la compresión (ASTM C-42 probetas de 45x90 mm)= 200,5MPa
- Modulo de elasticidad (ASTM E-111 probetas de 45x90 mm)= 67,9 MPa
- Densidad saturada superficialmente seca (ASTM C-127)= 2.600 Kg/m³
- Absorción (ASTM C-127) piedra N° 67 = 2%
- Reacción álcali-agregado (barra de mortero ASTM C-1260) menor que 0,1%

La fuente de los datos adjuntos es trabajo del centro técnico del hormigón CTH, extracto del informe: característica de la caliza San

Eduardo producido por calcáreos Huayco para su utilización en hormigones hidráulicos producidos por Hormigones Rocafuerte Guayaquil, realizado en el año 2003.

Una cantidad importante de obras civiles realizadas en Guayaquil y sus alrededores ha utilizado por tradición la caliza como agregado para hormigón, con el transcurrir del tiempo se puede observar un excelente comportamiento de este material que se encuentra protegido por la pasta cementicia en el hormigón.

5.3 Casos Prácticos

Datos de referencia del caso: el hormigón va a ser requerido en la sub-estructura de un puente segmental, específicamente para el elemento zapata cuya dimensión de arista mínima es de 1,5 m.

Luego de la revisión de los planos estructurales se determina que el tamaño máximo del agregado recomendado es piedra de 19 mm debido a la cuantía de acero del elemento, se solicita un revenimiento de 22 cm $\pm$ 2 cm, las especificaciones del proyecto contemplan el uso de cemento tipo I con temperatura máxima de colocación 29°C, tiempo de fraguado 6 $\pm$ 2 horas, resistencia a los 28 días de 35 MPa.

Fotografía 5.1

**Figura 5.1.-** Muestra el armadura de la zapata, parte de la sub-estructura del puente.

Fuente: Compañía Consulsismica, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas

Los datos proporcionados por el laboratorio después de los ensayos se encuentran en la tabla 5.11:

Tabla 5.11.- Resultado de ensayos de laboratorio para agregados a utilizar en hormigones de zapatas.

	Densidad sss (Kg/m ³)	Volúmen m ³	Mezcla de A. Grueso	%		Mezcla de A. Fino	%		Mezcla Total	Modulos de finura	A. Grueso	A. Fino
Piedra caliza de 19mm	2608	0,163			59%				24,0%	7,00	4,16	
Piedra caliza de 12,5mm	2500	0,116	715	41	41%				16,0%	6,40	2,60	
Arena de Río Boliche	2645	0,198						50%	30,0%	2,30		1,15
Arena Homogenizada	2658	0,198				1050	59	50%	30,0%	3,90		1,95
Cemento Tipo I	3150	0,143								MF.	4,58	
Agua Helada potable	1000	0,04										
Hielo sin escamas	1000	0,12										
aire atrapado		0,025										
Total:		1,003										

(Fuente: Cortesía Sísmica Consultores, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas.)

Resumen de datos

- F'_c : 35 MPa
- Revenimiento: 22 cm
- Cemento: tipo I
- Tamaño máximo de agregado: 19 mm
- Temperatura máxima de colocación: 29 ° C
- Tiempo de fraguado: 6 horas

Luego de realizar el procedimiento indicado en los doce pasos que recomienda la norma, obtenemos los siguientes resultados:

- Relación agua / cemento: 0.36
- Densidad teórica del hormigón: 2375,97 Kg/m³

Se recomienda como medidas de control de temperatura el enfriamiento del agua de mezclado, reemplazar una porción de agua por hielo, Control de temperatura mediante termocuplas y enfriamiento posterior al vaciado.

Utilizar aditivos para disminuir el contenido de agua y aumentar la trabajabilidad.

La siguiente tabla muestra la dosificación por peso recomendada para el caso expuesto.

Tabla 5.12.- Peso de agregados para hormigón masivo a utilizar en zapata

Proporciones para 1m ³ de hormigón				
Piedra caliza de 19mm				425 kg
Piedra caliza de 12,5mm				290 kg
Arena de Río Boliche				525 kg
Arena de Río Guayas				0 kg
Arena Homogenizada				525 kg
Cemento	Tipo I			450 kg
Agua Helada	potable			40 lts
Hielo	en escamas			120 lts
Densidad 2375,972 kg/m ³				
Aditivos por peso de cemento	MBT	Poliheed RI	0,80 %Planta	3,6 kg
	MBT	Rheobuild 1000	1,00 %Obra	4,5 kg

(Fuente: Cortesía Sísmica Consultores, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas.)

Datos de referencia del caso: el hormigón va a ser requerido en la super-estructura de un puente segmental, específicamente para los elementos llamados segmentos de dovelas, luego de la revisión de los planos estructurales se determina que el tamaño máximo del agregado recomendado es piedra de 19 mm debido a la cuantía de acero del elemento, se solicita un revenimiento de 8 cm +/- 2 cm, las especificaciones del proyecto contemplan el uso de cemento tipo I con temperatura máxima de colocación 29°C, tiempo de fraguado 6 +/- 2 horas, resistencia 18 MPa a las 16 horas para desencofrar, a los 28 días de 45 MPa.

Fotografía 5.2

**Fotografía 5.2.-** Muestra la armadura de un segmento de dovela.

Fuente: Compañía Consulsismica, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas

Los datos proporcionados por el laboratorio después de los ensayos se encuentran en la tabla 5.13:

Tabla 5.13.- Resultado de ensayos de laboratorio para agregados a utilizar en hormigones de dovelas.

Materiales	Masa (seca) (kg)	Densidad (kg/lt)	Volumen (lt)	Masa (seca) (kg)	Humedad (%)	Absorción (%)	Masa (sss) (kg)	Agua Corregida (lt)
Cemento T1	473	3.10	153	16.08			16.08	
Agua	151	1.00	151	5.13				
Arena triturada	400.00	2.56	156	13.60	6.58%	3.00%	14.07	-0.47
Arena rio	489.00	2.70	181	16.63	8.73%	3.00%	17.55	-0.92
Grava(19mm)	533.00	2.60	205	18.12	3.42%	2.00%	18.37	-0.25
Grava de 12mm	355.00	2.60	137	12.07	0.99%	2.00%	11.95	0.12
Aire Incorporado	1.0%		10					
			1					
Sikament N-100	7.095	1.21	6	0.2412			0.2412	0.20
Sikament H-200	3.311	1.20	3	0.1126			0.113	0.09
	0	1.30	0	0.000			0.000	0.00
			1002	0.000				3.60

(Fuente: Cortesía Sísmica Consultores, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas.)

Resumen de datos

- F'c: 18 MPa a 16 horas, 45 MPa a 28 días
- Revenimiento: 8 cm
- Cemento: tipo I
- Tamaño máximo de agregado: 19 mm
- Temperatura máxima de colocación: 29 ° C
- Luego de realizar el procedimiento indicado en los doce pasos que recomienda la norma, obtenemos los siguientes resultados:
- Relación agua / cemento: 0.319
- Densidad teórica del hormigón: 2.411 Ton/m³

Se recomienda como medidas de control de temperatura el enfriamiento del agua de mezclado, reemplazar una porción de agua por hielo, estricto control durante el pesaje del agua (inadmisible hielo en escamas) y aditivos.

Utilizar aditivos para disminuir el contenido de agua y aumentar la trabajabilidad.

La tabla 5.14 muestra la dosificación por peso recomendada para el caso expuesto.

Tabla 5.14.- Peso de agregados para hormigón masivo a utilizar en dovelas

Volumen sin agregados (lt)	322.2	Densidad Medida	Tn/m3
Volumen de agregados(lt)	677.8	Densidad Teórica	2.411 Tn/m3
Densidad ponderada (agre)	5.24	Rendimiento Volumétrico	
Peso total agregados (kg)	3550		
Agua absorbida arena	12.0	A/C Final	0.319
Agua absorbida grava (1")	10.7	Agua Final	151
Agua absorbida grava (1 1/2")	7.1		

(**Fuente:** Cortesía Sísmica Consultores, proyecto: puente sobre el río Daule-Guayas.)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación del tema nos permite realizar las siguientes recomendaciones:

Para elaborar la dosificación se recomienda realizar una cantidad prudente de ensayos necesarios para conocer las características físicas y químicas de los agregados a utilizar en la obra.

El estudio de los componentes químicos y físicos del cemento son indispensables para poder seleccionar de manera correcta el tipo mas conveniente para nuestra obra.

Elaborar un plan de pruebas de dosificaciones de hormigón, para ratificar el comportamiento térmico de la mezcla.

Estas recomendaciones son aplicables en obras de magnitud considerables.

Para las obras pequeñas, es suficiente realizar pruebas con los distintos tipos de cemento enfocados en control del desarrollo de temperatura para elegir el sistema de control de temperatura más conveniente de acuerdo a las condiciones que genere el cemento elegido.

En definitiva el hormigón masivo puede llegar a ser una alternativa viable económicamente pues la disminución de la cantidad de cemento siempre redunda en el bajo costo, los costos iniciales de estudio de materiales a utilizar se puede recuperar con creces a lo largo de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute, Edición 1996, Estados Unidos
 - 116R Cement and Concrete Terminology
 - 201.2R Guide to Durable Concrete
 - 207.2R Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete
 - 207.4R Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete
 - 207.5R Roller Compacted Concrete
 - 209R Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures
 - 210R Erosion Resistance of Concrete in Hydraulic Structures
 - 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete
 - 212.3R Chemical Admixtures for Concrete
 - 221R Guide for Use of Normal Weight Aggregates in Concrete
 - 224R Control of Cracking in Concrete Structures
 - 226.1R Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete

- 226.3R Use of Fly Ash in Concrete
- 304R Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete
- 304.2R Placing Concrete by Pumping Methods
- 304.4R Placing Concrete with Belt Conveyors
- 305R Hot Weather Concreting
- 306R Cold Weather Concreting
- 309R Guide for Consolidation of Concrete
- American Society for Testing and Materials
 - C 94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete
 - C 125 Standard Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates
 - C 150 Standard Specification for Portland Cement
 - C 260 Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete
 - C 494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
 - C 595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements
 - C 618 Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete

- C 684 Standard Method of Making, Accelerated Curing, and Testing of Concrete Compression Test Specimens
 - C 989 Standard Specifications for Ground Iron Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
-
- Instituto Técnico del Hormigón, Informe Características de la caliza San Eduardo producida por calcáreos Huayco para su utilización en hormigones hidráulicos producidos por hormigones Rocafuerte Guayaquil, 2003.
 - Neville Adam M, "Tecnología del Hormigón", primera edición, 1999.
 - Orozco Chávez Víctor, Conferencia "Control de Calidad en Hormigones", 2005.
 - Terreros Carmen, "Materiales de Construcción", primera edición, 2005.
 - Videla C., Curso Dosificación de Hormigones Pontificia Universidad Católica de Chile, 2002.

ANEXOS

Anexo 1.- Propiedades del agregado que influyen en el hormigón

Propiedad Relativa del Agregado	Test Standard	Valores Típicos	Comentarios
Propiedad del Concreto - Durabilidad: Resistencia al congelamiento y descongelamiento			
Solidez Sulfato	ASTM C 88	Agregado Fino - 1 a 10% Agregado Grueso 1 a 12%	Sulfato de Magnesio da mayores porcentajes de pérdida que el sulfato de sodio, no hay resultados de pruebas que relacionen bien el desempeño de agregados en el hormigón
Resistencia al Congelamiento y Descongelamiento	ASTM C 666 Y CRD-C-114- Desempeño del agregado en el hormigón enfriado al aire con ciclos rápidos	Factor de durabilidad del 10 al 100%	Normalmente solo realizado para agregados gruesos ya que el fino no le afecta el congelamiento y/o descongelamiento del concreto de gran extensión; el resultado depende de las condiciones de humedad de los agregados gruesos y hormigón
	ASTM C 682 - Prueba de dilatación con congelamiento lento de un con hormigón con agregado	Prioridad de inmunidad al congelamiento desde 1 a más de 16 semanas	Resultado depende de condiciones de humedad del agregado y hormigón. Para especímenes que no llegan a la dilatación crítica en e periodo de prueba, no se puede dar un valor específico.
	AASHTOT 103 - Prueba de agregado no confinado en congelamiento y descongelamiento		Usado por algunos de los departamentos de transportes de los EE. UU. La prueba no esta muy estandarizada entre las agencias el resultado puede juzgar la calidad del agregado en un area regional
Absorción	ASTM C 127 - Agregado Grueso	0,2 a 4 %	Valores típicos son para agregados naturales. La mayoría de los agregados gruesos de la escoria de horno esta entre 4 y 6 %, el agregado fino alrededor de un por ciento menos
	ASTM C 128 - Agregado Fino	0,2 a 2 %	Algunos investigadores han encontrado una tendencia general a la durabilidad reducida de agregados naturales gruesos en hormigón expuesto a congelamiento y descongelamiento con absorción incrementada
Porosidad	Ninguno	1 a 10 % por volumen de agregado grueso	Porosidad - El ratio, usualmente expresado como un porcentaje del volumen de vacio de material contra el total del volumen del material incluido, incluido los vacios
Estructura de poro	Ninguno		Los métodos de instrucción del mercurio y absorción de gas y vapor pueden ser usadas para estimar los tamaños de los poros y el área de la superficie de los espacios porosos
Permeabilidad	Ninguno		Permeabilidad de los materiales agregados al aire o agua esta relacionada a la estructura de poro
Textura y Estructura y Litología	ASTM C 295 - Examinación Petrográfica	Un reporte cuantitativo del tipo de roca y minerales presentes	Estimacion de la resistencia del agregado al daño por congelamiento; tipos de partículas que pueden producir protuberancias o desintegraciones
Presencia de arcilla y finos	ASTM C 117 - Cantidad de Lavado	Agregado Fino - 0,2 a 6 % Agregado Grueso - 0,2 a 1 %	Cantidades grandes de material mas finos que el tamiz 75 um puede ser tolerado si está libre de minerales arcillosos. No incluye bolas de arcilla
	ASTM D 2419 - Equivalente de Arena	50 a 90 %	Usado unicamente para el agregado fino; la presencia arcilla activa puede incrementar la demanda de agua y disminuir el atrapamiento del aire.
Resistencia a la degradación	ASTM C 131 Y C 535	15 A 50 % de pérdidas	Estas pruebas imparten una buena idea del impacto del agregado como la abrasión; por lo tanto, los resultados no estan directamente relacionados al test de abrasion del concreto
	C 1137		Degradacion del agregado fino
Resistencia a la Abrasión	ASTM C 418 - Pulido con chorro de arena	Volumen de concreto removido por unidad de area	Estas pruebas son realizadas en muestras de hormigón que contienen el agregado que se va a investigar y puede proveer al usuario con una respuesta directa
	ASTM C 779 - Tres procedimientos	Profundidad de la erosión con el tiempo	No hay límite establecido. Este prueba provee diferencias relativas
	ASTM C 944 - Cortador Rotatorio	Cantidad de pérdida en el tiempo de corte	No hay límite establecido. Este prueba provee diferencias relativas
	ASTM C 1138 - Método debajo del agua	Perdida de abrasión contra el tiempo	
Indice de durabilidad	ASTM D 3744	Valores separados que son obtenidos para agregados finos y gruesos que el rango va de 0 a 100	Esta prueba fue desarrollada en California para indicar la resistencia hacia la producción de agregados finos similares a la arcilla cuando son agitados en la presencia del agua

Fuente: ACI 221R-96, capítulo 1, página 4

Propiedad Relativa del Agregado	Test Standard	Valores Típicos	Comentarios
Propiedad del Concreto - Durabilidad: Reactividad al agregado alcalino			
Reactividad del agregado	ASTM C 295 - Examinación Petrográfica	Presencia y cantidad de minerales potencialmente reactivos	Para trabajos de ingeniería realmente importantes. Prueba para la expansión potencial debido a la reactividad del agregado en exposición a la humedad y son generalmente conducidas usando todas las combinaciones de agregado de cemento esperados utilizar en el proyecto
	ASTM C 227 - Barra de la expansión de mortero	0,01 a 0,20 % o más despues de 6 meses	Ambos agregados finos y gruesos pueden ser probados. Los agregados gruesos tienen que ser aplastados a tamaño de agregado fino
	ASTM C 289 - Método Químico	Valores son puestos en un gráfico	El grado del riesgo de radioactividad de agregado alcalino está supuesto en la posición en los puntos del gráfico. Muchos agregados que reaccionan lentamente pasan esta prueba.
	ASTM C586 - Método del cilindro de roca	0,01 a 0,20 % o más despues de 6 metros	Usado para tener una idea preliminar de la reactividad potencial para carbonato - alcalino
	ASTM C 1105 - Prueba de la variación de longitud		Usado para determinare la susceptibilidad para la reacción de carbonato - alcalino
	Prueba del prisma de la aceleracion del concreto		Esta bajo el desarrollo del ASTM
Propiedad del concreto - Durabilidad: Resistencia al calentamiento y enfriamiento			
Coeficiente de la expansión térmica	CRD-C-125 - Partículas de los agregados	1,0 a 9,0 x 10 ⁻⁶ /F	Normalmente no es un problema para el concreto. FHWA a desarrollado un procedimiento para temperatura
Propiedad del concreto - Durabilidad: Resistencia al fuego			
Litología	ASTM C 295 - Examinación Petrográfica	Tipos de rocas y minerales presente	ACI 216R provee información y tabla rspectiva
Cantidad de agregado fino	ASTM C117 - Cantidad por lavado	F.A - 0,2 a 6 % C. A. - 0,2 a 1%	Toda material tamiz 75 um
Propiedad del concreto: Fuerza			
Fuerza de tensión	ASTM D 2936 - Núcleos de roca	300 - 2300 psi	En si, estas pruebas de fuerza no son normalmente efectuadas en agregados
Fuerza de compresión	ASTM D 2938 - Núcleos de roca	10,000 - 40,000 psi	
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Placa de Color No. 3 o menos	El Color con una solución de hidroxido de sodio (NaOH)
	ASTM C 87	85 A 105 %	Comparación de la fuerza con lavado de arena para remover orgánicos
Forma de la partícula	ASTM C 295 - Petrográfico	Aparición de partículas	Una variedad de las pruebas de las formas de partículas esta disponible. Ninguno es común para tener valores específicos
	ASTM D 4791 - Agregado Grueso	% plano o enlongado	
	CRD-C-120- Agregado fino	% plano o enlongado	
	ASTM D 3398	Indice de la forma de la partícula	Partículas mas angulares producen un mayor valor de indice
	ASTM C 29	38 a 50 %	NAA-NRMCA y otros tiene algunas pruebas para probar esto, uno esta bajo el desarrollo ASTM para agregado fino
Conglomerado de Arcilla y partículas desintegrables	ASTM C 142	0,5 A 2 %	Partículas empapadas que se deshacen entre los dedos
	CRD-C141 - Desgaste del agregado fino	Cantidad de agregados finos generados	Se utiliza una criba de pintura
	ASTM C 1137	Igual que el anterior	
Tamaño máximo	ASTM C 136 - Análisis de tamizado	1/2 a 6 in	

Propiedad Relativa del Agregado	Test Standard	Valores Típicos	Comentarios
Propiedad del concreto - Gradiente de Volumen			
Granulometría y módulos de finuras	ASTM C 136	Granulometría	
Módulos de elasticidad	Ninguna	1,0 - 10,0 x 10 ⁶ psi	
Presencia de finos	ASTM C 117	Ver arriba	Presencia de barro u otros agregados finos que pueden incrementar acortamiento por secado
Presencia de arcilla	ASTM D 2419	70 a 100 %	
Tamaño máximo	ASTM C 136	1/2 a 6 in	
Clasificación	ASTM C 136	Ver ASTM C 33	La clasificación puede afectar a la pasta de hormigón
Propiedad del concreto - Características Térmicas			
Coefficiente de la expansión térmica	CRD - C - 125	1.0 - 9.0 x 10 ⁻⁶ F	Para agregado grueso
Módulos de elasticidad	Ninguna	1.0 - 10.0 x 10 ⁶ psi	
Calor específico	CRD - C - 124		Para agregados y concreto
Conductividad	Ninguna		K = hcp - difusividad x calor específico x densidad
Disifusividad	Ninguna		h = k/cp = conductividad (específico x densidad)
Propiedad del concreto - Densidad			
Gravedad específica	ASTM C 127	1.6 - 3.2	
	ASTM C 128	1.6 - 3.2	
Forma de la partícula	ASTM C 295		Afecta la demanda de agua y maniobrabilidad
	ASTM D 4791		
	CRD - C - 120		
	ASTM C 1252		
	ASTMA D 3398		
Clasificación	ASTM C 136		
Módulos de finura	CRD - C - 104		
Módulos de finura	ASTM C 136	2.2 - 3.1	Para agregado fino
Tamaño máximo	ASTM C 136	3/8 - 6 in	Para agregado fino
Partículas ligeras	ASTM C 123	0 - 5 %	Más liviano que la gravedad específica 2.40; los valores de agregados naturales pueden ser mayores
Densidad	ACTM C 29	75 - 110 lb/ft ³	La cantidad compactada y seca en un contenedor de volumen conocido
Propiedad del concreto - Módulo de elasticidad			
Módulos de elasticidad	Ninguna	1.0 - 10.0 x 10 ⁶ psi	No es una prueba normal para los agregados
Coefficiente de Poisson		0.1 - 0.3	No es una prueba normal para los agregados
Propiedad del concreto - Capacidad de esfuerzo			
Capacidad de Esfuerzo	CRD - C 71		Para hormigón masivo
Propiedad del concreto - Propiedades de fricción del pavimento			
Tendencia a pulirse	ASTM D 3042		
	ASTM D 3319		
Dureza, litología	ASTM C 295 - Examinacion petográfica	Un reporte cuantitativo del tipo de roca y minerales presentes	Minerales duros en agregados finos y gruesos tienden a mejorar la resistencia a la abrasión y a mejorar las propiedades de fricción superficial en el pavimento
Textura de la superficie	ASTM C 295		La angularidad de la partícula y la textura de la superficie afectan la fricción superficial en climas húmedos
	ASTM C 295		
Forma de la partícula y textura	ASTM D 3398		

Propiedad Relativa del Agregado	Test Standard	Valores Típicos	Comentarios
Propiedad del concreto - Trabajabilidad de la mezcla fresca del hormigón			
Granulometría	ASTM C 136		
Módulo de finura	ASTM C 136 Y 125		
Forma de la partícula y textura	ASTM C 295		
	ASTM D 3398		
	ASTM D 4791		
	CRD - C - 120		
	ASTM C 1252		
Presencia de finos	ASTM C 117	0.2 - 6 %	Valor típico para agregado fino
		0.2 - 1.0 %	Valor típico para agregado grueso
Presencia de arcilla	ASTM D 2419	70 - 100 %	Presencia de arcilla y otros agregados finos pueden incrementar la cantidad de agua para la mezcla y disminuir la presencia de aire
Partículas desintegrables y degradables	CRD - C - 141		
	ASTM C 142		
Vacíos	ASTM C 29		Los vacíos entre las partículas pueden aumentar la angularidad
	ASTM C 1552		
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Color 1 o 2	Si está mas oscuro que la placa color 3 el material orgánico puede afectar como se asienta o contenido de aire atrapado
	ASTM C 87		
Hormigón - Consideración económicas			
Formas de la partícula y textura	ASTM C 295		
	ASTM D 3398		
	ASTM D 4791		
	CRD - C - 120		
	ASTM C 1252		
Clasificación	ASTM C 136		
Tamaño máximo	ASTM C 136		
Requerido por el proceso			
Características de elaborar el Hormigón	ACI 211		
Disponibilidad			

Fuente: ACI 221R-96, capítulo 1, página 4

Anexo 2.- Granulometría de agregados gruesos

Requerimientos granulométrico de Agregados Gruesos															
Tamaño No.	Tamaño Nominal (Tamices con Aberturas Cuadradas)	Cantidad de finos por cada tamiz de laboratorio (Aberturas Cuadradas)										Porcentaje de Masa			
		100 mm (4in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2in)	37,5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1in)	19 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 a 25,0 mm (2 a 1 in)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4,75 mm (2 a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 a 4,75 mm (1 1/2 a 3/4)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	37,5 a 4,75 mm (1 a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25,0 a 9,5 mm (1 a 1/2 in)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0 a 9,5 mm (1 a 3/8 in)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 a 4,75 mm (1 in. a No. 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19,0 a 4,75 mm (3/4 a 3/8 in)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,00 a 4,75 mm (3/4 in a No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 a 4,75 mm (1/2 in a No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 a 2,36 mm (3/8 in a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10		
89	9,5 a 1,18 mm (3/8 in a No. 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30		
9 ^A	4,75 a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)										100	85 a 100	10 a 40		
9 ^A : El agregado de Tamaño 9 está definido en Terminología C-125 como una agregado fino. Este agregado esta inculcido como agregado grueso cuando esta combinado con material No. 8 para crear un tamaño 89, el cual es un agregado grueso como esta definido en Terminología C-125, para crear un material de tamaño numero 89, que es un agregado grueso, tal como se define por la Terminología C-25															

^A: El agregado de Tamaño 9 está definido en Terminología C-125 como un agregado fino. Este agregado está incluido como agregado grueso cuando está combinado con material No. 8 para crear un tamaño 89, el cual es un agregado grueso como está definido en Terminología C-125 para crear un material de tamaño número 89, que es un agregado grueso, tal como se define por la Terminología C-25

Fuente: ASTM C-33, capítulo 4, página 4

Anexo 3.- Limite de sustancias dañina que afectan al hormigón

Tabla 3: Límites para Sustancias Dañinas y Requisitos de las Propiedades Físicas de los Agregados Gruesos para el Hormigón.

Designación de la Clase	Tipo o Localización de Construcción de Hormigón	Grumos de Arcilla y Partículas desintegrables	Pizarra (menor a 2,40 sp gr SSD)	Suma de Grumos de Arcillas, partículas desintegrables y pizarra (menos de 2,40 sp gr SSD)	Material fino de Tamiz 75 µm No. 200	Carbón y Lignito	Abrasión *A	Solides del Sulfato de Magnesio (5 ciclos)*S
REGIONES DE METEORIZACION GRAVE								
1S	Bases, cimientos, columnas y vigas no expuesto a la interperie	10			1,0 ^c	1	50	
2S	Pisos interiores sin revestimientos	5			1,0 ^c	0.5	50	
3S	Paredes de los Cimientos, muros contenedoras, muelles, estribos, pilares, vigas expuestas a la interperie	5	5	7	1,0 ^c	0.5	50	18
4S	Pavimentos, cubiertas de puentes de los barcos, autopistas, aceras, patios, pisos de garaje, pisos expuestos, bordillos, canales de Aguas	3	5	5	1,0 ^c	0.5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto	2	3	3	1,0 ^c	0.5	50	18
REGIONES DE METEORIZACION MODERADA								
1M	Bases, cimientos, columnas y vigas no expuestas a la interperie, pisos losas internas que esten cubiertas	10			1,0 ^c	1	50	
2M	Pisos interiores sin revestimientos	5			1,0 ^c	0.5	50	
3M	Paredes de los Cimientos, muros contenedoras, muelles, estribos, pilares, vigas expuestas a la interperie	5	7	10	1,0 ^c	0.5	50	18
4M	Pavimentos, cubiertas de puentes de los barcos, autopistas, aceras, patios, pisos de garaje, pisos expuestos, bordillos, canales de Aguas	5	5	7	1,0 ^c	0.5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto	3	3	5	1,0 ^c	0.5	50	18
REGIONES DE METEORIZACION INSIGNIFICANTE								
1N	Losas sujeta a la abrasión por el tráfico, puente para barcos, pisos, aceras, pavimentos	5			1,0 ^c	0.5	50	
2N	Todas las demás clases de hormigón	10			1,0 ^c	1	50	

Fuente: ASTM C-33, capítulo 4, página 3