



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Procedimientos
constructivos de elementos
de concreto**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Civil

P R E S E N T A

Luisa Villa Luna

DIRECTOR(A) DE TESIS

Ing. Heriberto Esquivel Castellanos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

INTRODUCCIÓN

Durante la historia de la humanidad la construcción ha sido de vital importancia, ya que esta ha permitido al ser humano no solo establecerse de manera sedentaria sino que gracias a esta estabilidad se ha facilitado la formación de poblaciones. Dichos asentamientos humanos han propiciado el desarrollo de la construcción proveyendo a la población de construcciones destinadas a mejorar la calidad de vida, estas construcciones están diseñadas para realizar actividades relacionadas con la residencia, educación, salud, acondicionamiento físico, ocio, entre otras.

Esta evolución en infraestructura ha originado el nacimiento de ciudades y como consecuencia de esto la activación de la economía del país, debido a la gran generación de empleos en todos los niveles, desde empresas inversoras, ingenieros, arquitectos, obreros y distintas clases de oficios.

De manera que cuando se piensa en materializar un proyecto de construcción, uno de los principales factores a considerar es la selección de los materiales, ya que estos garantizaran la durabilidad y el buen comportamiento de las estructuras. Actualmente, uno de los materiales más utilizados en el sector de la construcción es el concreto hidráulico.

Debido a su gran versatilidad, manejabilidad y durabilidad el concreto se ha convertido el material predilecto para la construcción. De manera destacada, la manejabilidad permite realizar estructuras con todo tipo de formas, por otra parte con un correcto diseño de mezcla de concreto existen estructuras con alta durabilidad capaces de ser expuestas a condiciones severas, como el congelamiento, deshielo, contacto con el agua, sin sufrir un desgaste alarmante.

Otra de las ventajas más destacadas que presenta el concreto, es que al ser un material de uso y conocimiento mundial, se ha fomentado todo tipo de investigación relacionada con este material, dando paso a descubrimientos de nuevas tecnologías que se encargan de potencializar sus propiedades y en algunos casos cuidar la economía del proyecto.

Para llevar a cabo una buena construcción no solo se debe hacer uso de los materiales con la mejor calidad posible sino que también, de manera imprescindible se debe llevar a cabo la correcta ejecución de todos los procedimientos constructivos relacionados con el proyecto. La buena práctica de dichos procesos no sólo incrementará el buen desempeño del concreto sino que afianzará la seguridad y buen comportamiento de las estructuras propias del proyecto.

Con el panorama anteriormente descrito, por parte del constructor, ya sea ingeniero civil o arquitecto, incrementa la necesidad de conocer a detalle estos dos temas fundamentales en materia de construcción: el concreto hidráulico y los procedimientos constructivos relacionados con este material. Siguiendo esta línea y como se menciona en el objetivo, el presente trabajo se desarrolla con el fin de que los alumnos que cursan la asignatura “Procedimientos Constructivos de Elementos de Estructuras” dispongan de material de apoyo con relación al tema “Procedimientos de construcción de elementos de estructuras de concreto”.

Con este objetivo como meta, el contenido de la presente tesis se divide en once capítulos que desarrollan los temas de interés anteriormente mencionados. A continuación, a manera de resumen se expone brevemente el contenido de cada capítulo.

Capítulo 1. Se inicia con la inmersión en materia del concreto hidráulico, se presentan de manera general los componentes, propios de la mezcla de concreto, sus respectivas propiedades y clasificación.

Capítulo 2. En dicho apartado, se exponen los requerimientos y recomendaciones generales con relación al manejo y almacenamiento de los componentes del concreto hidráulico, el principal objetivo de la correcta ejecución de estas prácticas es conservar las propiedades de los componentes antes de ser utilizados en la mezcla.

Capítulo 3. Como complemento al capítulo 1, en este capítulo se presentan los principales tipos, usos, aplicaciones y propiedades del concreto hidráulico, el conocimiento de la existencia de las variantes de este material amplía la gama de proyectos en los cuales puede ser utilizado, realizando una buena selección debido al conocimiento de las propiedades aptas para cada tipo de proyecto.

Capítulo 4. En este capítulo se presenta uno de los procesos con mayor importancia en el contenido del trabajo, el diseño de mezclas de concreto de acuerdo al método volumen absoluto desarrollado por el American Concrete Institute (ACI). Con la intención de proporcionar la información de manera detallada y así realizar el mejor posible proporcionamiento de mezcla, se incluyen temas como lo son las consideraciones previas, la procedencia de la información, especificaciones relacionadas con los cálculos y tablas. En este capítulo es necesaria la inclusión de contenido didáctico por lo que se incluye un ejemplo de proporcionamiento con fines demostrativos del procedimiento.

Capítulo 5. El proceso de mezclado del concreto hidráulico es dividido y clasificado de acuerdo a varias consideraciones, como lo son sitio de mezclado, equipo, continuidad del proceso, etc. También se incluyen especificaciones y consideraciones para evitar malas prácticas y afectaciones a la calidad final del concreto.

Capítulo 6. El presente apartado abarca los temas de procesos de transporte y colocación. Con relación al transporte se realiza una clasificación de acuerdo al tipo de movimiento que sufre el concreto a través de la maquinaria implementada para el traslado del material. Respecto a la colocación se expone una serie de representaciones gráficas para una mejor comprensión del procedimiento, aunque este se lleve a cabo por medio de distintos equipos y requieran diversas especificaciones.

Capítulo 7. En este, se incluyen los subtemas de consolidación, curado y acabado del concreto. Al igual que en los capítulos anteriores, en éste, para cada proceso se realiza una clasificación por metodología y el equipo o maquinaria que demanda cada procedimiento. De manera semejante al resto del contenido, se incluyen las especificaciones y recomendaciones adecuadas para cada metodología.

Capítulo 8. De manera superficial se presentan las principales condiciones y recomendaciones para los procesos no convencionales de construcción, como lo son los colados masivos, colados en

temperaturas extremas, colados bajo el agua, concretos compactados con rodillos o concreto lanzado.

Capítulo 9. De la variedad de juntas para la construcción, se exponen dos principales métodos de junteado: las juntas de colado y las de dilatación. El desarrollo de este apartado incluye principalmente la importancia de ambas juntas en el proceso constructivo, sus ventajas y algunas de las recomendaciones más importantes para la correcta implementación.

Capítulo 10. De manera breve se exponen los principales tipos de aditivos existentes en el mercado, así mismo en la descripción del producto se incluye una breve descripción de su composición. Sus principales aportaciones a las propiedades de la mezcla y las normativas por las cuales se encuentran regidos, también son materia de este capítulo.

Capítulo 11. Como penúltimo capítulo, se exponen las pruebas de control realizadas al concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. Las pruebas de control se realizan principalmente para asegurar la calidad y propiedades de la mezcla, mismas que afianzaran el buen desempeño de la estructura durante su vida de servicio. Las pruebas que se incluyen en este capítulo son de revenimiento, peso volumétrico, contenido de aire, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. En la descripción de dichas pruebas se incluyen el equipo necesario para realizarlas y las consideraciones previas y posteriores a los ensayos.

Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones emanadas de la realización de la presente tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
1. CONCRETO HIDRÁULICO	8
1.1. COMPONENTES DEL CONCRETO HIDRÁULICO	9
1.1.1. CEMENTO HIDRÁULICO.....	9
1.1.1.1. CLASIFICACIÓN.....	11
1.1.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	12
1.1.2. AGREGADOS PÉTREOS	13
1.1.2.1. CLASIFICACIÓN	14
1.1.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	16
1.1.3. AGUA	17
1.1.3.1. CLASIFICACIÓN.....	17
2. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS, CEMENTO Y AGUA	20
2.1. AGREGADOS	20
2.2. CEMENTO	22
2.3. AGUA.....	24
3. TIPOS, USOS, APLICACIONES Y PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO	25
3.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	25
3.2. TIPOS.....	30
3.3. USOS Y APLICACIONES	32
3.3.1. PROYECTOS	32
4. DISEÑO DE MEZCLAS DE ACUERDO AL MÉTODO ACI.	37
4.1. CONSIDERACIONES	37
4.1.1. RESISTENCIA.....	39
4.1.2. RELACIÓN AGUA – MATERIAL CEMENTANTE	39
4.1.3. AGREGADOS PETRÉOS	41
4.1.4. CONTENIDO DE AIRE.....	43
4.1.5. REVENIMIENTO	45
4.1.6. CONTENIDO DE AGUA.....	45
4.1.7. CONTENIDO Y TIPO DE MATERIAL CEMENTANTE.....	46
4.1.8. ADITIVOS.....	48

4.2.	PROCEDENCIA DE INFORMACIÓN.....	49
4.3.	CÁLCULOS.....	52
4.4.	EJEMPLO.....	54
5.	PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO	58
5.1.	MEZCLADO IN SITU	59
5.1.1.	MEZCLADO MANUAL	60
5.1.2.	MEZCLADO MECÁNICO	61
5.1.3.	MEZCLADO AUTOMATIZADO	64
5.2.	SUMINISTRO DE CONCRETO PREMEZCLADO.....	67
5.3.	MEZCLADO AUTOMATIZADO	67
5.4.	MEZCLADO MECÁNICO	72
6.	PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN	74
6.1.	TRANSPORTE	74
6.1.1.	MOVIMIENTO HORIZONTAL.....	76
6.1.2.	MOVIMIENTO VERTICAL	81
6.1.3.	MOVIMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.....	85
6.2.	COLOCACIÓN	93
7.	PROCEDIMIENTO DE CONSOLIDACIÓN, CURADO Y ACABADO.....	99
7.1.	CONSOLIDACIÓN.....	99
7.1.1.	CONSOLIDACIÓN MANUAL	99
7.1.2.	CONSOLIDACIÓN MECÁNICA.....	99
7.1.2.1.	VIBRACIÓN INTERNA	100
7.1.2.2.	VIBRACIÓN EXTERNA	104
7.2.	CURADO	108
7.2.1.	CURADO POR CONSERVACIÓN DE HUMEDAD	110
7.2.2.	CURADO POR REDUCCIÓN DE PÉRDIDA DE HUMEDAD	112
7.2.3.	CURADO ACCELERADO.....	114
7.2.4.	TIEMPO DE CURADO.....	118
7.3.	ACABADO	118
7.3.1.	ACABADO INICIAL.....	119
7.3.2.	ACABADO FINAL	120
8.	PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.....	125

8.1.	COLADOS MASIVOS.....	125
8.2.	COLADOS EN TEMPERATURAS EXTREMAS	126
8.3.	COLADOS BAJO EL AGUA.....	128
8.4.	CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	129
8.5.	CONCRETO LANZADO.....	130
9.	JUNTAS DE COLADO Y DILATACIÓN.....	132
10.	ADITIVOS MÁS COMUNES Y SUS EFECTOS	136
11.	PRUEBAS DE CONTROL	140
11.1.	PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO.....	142
11.1.1.	MUESTREO	142
11.1.1.1.	MUESTREO EN PRUEBAS RUTINARIAS	143
11.1.1.2.	MUESTREO GENERAL	143
11.1.2.	REVENIMIENTO	145
11.1.3.	PESO VOLUMÉTRICO (MASA UNITARIA)	149
11.1.4.	CONTENIDO DE AIRE.....	152
11.2.	PRUEBAS EN CONCRETO ENDURECIDO.....	156
11.2.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	156
11.2.1.1.	ESPECÍMENES	157
11.2.1.2.	CABECEO.....	159
11.2.1.3.	CONDICIONES NORMALES DE LA PRUEBA A COMPRESIÓN.....	160
11.2.2.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	166
11.2.2.1.	MÓDULO DE RUPTURA	168
11.2.2.2.	ESPECÍMENES	169
11.2.2.3.	CONDICIONES NORMALES DE LA PRUEBA A FLEXIÓN	171
12.	CONCLUSIÓN	175
	BIBLIOGRAFÍA	177

1. CONCRETO HIDRÁULICO

Se define al concreto hidráulico como una mezcla compuesta de un material cementante, agua, agregados (finos y gruesos) y en ocasiones aditivos y/o adiciones. Generalmente la pasta cementante (agua + cemento y algunas veces aire incluido) constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total de la mezcla. Por otra parte, la totalidad del agregado acapara del 60 al 75 por ciento del volumen total del concreto; por lo que la selección de estos es sumamente rigurosa. Los principales componentes del concreto (cemento, agua y agregados) serán descritos con mayor precisión en el subcapítulo 1.1.

El endurecimiento de la mezcla se debe a la reacción química del cemento con el agua, proceso llamado hidratación. Un concreto de buena calidad es caracterizado por la óptima adherencia de la pasta cementante a toda la superficie de cada partícula de los agregados, y la colocación de la pasta entre los espacios que generan las partículas de los agregados, con el objetivo de ocupar estos vacíos.

Otro de los factores con mayor influencia en la calidad final del concreto es la relación agua cemento, debido a que la resistencia final depende en gran medida de este factor, si la cantidad de agua es mayor a la necesaria, la resistencia disminuiría notablemente. Dicho de otra manera, la calidad del concreto mejora cuanto menos agua se emplee en la mezcla, hasta un límite.

Es importante mencionar que las propiedades físicas y químicas del concreto dependen directamente de las características químicas y mecánicas de los componentes, sin embargo el uso de aditivos puede ayudar a potencializar el desempeño de las propiedades de mezcla de concreto.



Imagen 1-1. Mezcla de concreto hidráulico.¹

¹ Costos SAC. (2016). EDIFICACIONES Importancia de aditivos para mezcla de concreto. Octubre 25, 2018, de Costos SAC
Sitio web: <http://www.costosperu.com/uncategorized/importancia-aditivos-mezcla-concreto/>

1.1. COMPONENTES DEL CONCRETO HIDRÁULICO

Como se mencionó en el capítulo 1, los componentes esenciales del concreto hidráulico son cemento, agua, agregados pétreos y en ocasiones se añaden aditivos.



Imagen 1-2. Componentes del concreto y su producción manual.²

La correcta integración de los componentes de la mezcla produce una masa plástica que se caracteriza por ser altamente manejable, con facilidad de transporte, colocación y compactación. Sin embargo, conforme avanza el tiempo, la masa de concreto se vuelve rígida hasta que se comporta como un cuerpo sólido endurecido.

El comportamiento y las propiedades de este material dependen directamente de la calidad y propiedades de los componentes, en particular, su compatibilidad para trabajar de forma conjunta. En los subcapítulos 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3 se detallan las características propias de cada componente ya mencionado.

1.1.1. CEMENTO HIDRÁULICO

De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 (Industria de la construcción-cementos hidráulicos-especificaciones y métodos de prueba) en este capítulo se presentan los requerimientos mínimos con relación al cemento hidráulico implementado en México.

Comúnmente llamado “cemento”, el cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado que al agregarle agua tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua,

² Proyectos de Casas. (2011). El Concreto y sus Características. Octubre 29, 2018, de Proyectos de Casas Sitio web: <https://proyectosdecasas.blogspot.com/2013/02/el-concreto-y-sus-caracteristicas.html>

en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido desarrolla su resistencia y conserva su estabilidad. Debido a que en México los cementos que se emplean para la elaboración de concreto son a base de Clinker portland, el desarrollo de este capítulo de enfoca en este cementante.

De manera general, el Clinker portland (Imagen 1-3) es elaborado a base de materias primas calizas y arcillosas, estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan hasta su homogeneización. El resultado de esta mezcla es llevado a hornos rotatorios donde el producto se calcina a temperaturas muy altas (1,400°C). La mezcla se mantiene en el horno hasta que surjan ciertas reacciones químicas que propician el aglutinamiento en partículas no mayores a 6 centímetros, a este producto se le denomina Clinker portland.

Finalmente el Clinker se muele con una porción de yeso, la cual regula el proceso de fraguado, este polvo grisáceo es al que se le conoce como cemento portland ordinario, Imagen 1-4. Adicionalmente el Clinker se puede mezclar con escoria o algún tipo de puzolana para obtener diferentes tipos de cemento. Sus componentes deberán seguir las limitaciones establecidas en la Tabla 1-1.



Imagen 1-3. Clinker.³



Imagen 1-4. Cemento portland ordinario.⁴

³ holly@qyresearch.com. (2018). Cement Clinker Market Forecast by 2025: QY Research. Octubre 25, 2018, de Newsofenergy Sitio web: <https://newsofenergy.com/cement-clinker-market-forecast-by-2025-qy-research/>

⁴ Alibaba.com. (s/f). Vietnamita de cemento con el mejor precio. Octubre 25, 2018, de Alibaba.com Sitio web: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/vietnamese-cement-with-best-price-50028161185.html>

Tabla 1-1. Componentes del cemento.⁵

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios (3)
		Clínker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos (2)	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95 - 100	---	---	---	---	0 - 5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50 - 94		6 - 50	---	---	0 - 5
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94		-	---	---	0 - 5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto(3)	50 - 94		60 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90 - 99		---	1 - 10	---	0 - 5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39		---	---	---	0 - 5

(1) Minoritarios: Deberán ser uno o más de los componentes principales representados en la tabla.

(2) Materiales puzolánicos: Incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.

(3) Cemento Pórtland Compuesto: Llevará como mínimo dos componentes principales, a excepción de cuando se adicione caliza, ya que ésta puede ser en forma individual o en conjunto con Clínker + yeso.

1.1.1.1. CLASIFICACIÓN

La clasificación del cemento se estructura en tres rubros, los cuales se mencionan en la Tabla 1-2 y la designación se deberá construir siguiendo la siguiente estructura:

- Se identifica el tipo de cemento y la clase resistente.
- Si el cemento presenta resistencia rápida a 3 días, se especificará con la letra R.

En caso de que el cemento adquiera alguna de las características especiales mencionadas anteriormente, se completará con la nomenclatura presentada en la tabla. Si se llegan a presentar dos o más características especiales la nomenclatura deberá seguir el orden descendente de la tabla y serán separadas por una diagonal.

⁵ ONNCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-414-ONNCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. México, Ciudad de México: 2004.

Tabla 1-2. Clasificación del cemento.⁶

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	20	RS	Resistente a los Sulfatos
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	30	BRA	Baja Reactividad Álcali agregado
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R	BCH	Bajo Calor de Hidratación
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	40	B	Blanco
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	40 R		---
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	---		---

1.1.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Siendo la Resistencia a compresión, el tiempo de fraguado y la estabilidad de volumen algunas de las principales características físicas del cemento, explicadas en el capítulo 1, deberán registrarse bajo los límites mostrados en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Especificaciones físicas del cemento.⁷

Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	máximo	Inicial mínimo	Final máximo	Expansión Máximo	Contracción Máximo
20	---	20	40	45	600	0.80	0.20
30	---	30	50	45	600	0.80	0.20
30 R	20	30	50	45	600	0.80	0.20
40	---	40	---	45	600	0.80	0.20
40 R	30	40	---	45	600	0.80	0.20

La química del cemento se refiere a las sustancias químicas más frecuentes dentro del material, las propiedades químicas se refieren a la resistencia que genera dicho componente ante ambientes o reacciones abrasivas ya explicadas anteriormente en el capítulo 1. De manera específica, para cada tipo de cemento se deberán seguir las limitantes asignadas para cada propiedad (Tabla 1-4).

⁶ ONNCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-414-ONNCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. México, Ciudad de México: 2004.

⁷ ONNCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-414-ONNCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. México, Ciudad de México: 2004.

Tabla 1-4. Propiedades químicas del cemento.⁸

Propiedades	Tipos de cemento	Especificación (% en masa)
Pérdida por ignición	CPO,CEG	Max 5%
Residuo insoluble	CPO,CEG	Max 5%
Sulfato (SO ₃)	Todos	Max 4%

Si el tipo de cemento llega a tener algún tipo de característica especial con relación a resistencia a los sulfatos, baja reactividad álcali-agregado, bajo calor de hidratación o algún colorante blanco, esta característica deberá cumplir las especificaciones de la Tabla 1-5.

Tabla 1-5. Especificaciones de los cementos con características especiales.⁹

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos (máx. %)	Expansión por la reacción álcali agregado (máx. %)		Calor de hidratación (máx.) kJ/kg (kcal/kg)		Blancura (mín. %)
			días		días		
			1 año	14	56	7	
RS	Resistente a los Sulfatos	0.10	---	---	---	---	---
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado	---	0.020	0.060	---	---	---
BCH	Bajo Calor de Hidratación	---	---	---	250 (60)	290 (70)	---
B	Blanco	---	---	---	---	---	70

1.1.2. AGREGADOS PÉTREOS

La presencia de los agregados pétreos (Imagen 1-5) juega un papel sumamente importante en la mezcla del concreto, debido a que proveen al concreto de su resistencia, durabilidad y comportamiento estructural. Las propiedades físicas, químicas y térmicas influyen directamente en sus propiedades. El uso de los agregados pétreos en la mezcla, no solo se debe a los grandes beneficios que aporta en la misma, sino que también su presencia se debe a los grandes ahorros en costos en la producción del concreto, ya que resulta más económico utilizar un mayor volumen de agregados pétreos que de cemento.

De manera precisa, los agregados son materiales granulares pétreos provenientes de minas, bancos de extracción, trituración de materiales o resultado de procesos industriales. Con relación a los agregados naturales, se sabe que sus propiedades provienen de la roca madre, propiedades:

⁸ ONNCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-414-ONNCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. México, Ciudad de México: 2004

⁹ ONNCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-414-ONNCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. México, Ciudad de México: 2004

químicas, minerales, descripción petrográfica, densidad, dureza, resistencia, estabilidad física y química, estructura de poro, color, tamaño de partícula, textura y absorción.

Los tamaños del agregado varían desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros; en toda mezcla de concreto existe la presencia de diversos tamaños de partículas, a esta distribución se le llama granulometría. Es importante mencionar que la clasificación principal de los agregados se da en agregado fino y agregado grueso.

Las arenas consideradas como el agregado fino tienen tamaños entre 0.075 mm y 5 mm y el agregado grueso comprende material entre 5 mm hasta 75 mm. Su clasificación se hace por medio de tamizado y la diferencia del agregado fino y grueso se da con el tamiz No. 4.

Todos los agregados destinados a la mezcla con cementantes para la elaboración de concretos y morteros deberán cumplir con las especificaciones descritas en las normas mexicanas NMX-C-111, NMX-C-077, NMX-B-231, NMX-C-030-0NNCCE, NMX-C-177, NMX-C-084, NMX C-170.



Imagen 1-5. Agregados pétreos.¹⁰

1.1.2.1. CLASIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente, los agregados poseen diversas características por las cuales pueden ser clasificados. Entre otras, dichas características se menciona a continuación.

- Composición mineralógica.
- Tipo de roca.
- Forma de la partícula.
- Textura.

Debido a alcance del presente trabajo, en este subcapítulo solo se describen dos de las principales clasificaciones en dichos materiales, por tamaño de partícula y por masa volumétrica.

A. Por tamaño de partícula

¹⁰ IMCYC. (s/f). AGREGADOS PARA CONCRETO. Octubre 25, 2018, de IMCYC Sitio web: <http://www.imcyc.com/laboratorio/index.php/laboratorio-de-concreto>

A.1. Agregado fino: Es el que se conoce comúnmente como arena y da paso a su granulometría por las cribas con abertura de 4.75 mm (malla No.4) y queda retenido en las cribas con abertura de 0.075 mm (malla No. 200).

A.2. Agregado grueso: Material utilizado con más frecuencia y conocido generalmente como grava, y su granulometría varía entre el límite inferior de cribado 4.75 mm en abertura (malla No. 4) y el límite superior de cribado con abertura de 75 mm (malla de 3 in).

B. Por masa unitaria o masa volumétrica

B.1. Ligero: Aquellos que en contribución con la pasta cementante generen concretos con masa unitaria menor a 1,900 kg/m³.

B.2. Normal: Aquellos que en contribución con la pasta cementante generen concretos con masa unitaria de entre 1,900 kg/m³ y 2,400 kg/m³.

B.3. Pesado: Aquellos que en contribución con la pasta cementante generen concretos con masa unitaria mayor a 2,400 kg/m³.

Los límites de granulometría tanto para agregado grueso como para agregado fino se muestran en las imágenes Imagen 1-6 e Imagen 1-7.

Criba mm (malla No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9,5 (3/8")	100
4,75 (No. 4)	95 - 100
2,36 (No. 8)	80 - 100
1,18 (No. 16)	50 - 85
0,600 (No. 30)	25 - 60
0,300 (No. 50)	10 - 30
0,150 (No. 100)	2 - 10

Imagen 1-6. Límites de granulometría para agregado fino.¹¹

* Para el módulo de finura: $2.30 < \text{Módulo de finura} < 3.10$

* El retenido parcial en cualquier criba no deberá ser mayor a 45%. Con excepciones en: Malla No. 50 con 95% y malla No. 100 con 100%, siempre que el contenido del cemento usado en el concreto con aire incluido sea mayor que 240 kg/m³ o en el concreto sin aire incluido sea mayor a 300 kg/m³, o para compensar la deficiencia de material que pase por estas cribas se deberá adicionar algún cementante.

En el caso de que ambos agregados, finos y gruesos, se pretendan usar en la mezcla para concreto y no cumplan con las tolerancias indicadas deberá realizar el ajuste en el proporcionamiento del concreto (capítulo 4) para compensar las deficiencias granulométricas, así como demostrar que el concreto elaborado tiene el comportamiento adecuado.

¹¹ ONNCCE. (2014). NORMA MEXICANA NMX-C-111-ONNCCE-2014 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO. México, Ciudad de México: ONNCCE.

Tamaño nominal, mm (Pulg)	100 4"	90 3 1/2"	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12,5 1/2"	9,5 3/8"	No 4 4,75	No 8 2,36	No 16 1,18
90,0 a 37,5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
63,0 a 37,5 (2 1/2" a 1 1/2")	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
50,0 a 25,0 (2" a 1")	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
50,0 a 4,75 (2" a No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---
37,5 a 19,0 (1 1/2" a 3/4")	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
37,5 a 4,75 (1 1/2" a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---
25,0 a 12,5 (1" a 1/2")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---
25,0 a 9,5 (1" a 3/8")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---
25,0 a 4,75 (1" a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
19,0 a 9,5 (3/4" a 3/8")	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---
19,0 a 4,75 (3/4" a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---
12,5 a 4,75 (1/2" a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
9,5 a 2,36 (3/8" a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Imagen 1-7. Límites granulométricos para agregado grueso.¹²

1.1.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Como se mencionó anteriormente, las propiedades tanto físicas como químicas del agregado dependen exclusivamente de las propiedades de la roca madre de donde se sustrajo. En el caso de agregados artificiales se puede estudiar la influencia del método y proceso de fabricación. A continuación, en la Tabla 1-6, a manera de resumen en la se exponen solo algunas de las propiedades más importantes de los agregados.

Tabla 1-6. Principales propiedades de los agregados

Característica	Significado o importancia	Requisito en la especificación.
Resistencia a la abrasión y degradación	Principal indicador de la calidad del agregado	Máximo porcentaje de pérdida
Resistencia a la congelación y deshielo	Estructuras sujetas al intemperismo	Número máximo de ciclos

¹² ONNCE. (2014). NORMA MEXICANA NMX-C-111-ONNCE-2014 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO. México, Ciudad de México: ONNCE.

Tabla 1-7. Principales propiedades de los agregados (Continuación 1)

Característica	Significado o importancia	Requisito en la especificación.
Estabilidad química	Resistencia y durabilidad ante escenarios abrasivos	Máxima dilatación de la capa de mortero. Los agregados no deberán reaccionar con los álcalis del cemento
Forma de la partícula y textura superficial	Manejabilidad del concreto fresco	Porcentaje máximo de partículas esféricas, puntiagudas, etc.
Granulometría	Manejabilidad del concreto fresco	Porcentaje máximo y mínimo que pasa por las cribas estándar
Peso volumétrico unitario	Dato importante para el diseño de mezcla de acuerdo a cada proyecto	Peso unitario máximo o mínimo
Peso específico	Dato importante para el diseño de mezcla de acuerdo a cada proyecto	
Absorción y humedad superficial	Control de calidad del concreto	
Contenido de vacíos no compactado del agregado fino	Manejabilidad del concreto fresco	Contenido de vacíos no compactado del agregado fino

1.1.3. AGUA

Componente encargado de generar las reacciones químicas del material cementante empleado. Como se especifica más adelante, la recomendación es el uso de agua potable, es decir la destinada para el consumo humano. Las especificaciones, para el agua utilizada en lo relacionado a la elaboración del concreto, mencionadas en este apartado son provenientes de la norma mexicana NMX-C-122-ONNCCE-2004.

1.1.3.1. CLASIFICACIÓN

Principalmente se tienen dos usos para el agua en la elaboración de concreto:

A. Mezclado

Inmediatamente al entrar en contacto con el cemento se inicia el proceso de hidratación dando paso al fraguado del elemento y por consiguiente al desarrollo de la resistencia (compresión o flexión) del mismo. El agua empleada para la mezcla de concreto debe cumplir con las siguientes características.

- El agua deberá ser debidamente dosificada.
- Se permitirá el uso de hielo cuando así se requiera.
- Se permitirá el uso de agua potable para la mezcla de concreto.
- El agua no potable podrá ser utilizada, bajo ciertas especificaciones.

- Cuando el agua empleada para la mezcla no sea 100% potable y resulte combinada, durante su producción se deberán seguir las siguientes especificaciones, Tabla 1-8.
- Se podrá hacer uso de agua de mar únicamente si la estructura carece de acero de refuerzo.

Tabla 1-8. Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.¹³

	Límites	Métodos de ensayo
Máxima concentración en el agua de mezcla combinada, ppm		
A. Cloruro como Cl; ppm		
1) En concreto pro esforzado, tableros de puentes u otros usos designados.	500	ASTM C114
2) Concreto reforzado en ambientes húmedos o conteniendo inserciones de aluminio o de metales disimiles o con formaletas de metal galvanizado que permanecen en el lugar.	1,000	ASTM C114
B. Sulfato como SO ₄ , ppm	3,000	ASTM C114
C. Álcalis como (Na ₂ O + 0.658K ₂ O), ppm	600	ASTM C114
D. Sólidos tales por masa, ppm	50,000	ASTM C1603

B. Curado

Proporcionar al elemento la humedad necesaria y pertinente para un buen desarrollo de la resistencia (capítulo 7).

La existencia de impurezas en el agua tiene varios efectos entre los cuales se pueden mencionar la interferencia en la hidratación del cemento, el retraso o aceleración el fraguado, la disminución en la resistencia, presencia de manchas en el concreto, reacciones expansivas y corrosión en el acero de refuerzo; por lo que para la presencia de sustancias perjudiciales, las aguas que pretendan utilizarse en el proceso de elaboración de concreto deberán mantenerse dentro de los límites de la Tabla 1-9.

¹³ COGUANOR. (s/f). NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA. Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. Guatemala: COGUANOR.

Tabla 1-9. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas.¹⁴

Sales e Impurezas	Cementos ricos en calcio Límites en p.p.m	Cementos sulfo-resistentes Límites en p.p.m
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2,000	2,000
En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50,000	35,000
Cloruros como CL (a)		
Para otros con acero de pre-esfuerzo y piezas de puente	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1,000 (c)
Sulfato como SO ₄ =(a)	3,000	3,500
Magnesio como Mg ++ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃	600	600
Dióxido de carbono disuelto, como CO ₂	5	3
Álcalis totales como NA +	300	450
Total de impurezas en solución	3,500	4,000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5

Por otra parte en lo que respecta al agua utilizada en lavado del interior de las revolvedoras en camión, podrá ser utilizada posteriormente, siguiendo las especificaciones de la Tabla 1-10, para el proceso de mezclado del concreto.

¹⁴ ONNCCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-122-ONNCCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGUA PARA CONCRETO - ESPECIFICACIONES. México, Ciudad de México: ONNCCE.

Tabla 1-10. Límites químicos opcionales para el agua de lavado.¹⁵

Concepto Requisitos químicos	Límites de concentración máxima en el agua de mezclado, mg/l (ppm)
Cloruros como Cl. Concreto reforzado en ambiente húmedo o que haya elementos ahogados de aluminio o de metales disímiles o que estén en contacto con cimbras de metal galvanizado.	1,000
Concreto presforzado.	500
Sulfatos como SO ₄ .	3,000
Álcalis totales.	600
Sólidos totales.	50,000

2.MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS, CEMENTO Y AGUA

2.1. AGREGADOS

Durante la descarga y colocación de los agregados pétreos transportados por camión (generalmente de volteo), puede presentarse el fenómeno de dispersión no uniforme de granulometría, mejor conocido como segregación. Esta situación presenta un problema ya que la mala repartición de tamaños de partículas puede afectar el resultado final de las propiedades de la mezcla de concreto (trabajabilidad, resistencia, etc.).

La colocación del agregado en el destino de almacenamiento también deberá evitar la degradación y contaminación del material. El almacenamiento del agregado se realizara preferentemente en un sitio provisto de un área plana y nivelada considerando una pendiente para el escurrimiento del agua, en caso de que el agregado sea lavado. El agregado pétreo se colocará de manera que forme una pequeña o mediana montaña (Imagen 2-1), cada capa del montículo deberá ser del mismo espesor y tendrá que ser totalmente uniforme. Se deberá evitar la formación de pilas cónicas altas y la descarga desde grandes alturas, ya que estas malas prácticas causan segregación. Una vez colocado el agregado en montículos su manejo se hace a través de cargadores frontales (Imagen 2-2).

¹⁵ ONNCCE. (2004). NORMA MEXICANA NMX-C-122-ONNCCE-2004 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGUA PARA CONCRETO - ESPECIFICACIONES. México, Ciudad de México: ONNCCE.



Imagen 2-1. Montículos de agregado fino y grueso.¹⁶



Imagen 2-2. Manejo de agregados con cargador frontal.¹⁷

La descarga y colocación de agregados triturados causa una menor segregación en comparación con la descarga de los agregados de forma redondeada. De igual manera los agregados de mayor tamaño causan una mayor segregación en comparación con los agregados de menor tamaño. Un método efectivo para evitar la segregación del agregado grueso es la formación de montículos por fracción de tamaño de partícula, para posteriormente dosificar por separado.

Si los agregados han sido previamente lavados antes de su colocación, deberán ser colocados en el lugar de almacenamiento con antelación antes de su uso, ya que verán drenarse para alcanzar una humedad uniforme. Es importante mencionar que el agregado fino húmedo tiene menos a

¹⁶ Trituradora el Junco. (s/f). GRAVA DE 1 ½". Octubre 29, 2018, de Trituradora el Junco Sitio web: <http://www.trituradoraeljunco.com.mx/> y Dismet. (s/f). Planta de trituración de 350TPH, Chicoral, Tolima. Octubre 29, 2018, de Dismet Sitio web: <https://www.dismet.com/portfolio/planta-trituracion-350tph-chicoral/>

¹⁷ CONCRETOS PREMEZCLADOS DE SABINAS SA DE CV. . (s/f). Producimos más rápido gracias nuestra planta de agregados. Octubre 29, 2018, de CONCRETOS PREMEZCLADOS DE SABINAS SA DE CV. Sitio web: <https://www.concretospremezcladosdesabinas.com/planta-de-agregados>

segregar que en estado seco. En general para el agregado fino, ya sea en estado seco o húmedo, se deberá evitar la volatilidad del material debido a las corrientes de aire.

Con relación a las herramientas de apoyo para la división de montículos de agregados, se recomienda el uso de mamparas provistas de la suficiente altura para evitar la mezcla de los agregados. Se deberá evitar cualquier tipo de tránsito sobre los montículos de agregado, en situaciones excepcionales solo se permitirá el tránsito sobre tablas acondicionadas en la montaña de material.

En casos de climas extremos o cuando el agregado se mantenga retenido por un período prolongado, se podrá instalar alguna malla o lona protectora para evitar daños al material.

2.2. CEMENTO

El almacenamiento no se puede efectuar durante un período indefinido de tiempo, este material siempre deberá estar protegido de la humedad (incluida la humedad en el aire). La vida de almacenamiento en contenedores herméticos es mucho mayor. La vida de almacenamiento del cemento en sacos de papel es mucho más limitada.

A continuación se enlistan las recomendaciones para un buen almacenaje y manejo de cemento en sacos.

- La posibilidad de que el cemento tenga la humedad al finalizar su etapa de producción es la nula. Cada lote es sometido a rigurosos ensayos para verificar su conformidad y garantizar las propiedades del producto. Sin embargo, durante su transporte hay distintos puntos críticos que presentan fácil solución.
- Si llueve no puede retirarse la cobertura ni realizar operaciones de descarga.
- Durante el trayecto de transporte tiene que ser cubierto con una capa impermeable para prevenir la acción de la lluvia y del aire húmedo. Dentro del transporte los sacos deberán reposar en tarimas aislantes (Imagen 2-3).



Imagen 2-3. Transporte de sacos de cemento.¹⁸

¹⁸ Ancona, A. & Cruz, J. L.. (2013). Interceptan cargamentos de cemento en Tlaxcala. Octubre 19, 2018, de DEMOS, Desarrollo de Medios, S.A. de C.V. Sitio web: www.c.com.mx/2013/06/06/estados/032n1est y Laines, J.L.. (2010).

- La descarga de los sacos de cemento en obra deberá de realizarse en un lugar seco y de ser posible techado, Nunca deben colocarse directamente en el suelo. Si existe humedad en el ambiente se deberá colocar un plástico para protegerlos.
- El responsable debe llevar control de los sacos almacenados, deberán ser consumidos conforme a su recepción, los primeros en entrar serán los primeros en salir.
- A temperaturas menores a 10°C reducir el período de almacenamiento, antes de ser utilizado se recomienda verificar que el cemento no tenga grumos antes de su uso.
- Siempre hay que respetar la cantidad máxima de sacos por pila, para evitar la compactación del cemento. Si el producto será almacenado menos de 60 días, se recomienda evitar el apilar más de 10 sacos y para períodos mayores no deben apilarse más de 7.
- En el sitio de almacenaje, los sacos de cemento deberán colocarse sobre tarimas de madera para evitar que la humedad del piso se traspase al producto.
- Los sacos de cemento deben ser apilados juntos para minimizar la circulación de aire entre ellos (Imagen 2-4).



Imagen 2-4. Almacenamiento de sacos de cemento.¹⁹

- Una vez que los sacos se dejan apilados deberán ser cubiertos con una capa impermeable para prevenir la humedad del aire o de cualquier otro factor externo (Imagen 2-5).

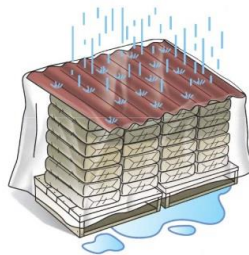


Imagen 2-5. Protección contra la humedad del cemento.²⁰

Entrega de apoyos a la vivienda en las zonas rurales de Tenosique. Octubre 29, 2018, de Blogspot Sitio web: <http://balancanoticias.blogspot.com/2010/05/entrega-de-apoyos-la-vivienda-en-las.html>

¹⁹ Distribuidora de Materiales VIDIMAT, S.A de C.V.. (s/f). Productos. Octubre 29, 2018, de Distribuidora de Materiales VIDIMAT, S.A de C.V. Sitio web: <http://www.vidimat.com/>

²⁰ PROCRETO. (s/f). Almacenamiento adecuado del cemento.. Octubre 29, 2018, de Pinterest. Sitio web: <https://www.pinterest.at/pin/804244445929993645/>

- Si los sacos de cemento son almacenados en un lugar cerrado, tendrán que colocarse a una distancia mínima de las paredes más próximas. Las puertas y ventanas tendrán que ser cerradas (Imagen 2-6).

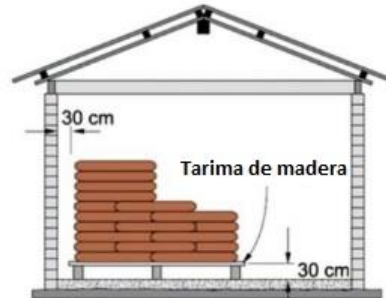


Imagen 2-6. Distancias mínimas para el almacenaje del cemento.²¹

- Para un mejor control es importante revisar la fecha y hora de envasado de los sacos de cemento.
- Por ningún motivo se deberá utilizar el cemento hidratado por traspaso de humedad. Se deberá revisar cada saco antes de ser utilizado. Se eliminarán los grumos a través de tamizado y se tendrán que realizar las pertinentes pruebas de resistencia.
- Si el cemento se humedece antes de tiempo corre el riesgo de perder su consistencia y resistencia y de esta manera afectar seriamente la construcción.
- Si se realiza la mezcla con el cemento inicialmente seco, los enlaces con el resto de los agregados se darán de forma adecuada y se tendrá como resultado una mezcla homogénea con la resistencia deseada, menos permeable y de mayor duración.

La mezcla con el cemento hidratado por humedad no deseada, las reacciones químicas se generan antes de tiempo y de esta manera no puede volver a reaccionar dentro de la mezcla por consiguiente no se generan los enlaces deseados con los agregados y esto resulta en una mezcla heterogénea, de poca durabilidad y con deficiencias en la resistencia.

2.3. AGUA

Con el fin de no afectar su desempeño en la mezcla de concreto, se deberán seguir las siguientes recomendaciones.

- Para su transporte o almacenamiento se utilizarán contenedores fabricados con materiales no corrosivos, que no permitan filtraciones ni paso de luz. Deberán ser contenedores herméticos provistos de ventilación y que eviten el paso de sustancias nocivas.

²¹ Deskgram. (s/f). Recomendación para el almacenamiento de cemento en obra.. Octubre 29, 2018, de Deskgram Sitio web: <https://deskgram.net/explore/tags/academiaparaingenieros>

- Se recomienda que el almacenaje no sea mayor a 40 días, si el agua se emplea para la mezcla bajo estas condiciones se deberá comprobar que se cumplan los requerimientos solicitados.
- Si el depósito es de concreto, el agua queda almacenada más de 50 días, el contenedor tendrá que ser lavado debidamente antes de volver a ser utilizado. De manera rutinaria, se realizara limpieza del contenedor cada 60 días como máximo. Si el agua no permanece estática, la limpieza del contenedor se podrá realizar cada 6 meses.
- Si el contenedor es de plástico con 5 metros cúbicos de capacidad, la limpieza del contenedor se realizara cada 6 meses como máximo. Si el agua no permanece estática, la limpieza del contenedor se realizara al menos cada 20 días.

Si el depósito es de metal su limpieza se realizara cada 10 meses como máximo.

3.TIPOS, USOS, APLICACIONES Y PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO

3.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

De acuerdo a la descripción de concreto hidráulico presentada anteriormente y conforme a la introducción de los procesos que lo rodean, se puede deducir que las propiedades químicas y físicas del concreto hidráulico dependen directamente de las propiedades que presenten sus componentes, las cuales fueron expuestas en el subcapítulo 1.1.

La buena respuesta de las propiedades físicas y químicas de los componentes da como producto una serie de propiedades en el concreto que integran los medios de protección del mismo para no ser perjudicado ante escenarios adversos. Si se logra el buen desempeño de las propiedades mayor será el buen servicio potencial de las estructuras.

Las propiedades físicas son las que se encuentran relacionadas con la respuesta ante el comportamiento estructural y variaciones fenomenológicas del proyecto. Las propiedades químicas son las responsables de tolerar los agentes abrasivos originados por reacciones entre los componentes, presencia de sustancias o gases nocivos de diversa índole.

Las consecuencias de las deficiencias en las distintas propiedades del concreto se manifiestan como agrietamiento, deformación, abrasión, erosión, cavitación, fallas estructurales, descostramientos, falta de adherencia, porosidad, corrosión, desintegración, cambios de color, carbonatación, entre otras. A continuación se menciona la naturaleza de algunas de las principales propiedades resistentes del concreto hidráulico.

A. Resistencia mecánica (compresión y tensión)

Característica mayormente identificada debido a su importancia en el diseño de la estructura. Las resistencias de compresión y tensión tienen influencia directa en la capacidad de carga en las estructuras. Es la propiedad que se mide con mayor facilidad, los resultados de su prueba pueden ser indicador de otras propiedades. Un error común es relacionar directamente la calidad final del concreto con la resistencia mecánica. Estas propiedades se explican más a detalle en el capítulo 11.

B. Deformación bajo carga (módulo de elasticidad, relación de Poisson, fluencia)

Característica directamente relacionada a los cambios de forma y dimensiones en el concreto debido a fuerzas externas (cargas y sollicitaciones) o internas (producidas por condiciones ambientales o reacciones químicas).

Las pruebas designadas a esta propiedad determinan la evolución de las deformaciones respecto a las cargas aplicadas con el fin evaluar el comportamiento del concreto.

C. Adherencia con el acero de refuerzo

De la buena o mala respuesta de esta propiedad dependen la posible presencia de agrietamientos en la estructura y las probables deflexiones una vez agrietada. Se evalúa con el esfuerzo medio de adherencia que desarrolla el concreto con la varilla de refuerzo, cuando a esta se le aplica una fuerza de tensión capaz de producir el deslizamiento de la mezcla.

D. Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)

Esta propiedad se encarga de responder ante los cambios volumétricos manifestados como expansiones o contracciones. Generalmente causadas por origen mecánico o químico. Los cambios volumétricos generados por reacciones químicas perjudiciales para el material, dichas reacciones pueden ser ocasionadas por factores internos o externos a la mezcla, estos eventos ocasionales que deterioran el concreto a temprana edad.

Los cambios volumétricos de origen físico (fenomenológico) normalmente se atribuyen a cambios de temperatura y humedad. Es importante reafirmar que los cambios ocasionados por las cargas y sollicitaciones se identifican exclusivamente como deformaciones.

E. Resistencia a la congelación y deshielo

Propiedad capaz de resistir los cambios de temperatura hasta llegar por debajo del punto de congelación del agua. Esta exposición puede ocasionar deterioro prematuro en el concreto. Las presiones internas son las consecuencias directas del congelamiento del agua dentro de los poros del concreto.

Se encuentra que el daño por congelamiento se manifiesta solamente si el fenómeno se presenta con frecuencia. El contenido de agua necesario para que la congelación produzca daños se define por un grado de saturación crítico.



Imagen 3-1. Agrietamiento en el concreto por presencia de contracciones.²²

F. Resistencia a la congelación y deshielo

Propiedad capaz de resistir los cambios de temperatura hasta llegar por debajo del punto de congelación del agua. Esta exposición puede ocasionar deterioro prematuro en el concreto. Las presiones internas son las consecuencias directas del congelamiento del agua dentro de los poros del concreto.

Se encuentra que el daño por congelamiento se manifiesta solamente si el fenómeno se presenta con frecuencia. El contenido de agua necesario para que la congelación produzca daños se define por un grado de saturación crítico.

G. Resistencia al ataque de sulfatos

La importancia de esta propiedad suele recaer en la selección del cementante y la relación agua-cemento, ya que en contacto con los sulfatos contenidos en el agua o suelo, generan reacciones químicas que afectan negativamente al concreto. Entre más alta sea la concentración de los sulfatos incrementa la agresividad potencial al concreto.

Son dos las reacciones con mayor impacto, la primera con el hidróxido de calcio que se libera en la hidratación de la mezcla; y la segunda con los compuestos hidratados provenientes del aluminato tricálcico propio del cemento. El producto de ambas reacciones supera en volumen a los componentes reactivos, lo que ocasiona que al ser mayor el volumen no se logre el acomodo dentro de los poros del concreto. Como consecuencia se generan esfuerzos de tensión que microfisuran al concreto para después desintegrarlo gradualmente.

H. Resistencia a la permeabilidad

Propiedad resistente a la facilidad de penetración de un fluido (líquido o gaseoso). Para el concreto los dos fluidos de interés son el agua y el aire, ya que son con los que está comúnmente en contacto. La permeabilidad del aire es de gran interés ya que este fenómeno propicia la

²² Blogspot. (2010). GRIETAS EN LOS PISOS. Octubre 25, 2018, de Blogspot Sitio web: <http://enconcreto-mf.blogspot.com/2010/01/grietas-en-los-pisos.html>

carbonatación y sus subsecuentes consecuencias, como las contracciones en el concreto y la corrosión del acero de refuerzo. El interés es mayor con relación a la permeabilidad del agua, debido a la gran existencia de estructuras hidráulicas, las afectaciones de este fenómeno se encuentran principalmente en la corrosión del acero de refuerzo y el prematuro deterioro del concreto.

I. Protección al acero de refuerzo contra la corrosión

El acero de refuerzo puede ser corroído por algún ataque químico directo, sin embargo la mayoría de veces su corrosión se ocasiona por la generación de celdas electrolíticas que son generadas por la diferencia de potencial electroquímico a lo largo de la misma varilla de acero.

Las afectaciones al concreto se ven reflejadas en la adherencia acero-concreto, debido a estas circunstancias se degradan las propiedades mecánicas del elemento por consiguiente su capacidad de trabajo estructural se ve afectada. Otra de las deficiencias en el concreto, ocasionada por la corrosión del acero es la presencia de grietas generadas por tensiones internas. Dichas tensiones son producto del acomodo del volumen resultante de la herrumbre provocada por la corrosión.



Imagen 3-2. Corrosión en el concreto armado.²³

J. Resistencia a la abrasión mecánica

Propiedad capaz de resistir el deterioro ocasionado en las superficies de pisos y pavimentos a causa del tránsito de personas, vehículo o cualquier trabajo realizado sobre estas superficies.

K. Resistencia a la erosión hidráulica

²³ Guerrero, J., Martínez, H., Montoya & De la cruz, M. A.. (2018). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. Octubre 25, 2018, de Islemag powered by WordPress Sitio web: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo-de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-sometidas-a-un-ambiente-acido/>

Propiedad capaz de resistir el deterioro y la desintegración del concreto en contacto con el agua. Ocasionada por el fenómeno de cavitación o el arrastre de materiales que ocasiona deterioro en el material, permitiendo así la abrasión generada por sustancias químicas presentes en el fluido.

L. Resistencia a las temperaturas elevadas

Existen dos condiciones de comportamiento del concreto ante el cambio de temperaturas elevadas. La primera cuando los climas pueden alcanzar temperaturas de hasta 60°C, en estas condiciones la temperatura no afecta internamente al concreto debido a su moderada conductividad térmica, sin embargo los cambios de temperatura son los que ocasionan cambios volumétricos, manifestados como expansiones cuando la estructura se calienta y contracciones cuando se enfría.

Los daños se presentan cuando no se tiene la suficiente libertad para los cambios de volumen, las expansiones restringidas (esfuerzos a compresión) y las contracciones restringidas (esfuerzos a tensión) generan agrietamientos indeseables. Debido a esta situación, es de vital importancia que el diseño de la estructura contemple los cambios de volumen térmicos para que la estructura no se vea restringida.

Cuando las temperaturas son mayores a 60°C los cambios de volumen se presentan en los componentes del concreto, lo que puede ocasionar presiones y microfisuras internas capaces de afectar sus propiedades mecánicas y por consiguiente su comportamiento térmico.

M. Resistencia a la cavitación

Propiedad capaz de resistir el deterioro ocasionado por la implosión de burbujas de vapor en el agua, dichas burbujas se forman en áreas de baja presión y colapsan conforme entran a áreas de mayor presión. Los lugares donde suele presentarse la cavitación son en zonas irregulares o de cambio de pendiente

N. Resistencia a las radiaciones (blindaje)

Esta propiedad se caracteriza por dos factores importantes, la suficiente masa del elemento para poder absorber los rayos gamma y que el concreto contenga los componentes necesarios para amortiguar los neutrones que poseen diferente velocidad y energía. Para la construcción de centrales nucleares se puede emplear el concreto convencional, sin embargo debido a la masa necesaria para absorber los rayos gamma, los espesores resultan imprácticos por lo que se opta por utilizar concretos específicamente diseñados para este tipo de construcciones

O. Resistencia al intemperismo

Este concepto se refiere al conjunto de acciones deteriorantes a las que se encuentra expuesto el concreto durante su vida de servicio. El grado de impacto de dichas acciones se ve influenciado por la frecuencia con la que ocurren y la magnitud de sus efectos. La naturaleza de estas condiciones (congelación y deshielo, cambios volumétricos, erosión hidráulica, entre otras) ya fue explicada en los apartados anteriores.

3.2. TIPOS

Dentro de las soluciones para enfrentar a los grandes retos de la ingeniería civil a nivel mundial, destaca el desarrollo de nuevas tecnologías de concreto para la construcción de grandes obras en infraestructura. El uso de nuevos diseños de mezcla beneficia a las obras dotándolas de una mayor vida útil y durabilidad. En la actualidad existen diversos tipos de concreto que están diseñados para cumplir con los mayores requerimientos en la construcción. De acuerdo a su clasificación por resistencia, peso volumétrico y consistencia, en la Imagen 3-3, Imagen 3-4 e Imagen 3-5 se presentan algunos de los concretos mayormente empleados en la industria de la construcción, también se expone de manera resumida sus beneficios e información técnica relevante.

CLASIFICACIÓN DE CONCRETOS POR SU RESISTENCIA:

TIPO	USOS	BENEFICIOS	INFORMACIÓN TÉCNICA
BAJA RESISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> Losas aligeradas Elementos de concreto si requisitos estructurales 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo Propiedades elementales 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales Resistencia a la compresión < 150 Kg/cm²
RESISTENCIA MODERADA	<ul style="list-style-type: none"> Edificaciones de tipo habitacional de pequeña altura Edificaciones sencillas 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales Resistencia a la compresión entre 150 y 250 Kg/cm²
NORMAL	<ul style="list-style-type: none"> Todo tipo de estructuras de concreto 	<ul style="list-style-type: none"> Funcionalidad Disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales Resistencia a la compresión entre 250 y 420 Kg/cm²
MUY ALTA RESISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> Columnas de edificios muy altos Secciones de puentes con claros muy largos Elementos presforzados Disminución en los espesores de los elementos 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor área aprovechable en plantas bajas de edificios altos Elementos presforzados más ligeros Elementos más esbeltos 	<ul style="list-style-type: none"> Alta cohesividad en estado fresco Tiempos de fraguado similares a los concretos normales Altos revenimientos Resistencia a la compresión entre 400 y 800 Kg/cm² Baja permeabilidad Mayor protección al acero de refuerzo
ALTA RESISTENCIA TEMPRANA	<ul style="list-style-type: none"> Pisos Pavimentos Elementos presforzados Elementos prefabricados Construcción en clima frío Minimizar tiempo de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada resistencia temprana Mayor avance de obra Optimización del uso de cimbra Disminución de costos 	<ul style="list-style-type: none"> Se garantiza lograr el 80% de la resistencia solicitada a 1 o 3 días Para resistencias superiores a los 300 Kg/cm² se requiere analizar el diseño del elemento

Imagen 3-3. Tipos de concreto de acuerdo a su resistencia.

CLASIFICACIÓN DE CONCRETOS POR SU PESO VOLUMÉTRICO:

TIPO	USOS	BENEFICIOS	INFORMACIÓN TÉCNICA
Ligero Celular (Alta trabajabilidad)	<ul style="list-style-type: none"> Capas de nivelación en pisos y losas Para construcción de vivienda tipo monolítica 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora al aislamiento termo-acústico Alta trabajabilidad Disminución de carga muerta Proporciona mayor confort al usuario Fácil de aserrar y clavar Mayor resistencia al fuego 	<ul style="list-style-type: none"> P.V. de 1,500 a 1,920 kg/m³ Resistencia a la compresión de hasta 175 kg/cm² a los 28 días Conductividad térmica de 0.5 a 0.8 kcal/m²hoC
Normal	<ul style="list-style-type: none"> Todo tipo de estructuras en general Elementos prefabricados Estructuras voluminosas 	<ul style="list-style-type: none"> Mantiene una densidad en atención al funcionamiento de la estructura 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades en estado fresco y endurecido similares a las obtenidas en los concretos convencionales P.V. entre 2,200 y 2,400 kg/m³ Resistencia a la compresión entre 100 y 350 kg/cm²
Pesado (Mejor relación resistencia/peso)	<ul style="list-style-type: none"> Estructura de protección contra radiaciones Elementos que sirven como lastre 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado peso volumétrico Mejor relación resistencia/peso Disminución de espesor en los elementos 	<ul style="list-style-type: none"> P.V. entre 2,400 y 3,800 kg/m³ Resistencia a la compresión igual a la obtenida en los concretos normales

Imagen 3-4. Tipos de concreto de acuerdo a su peso volumétrico.

CLASIFICACIÓN DE CONCRETOS POR SU CONSISTENCIA:

TIPO	USOS	BENEFICIOS	INFORMACIÓN TÉCNICA
Fluido	<ul style="list-style-type: none"> Rellenos Estructuras con abundante acero de resuerzo Bombeo a grandes alturas 	<ul style="list-style-type: none"> Facilita las operaciones de colocación y acabado Facilita las operaciones de bombeo Propicia el ahorro en mano de obra 	<ul style="list-style-type: none"> Revenimiento superior a 19 cm, es decir tiene una consistencia fluida Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales
Normal o Convencional	<ul style="list-style-type: none"> Todo tipo de estructuras de concreto 	<ul style="list-style-type: none"> Tener una consistencia de mezcla adecuada para cada tipo de estructura, en atención a su diseño 	<ul style="list-style-type: none"> Revenimiento entre 2.5 y 19 cm, lo cual considera las zonas de consistencia semi-fluida /12.5 a 19 cm, plástica / 7.5 a 12.5 cm, semi-plástica 2.5 a 7.5 cm Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales
Masivo	<ul style="list-style-type: none"> Colados en elementos de gran dimensión 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro en materia prima y mano de obra Bajo desarrollo en el calor de hidratación 	<ul style="list-style-type: none"> Revenimiento entre 2.5 y 5 cm Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales
Sin revenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Concretos que no se colocan bajo los métodos convencionales empleados en la industria de concreto premezclado 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo consumo de cemento Facilita las operaciones de colocación 	<ul style="list-style-type: none"> Revenimiento de 2.5 cm Resistencia a la compresión máxima de 150 kg/cm²

Imagen 3-5. Tipos de concreto de acuerdo a su consistencia.

*Nota: Imagen 3-3, Imagen 3-4 e Imagen 3-5²⁴

²⁴ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2018). EL CONCRETO. Octubre 24, 2018, de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C Sitio web: <http://www.imcyc.com/concreto/>

3.3. USOS Y APLICACIONES

En la actualidad el concreto es uno de los materiales más importantes en el sector de la construcción, asimismo es el material más ampliamente utilizado. Aún con la existencia de materiales considerablemente más resistentes como el acero, el concreto es el material predilecto dentro de la construcción, con un consumo mundial cercano a las 5.5 billones de ton por año.

Son cinco principales razones por las cuales el concreto es imprescindible dentro de la industria de la construcción.

A. El concreto posee una excelente resistencia al agua y a la exposición de condiciones extremas

Gracias a alta durabilidad que presenta el material, el desempeño del concreto en contacto con el agua es satisfactorio ya que en comparación con la madera y el acero este presenta un menor deterioro y por lo tanto una vida útil más extensa. Estas características lo hacen ideal para las construcciones designadas al control, almacenaje y transporte del agua. Construcciones tales como obras marinas, presas, túneles para aguas negras, incluso sin ir tan lejos se encuentran las obras expuestas a condiciones de humedad normal como losas, pilas, albercas, entre otras.

B. Alta maleabilidad y facilidad de colocación

Esto debido a la consistencia plástica que presenta el concreto en estado fresco, su alta trabajabilidad facilita la colocación del material dentro de un cimbrado de diversas formas y dimensiones. El material adquirirá la forma deseada una vez fraguado.

C. Innovaciones arquitectónicas

La asequibilidad con relación a diseños y acabados arquitectónicos es tangible debido a que el concreto presenta características que permiten flexibilidad en cambios estéticos. Incluso algunas nuevas tecnologías implementadas en este material ayudan a reducir la huella de carbono.

D. Bajos costos

El concreto en comparación con la oferta de otros materiales, representa una alta rentabilidad en costos, esto se debe en gran medida a la alta oferta existente.

E. Alta disponibilidad

El concreto, generalmente es un material local dentro de cualquier ubicación por lo que su disponibilidad es alta en casi cualquier región. Su fabricación es a nivel mundial.

3.3.1. PROYECTOS

Debido a que México, y la mayoría del mundo, enfrenta el reto para cubrir las necesidades de crecimiento demográfico y con ello actualizar la infraestructura del país con la construcción de grandes proyectos tanto de transporte, energía y comunicación, en la actualidad existe una amplia

diversidad de proyectos desarrollados con la mayor tecnología a nivel mundial, dichos proyectos son un claro ejemplo de la importancia de este material en la construcción. A continuación se exponen algunos proyectos de gran importancia en el sector de la construcción.

A. El Túnel Base de San Gotardo

Ubicado en Europa, junto con el Túnel de Zimmerberg es considerado como el túnel más largo del mundo con 2 túneles de 57 km de longitud cada uno. La profundidad máxima es de 2300 metros bajo los picos más altos de los Alpes.

El túnel carretero une las ciudades de Zúrich y Milán. La aportación de la tecnología de concreto implementada contribuyó tanto en la seguridad estructural como vida útil estimada en mínimo 100 años. El concreto empleado fue de alto desempeño y el volumen estimado en esta mega construcción es de alrededor de 2.3 millones de metros cúbicos (Imagen 3-6).

B. La presa de Itaipú

Esta presa hidroeléctrica de 12,600 MW es uno de los proyectos representativos de América del sur, compartida por Paraguay y Brasil, ubicada en el río Paraná, límite de ambos países. Con dimensiones de 7,744 metros de extensión y una altura máxima de 196 metros.

Construida con estructuras de concreto, roca y tierra. Dentro de su construcción se emplearon 12.3 millones de metros cúbicos de concreto. La temperatura del concreto usado en esta obra se limitó a 7°C para evitar choques térmicos. La mayoría de agregados gruesos y finos fueron obtenidos de demoler roca basáltica de la localidad (Imagen 3-7).



Imagen 3-6. Túnel San Gotardo.²⁵

²⁵ Diario16. (2016). El nuevo San Gotardo, el túnel ferroviario más largo del mundo, se abrirá en diciembre. Octubre 24, 2018, de Diario16 Sitio web: <http://diario16.com/el-nuevo-san-gotardo-el-tunel-ferroviario-mas-largo-del-mundo-se-abrira-en-diciembre/>



Imagen 3-7. Presa de Itaipú.²⁶

C. El puente Baluarte

Ubicado en México, en los estados de Durango y Sinaloa. Es una de las obras con mayor relevancia en el país. Cuenta con una longitud de 1,124 metros, una altura de 402.57 metros, una sección transversal de 16 metros de ancho.

Actualmente es la obra atirantada más grande de América latina. En esta obra se emplearon aproximadamente 3,886 metros cúbicos de concreto lanzado. La cimentación conformada de 12 pilas también fue construida con concreto de alto desempeño, con el fin de garantizar las especificaciones del magno proyecto.

El puente también está conformado por 170 dovelas de concreto las cuales se sitúan en la calzada de rodamiento. La longitud de cada dovela es de 4 metros. Como en toda obra, el concreto utilizado para este proyecto requirió de varias pruebas y verificaciones para asegurar que las estructuras tuvieran buen comportamiento y el material soportara los esfuerzos de carga esperados (Imagen 3-8).

²⁶ Misiones OnLine. (2017). La represa de Itaipú rompe el récord mundial de generación de energía y superó a la china Tres Gargantas. Octubre 24, 2018, de Misiones OnLine Sitio web: <https://misionesonline.net/2016/12/17/la-represa-de-itaipu-rompe-el-record-mundial-de-generacion-de-energia-y-supero-a-la-china-tres-gargantas/>



Imagen 3-8. Puente Baluarte.²⁷

D. Fuente del tiempo

De 1922, ubicada en Washington Park, representa a 100 figuras humanas de todas las edades. Taft, el artista, se inspiró en el trabajo en un pasaje de un poema de Austin Dobson:

- ¿El tiempo pasa, dices? ¡Ah no!
- Por desgracia, el tiempo se queda; nosotros vamos

Las figuras incluyen niños bailando, un sacerdote, un poeta, un héroe conquistador a caballo, soldados, amantes, un anciano que busca la muerte y un autorretrato del artista. La fuente del tiempo (Imagen 3-9) fue destinada a conmemorar los 100 años de paz entre Gran Bretaña y los Estados Unidos tras el Tratado de Gante.

Construida con concreto, debido al bajo presupuesto designado a la obra, como para ser construida con mármol o granito. Bajo estas circunstancias el concreto demuestra que no sólo es utilizado para la construcción de magnas obras si no que gracias a su maleabilidad y posibles acabados, se puede emplear en esculturas, murales, ornamentación arquitectónica, entre otras.

²⁷ PERI México. (s/f). Puente Baluarte. Octubre 24, 2018, de PERI México Sitio web: <https://www.peri.com.mx/projects/civil-engineering/puente-baluarte.html>

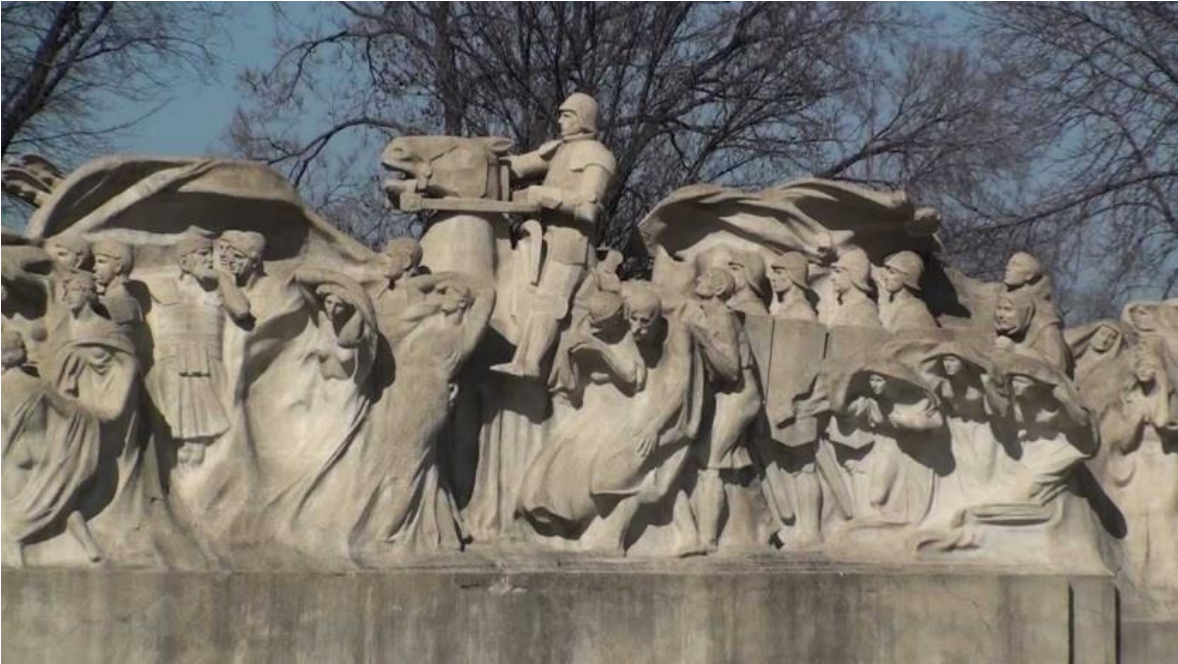


Imagen 3-9. Fuente del tiempo.²⁸

²⁸ ChiTownView. (2013). Fountain Of Time, Massive Statue In Chicago's Washington Park. Noviembre 25, 2018, de YouTube Sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=F8fhE_TcrUI

4. DISEÑO DE MEZCLAS DE ACUERDO AL MÉTODO ACI.

El diseño de mezclas es el proceso dónde quedan definidas las características requeridas en el concreto. Dichas características se verán reflejadas directamente en las propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido. Durante el diseño de mezcla queda establecido el uso y limitaciones de los componentes a emplear. Finalmente el diseño de mezcla proporciona las especificaciones finales para la elaboración, uso y manipulación de la mezcla de concreto.

El proceso de diseño define (cuantifica) las proporciones de los componentes a emplear durante la elaboración de la mezcla. Dentro de los principales atributos, de un concreto bien proporcionado, se encuentran la adecuada trabajabilidad del concreto en estado fresco, alta durabilidad y resistencia en el concreto endurecido. El diseño de mezcla, en la medida de lo posible, se deberá mantener lo menos complejo posible ya que el uso de diversos componentes dificulta el control de la mezcla.

El buen logro de las cualidades anteriormente mencionadas, se alcanza a través de la buena selección de los componentes para la elaboración de la mezcla y la definición precisa de las características solicitadas del concreto. La determinación de características propias de la mezcla se da cuando se definen los propósitos que tendrá la estructura a construir, es decir: condiciones de carga, condiciones de exposición, diseño, entre otras.

Para el diseño de mezclas, en el presente capítulo se expone el método desarrollado por la organización norteamericana American Concrete Institute (ACI). Particularmente se describe el diseño por el método de volúmenes absolutos. Dicho método se caracteriza por calcular el volumen absoluto y peso de cada componente dentro de la unidad de volumen de la mezcla de concreto, este cálculo se da a través del conocimiento de los valores de densidad de cada componente. Los fundamentos de este método son meramente empíricos, sus resultados han sido comprobados a lo largo de una larga trayectoria experimental.

4.1. CONSIDERACIONES

El proceso de diseño se da inicio con proporciones iniciales obtenidas directamente de los resultados experimentales propios del método, de esta manera se sigue un procedimiento de ensayo y error hasta lograr las características deseadas. De manera gráfica en la Imagen 4-1 se expone la técnica elemental para el proceso de diseño de mezclas.

Como se mencionó anteriormente, las características solicitadas de la mezcla rigen las limitaciones que presentará la misma respecto a contenidos, relaciones y comportamientos de los componentes, dentro de las limitaciones que se analizan en este método, se encuentran:

- Resistencia
- Relación agua- material cementante
- Contenido de aire
- Revenimiento
- Contenido de agua
- Contenido de cemento
- Contenido de agregado grueso
- Contenido de aditivo
- Contenido de agregado fino

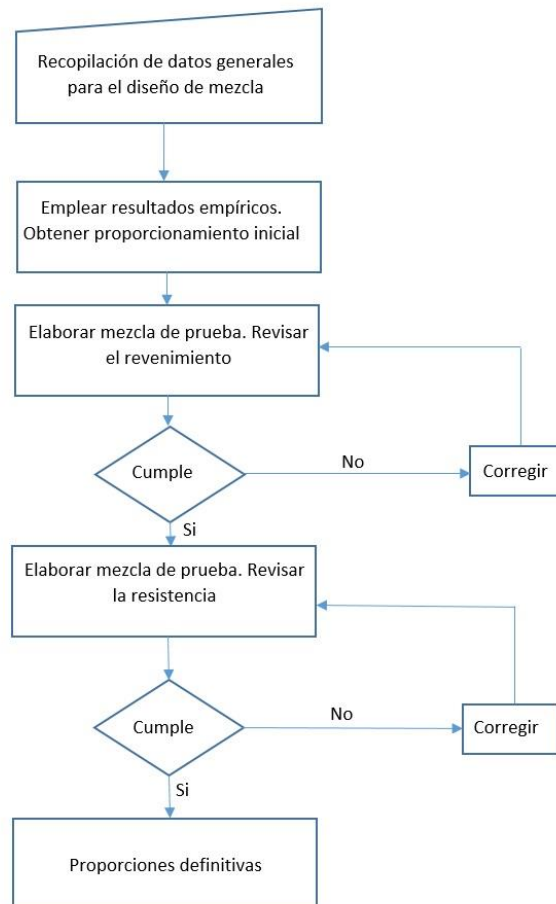


Imagen 4-1. Metodología básica del diseño de mezclas.²⁹

A continuación, se exponen de manera más detallada dichas limitaciones y referencias.

²⁹ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGON. Colombia: s/e.

4.1.1. RESISTENCIA

La resistencia a compresión requerida se define como la resistencia $f'c$ alcanzada a los 28 días, este dato se obtiene como producto del promedio de tres ensayos consecutivos de resistencia. La Tabla 4-1 y Tabla 4-2 exponen los valores recomendados de resistencia para distintos casos de exposición.

Tabla 4-1. Relación agua-material cementante máxima y resistencia de diseño mínima para varias condiciones de exposición.³⁰

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima $f'c$ ($\frac{kg}{cm^2}$)
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas.	La elección se basara en la resistencia, trabajabilidad y acabados.	Elegir con base en los requisitos estructurales.
Concreto dotado de baja permeabilidad cuando se encuentre expuesto al agua.	0.50	280
Concreto expuesto a congelación-deshielo en condiciones húmedas y a descongelantes.	0.45	320
Protección a la corrosión del acero de refuerzo, concreto expuesto a sales descongelantes, agua salobre, agua de mar o rocíos de estas fuentes.	0.40	350

4.1.2. RELACIÓN AGUA – MATERIAL CEMENTANTE

La relación agua-material cementante o cemento (a/c) se define como la masa del agua dividida entre la masa del material cementante. En la medida de lo posible, este valor deberá ser el mínimo para resistir las condiciones de exposición presentadas anteriormente en la Tabla 4-1 y de manera complementaria en la Tabla 4-2.

³⁰ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

Tabla 4-2. Requisitos para el concreto expuesto a los sulfatos del suelo y del agua.³¹

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) presentes en el suelo, porcentaje en masa**	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm**	Tipo de cemento ***	Relación agua-material cementante, máxima en masa	Resistencia a compresión de diseño mínima f'c (Kg/cm ²)
Insignificante	Menor que 0.10	Menor que 150	Ningún tipo especial necesario	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1,500	Cemento de moderada resistencia a sulfatos	0.50	280
Severa	0.20 a 2.00	1,500 a 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos.	0.45	320
Muy severa	Mayor que 2.0	Mayor que 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos	0.40	360

En caso de que el factor durabilidad no intervenga totalmente en la selección de la relación agua-cemento, la referencia se basara en los requisitos de resistencia a compresión. Para la determinación de la relación a/c, se sugiere apoyarse en la información proporcionada de los datos provenientes de campo o de muestras de mezcla que hayan empleado los componentes de interés. En caso de no contar con esta información se podrán utilizar la Imagen 4-2 y la Tabla 4-3 citadas como herramientas de referencia.

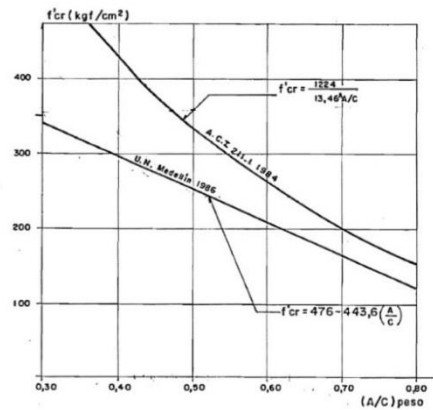


Imagen 4-2. Relación f'cr y a/c. Mezcla sin adiciones.³²

³¹ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

³² Giraldo, O. (1987). GUIA PRACTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGON. Colombia: s/e.

Tabla 4-3. Dependencia ente la A/C y la resistencia a compresión del concreto.³³

Resistencia a compresión a los 28 días ($\frac{kg}{cm^2}$)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

4.1.3. AGREGADOS PETRÉOS

La importancia de las propiedades los agregados pétreos en el diseño de la mezcla recae en dos principales características: la granulometría y la naturaleza de las partículas. El impacto de la granulometría se refleja directamente en la trabajabilidad, facilidad de colocación y en la (no menos importante) economía de la mezcla. La granulometría afecta directamente la cuantía del cemento y agua a usar en la mezcla.

Es recomendable emplear, dentro de las tolerancias que permitan la estructura y la disponibilidad de los materiales, el mayor tamaño posible del agregado grueso debido a que su uso reduce considerablemente el consumo de agua y material cementante en la mezcla. Sujeto al tamaño de agregado grueso y al tipo de construcción, se seleccionara la granulometría más adecuada para el diseño de mezcla.

Algunas de las recomendaciones más elementales para orientar la selección del dimensionamiento de los agregados pétreos son las que se enlistan a continuación.

- El Tamaño Máximo de Agregado (TMA) no deberá ser mayor a la medida que representa un quinto de la menor dimensión entre los lados de la cimbra.
- Sus dimensiones no deberán exceder en tres cuartos la distancia libre entre el mismo acero de refuerzo.
- Respecto a las medidas del TMA con relación al distanciamiento entre la cimbra y el acero de refuerzo, estas no deberán exceder los tres cuartos libres de dicho espaciamiento.
- En cuanto a las losas carentes de acero de refuerzo, se recomienda que el TMA no supere un tercio del espesor de la losa.

Durante la selección de granulometría del agregado en el proceso de diseño de mezcla, se tendrá presente que las mezclas de concreto elaboradas con diferentes agregados gruesos del mismo tamaño tendrán el mismo grado de trabajabilidad, siempre y cuando se emplee el mismo volumen de agregado grueso.

³³ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

Es importante recordar que para la elaboración de una mezcla de concreto con cierto volumen de agregados y revenimiento establecidos, es vital mantener constantes los contenidos de agua y volumen absoluto de agregados para mantener la trabajabilidad con cualquier relación a/c.

Las consecuencias por una mala elección de características o volúmenes en agregados pueden resultar en concretos propensos a altas contracciones, baja trabajabilidad en la mezcla y con relación a la producción un consumo superior de agua a lo esperado.

Respecto al cálculo de volumen a utilizar en la mezcla de concreto, de manera inicial, se sugiere referirse a la Tabla 4-4, Tabla 4-5 y la Imagen 4-3. En dichas referencias se cita el término V_{gsc} , el cual alude al volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto según la American Society of Testing Materials (ASTM) C29. Para mezclas más rígidas, como es el caso de los pavimentos, se podrá incrementar el volumen de agregados en 10%; por el contrario para las mezclas más fluidas se podrá disminuir hasta en 10%.

Tabla 4-4. Volúmenes de agregado grueso por metro cúbico de concreto.³⁴

Tamaño máximo nominal del agregado grueso, mm (in).	Volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (3/2)	0.76	0.74	0.72	0.70
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3)	0.81	0.79	0.77	0.75
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 4-5. Volúmenes de agregado grueso seco y compactado con varilla (V_{gsc}) por metro cúbico de concreto (m^3).³⁵

Tamaño máximo nominal del agregado grueso, mm (in).	Módulo de finura.								
	0	1.00	2.00	2.40	2.75	3.10	4.00	5.00	6.00
10 (3/8)	0.70	0.63	0.54	0.50	0.45	0.39	-	-	-
12.5 (1/2)	0.74	0.69	0.61	0.57	0.53	0.48	0.30	-	-
20 (3/4)	0.80	0.75	0.68	0.65	0.62	0.58	0.44	-	-
25 (1)	0.82	0.78	0.72	0.69	0.66	0.63	0.51	0.21	-
40 (3/2)	0.85	0.81	0.76	0.73	0.71	0.68	0.59	0.38	-
50 (2)	0.87	0.83	0.79	0.76	0.74	0.71	0.64	0.47	-
70 (3)	0.89	0.86	0.82	0.80	0.78	0.76	0.64	0.56	0.21
150 (6)	0.93	0.91	0.87	0.86	0.84	0.82	0.76	0.66	0.51

³⁴ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. Colombia: s/e.

³⁵ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. Colombia: s/e.

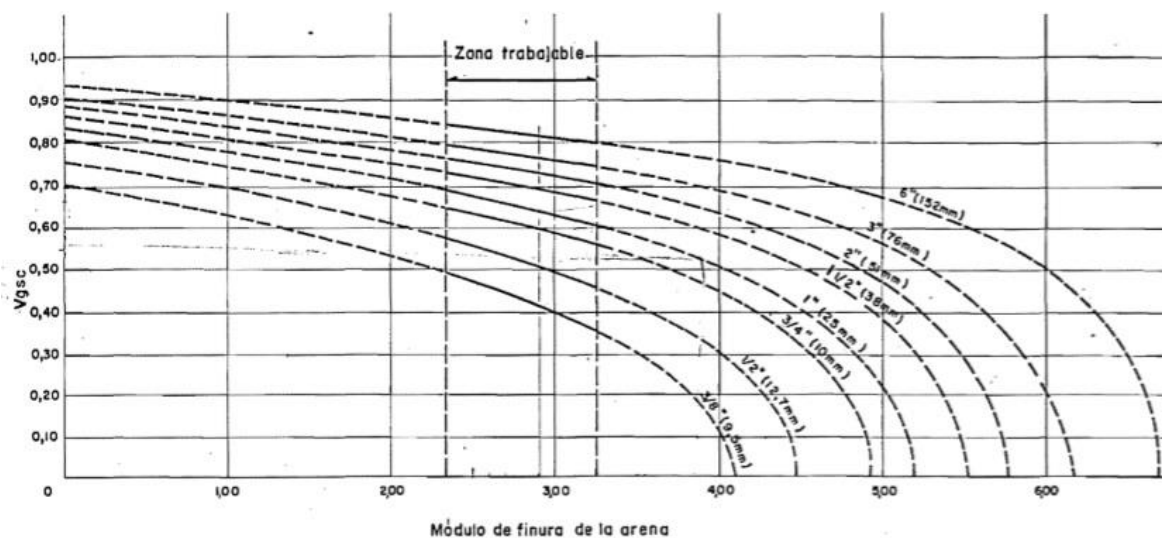


Imagen 4-3. Valores del volumen compactado de agregado grueso por m^3 de concreto (V_{gsc}) en función del módulo de finura de la arena.³⁶

Con relación a la Tabla 4-4, se debe especificar que el módulo de finura de la arena es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100, de la ASTM. En esta misma tabla se manejan módulos de finura con valores desde 2.3 hasta 3.2, se recomienda no estimar volúmenes de agregado grueso fuera de este rango de módulo de finura de la arena ya que el comportamiento fuera de este no es lineal.

4.1.4. CONTENIDO DE AIRE

El aire intencionalmente incluido en la mezcla se emplea principalmente para la construcción de estructuras destinadas a la exposición ante el congelamiento-deshielo, el contacto con sustancias químicas abrasivas como lo son los descongelantes o sulfatos y el contacto con el agua de mar. El aire incluido también puede utilizarse en estructuras comunes que no estarán expuestas al congelamiento-deshielo, esto con el único fin de mejorar la durabilidad, resistencia, trabajabilidad, etc.

La incorporación de aire intencional en la mezcla se da a través de algún cemento portland con inductor de aire o con el uso de algún aditivo (sales orgánicas de hidrocarburos sulfonados, detergentes sintéticos, ácidos grasos y resinosos, etc.). Las cantidades de aire incluido recomendadas a emplear durante la elaboración de la mezcla se detallan en la Tabla 4-6. En caso de utilizar aditivo se sugiere seguir las dosis aconsejadas por el fabricante. De manera general, la cantidad de aire incluido depende principalmente del tamaño máximo de agregado (TMA) y del

³⁶ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. Colombia: s/e.

grado de exposición al que se enfrenta la estructura. Como se mencionó anteriormente, a medida que se incrementa el tamaño máximo de agregado, disminuye el contenido de pasta cementante y por lo tanto decrece el contenido de aire en la mezcla. Las condiciones de exposición se clasifican de la siguiente manera.

- Exposición leve: Se presenta en interiores y exteriores, la estructura no se expone a congelamiento-deshielo ni tendrá contacto con sustancias abrasivas. Se podrá utilizar la inclusión de aire como un beneficio independiente a la durabilidad (utilizando contenidos de aire menores).
- Exposición moderada: La estructura se enfrenta a climas donde se presenta la congelación o exposición a la humedad pero no tendrá contacto con sustancias abrasivas.
- Exposición severa: Estructura expuesta a ambientes severos de congelamiento-deshielo, humedad y contacto con sustancias agresivas (descongelantes).

Tabla 4-6. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.³⁷

Revenimiento, mm	Agua (Kg/m ³), para los tamaños de agregado indicados mm (in)								
	10 (3/8)	12.5 (1/2)	20 (3/4)	25 (1)	40 (1 1/2)	50 (2)	70 (3)	150 (6)	
Concreto sin aire incluido									
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113	
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124	
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-	
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incluido									
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107	
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119	
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-	
Promedio del contenido de aire incorporado recomendado (%), en función del nivel de exposición	Exposición leve	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 severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

De manera general se ha de saber que cuando el contenido de agua en la mezcla se mantiene constante, el aire incluido tiene efectos positivos en la mezcla que dan como resultado el incremento de revenimiento y la disminución en el consumo de agua utilizado.

³⁷ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

4.1.5. REVENIMIENTO

Tres de las características deseables del concreto en estado fresco son la trabajabilidad, la consistencia y la plasticidad. Cuando una mezcla se encuentra dotada de dichas características, su fluidez y maleabilidad son idóneas, facilitado así el proceso de colocación.

El revenimiento se da a conocer como indicador de la trabajabilidad de la mezcla, esta interpretación se deduce gracias a la prueba de revenimiento, descrita a detalle en el capítulo 11. Los valores obtenidos de la prueba de revenimiento exponen la consistencia de la mezcla, dando a conocer de esta forma su contenido de agua, características generales de los componentes, proporcionamiento, condiciones de mezclado o fallas dentro de la misma prueba.

De manera general y sin uso de aditivos, una mezcla con valores grandes de revenimiento se caracteriza por ser altamente húmeda. Por el contrario si la mezcla se distingue por sus limitados contenidos de agua y grandes volúmenes de agregado, la mezcla se identifica como rígida y con valores bajos de revenimiento.

Usualmente el valor de revenimiento se establece en las especificaciones de la obra, ya que este varía de acuerdo al tipo de construcción. Los valores se pueden definir como rangos o como límite máximo a emplear. En caso de no contar con esta información, dicho valor se podrá estimar con el apoyo de la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.³⁸

Construcción de concreto	Revenimiento, mm	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto masivo	75	25

4.1.6. CONTENIDO DE AGUA

Dentro del diseño de mezcla, el contenido de agua repercute directamente en la trabajabilidad y resistencia final del concreto. Un aumento en la dosificación del agua se reflejará principalmente en un aumento del revenimiento y la posible disminución de la resistencia.

³⁸ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

La cuantía de agua involucrada en el diseño de mezcla se ve afectada por diversos factores como lo son el tipo de agregado y sus distintas propiedades, el requerimiento del revenimiento, la relación a/c especificada, el contenido de aire, el tipo y cantidad de material cementante, los aditivos y finalmente las condiciones ambientales contempladas durante la elaboración y manipulación de la mezcla. De manera general se puede decir que la demanda de agua en la mezcla se verá aminorada mientras el TMA y el contenido de aire se vean incrementados y los requerimientos de la relación a/c y revenimiento se vean disminuidos. Por el contrario, mientras exista un incremento en la solicitud del revenimiento, relación a/c, contenido de cemento y temperatura o la disminución del proporcionamiento de agregado fino y grueso, la demanda de agua en la mezcla se verá incrementada.

Como ya se mencionó, las características propias del agregado, tales como el tamaño, textura, y forma afectan de manera importante la cantidad de agua destinada al mezclado. Siguiendo esta línea, se sabe que los agregados gruesos de formas redondeadas demandan un consumo menor de agua en comparación con los agregados angulares triturados. Finalmente dicha diferencia podrá ser compensada por otros factores y se tendrá la posibilidad de fabricar concretos con resistencias aproximadamente iguales, siempre y cuando la granulometría, calidad y contenidos de cementos sean iguales.

Con relación a los contenidos de agua para mezclado, en la Tabla 4-6 se exponen los valores iniciales recomendados de acuerdo al tamaño de agregado, contenido de aire y revenimiento especificado. Existe la posibilidad que dichos valores varíen de acuerdo al tipo de agregado y sus características.

4.1.7. CONTENIDO Y TIPO DE MATERIAL CEMENTANTE

EL tipo y contenido de material cementante se selecciona una vez que se haya determinado la relación agua-material cementante. Para el diseño de mezcla usualmente se especifica una cantidad mínima de cemento acompañada de una relación agua-material cementante (a/c) máxima. El contenido mínimo del material cementante seleccionado y su respectivo proporcionamiento deberá brindar a la mezcla la durabilidad, resistencia y facilidad para practicar el acabado requerido en el concreto.

De manera general, durante el diseño de mezcla, se tendrá que evitar el uso de contenidos desmesurados del material cementante, ya que esta mala práctica podría afectar la trabajabilidad del concreto entre algunas otras propiedades. Se procurará que el consumo de agua en la mezcla se mantenga al mínimo de manera que se reduzcan los contenidos de cemento. Para que se presente dicha situación, en la medida de lo posible, se elaborará una mezcla rígida con el mayor tamaño de agregado posible y el proporcionamiento más óptimo entre el agregado grueso y el agregado fino.

Una vez seleccionada la relación agua cemento de acuerdo al subcapítulo 4.1.2, se podrá hacer uso de la Tabla 4-2 para elegir el tipo de cemento en presencia de sulfatos y también se podrá

consultar la Tabla 4-8, Tabla 4-9 y Tabla 4-10 para seleccionar los contenidos de cemento en el diseño de mezcla.

Tabla 4-8. Requisitos mínimos de material cementante para concreto usado en superficies planas.³⁹

Tamaño máximo nominal del agregado, mm.	Material cementante, Kg/m ³ *
37.5	280
25	310
19	320
12.5	350
9.5	360

* Las cantidades de material cementante tal vez tengan que aumentarse en la exposición severa

Tabla 4-9. Requisitos de materiales cementantes para concreto expuesto a descongelantes.⁴⁰

Material cementante*	Porcentaje máximo con relación a la cantidad total de material cementante (en masa)**
Ceniza volante y puzolana natural	25
Escoria	50
Humo de sílice	10
Total de ceniza volante, humo de sílice y puzolanas naturales	50 ¹
Total de puzolanas naturales y humo de sílice	35 ¹

* Incluye material cementante suplementario en el cemento adicionado

** Material cementante suplementario total, incluye la suma del cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice, y puzolanas

¹ El humo de sílice no deberá superar el 10% del total de los materiales cementantes y la ceniza volante y las otras puzolanas no deben exceder 25%

Tabla 4-10. Valores mínimos de contenido de cemento.⁴¹

Resistencia a la compresión especificada, f'c (Kg/cm ²)	Contenido mínimo de cemento en Kg/cm ³ de concreto					
	Concreto sin aire			Concreto con aire		
	Tamaño máximo del agregado, mm.					
	10	20	40	10	20	40
150	285	250	225	290	255	235
200	325	290	260	335	300	270

³⁹ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

⁴⁰ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

⁴¹ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. Colombia: s/e.

Tabla 4-11. Valores mínimos de contenido de cemento. (Continuación 1)

Resistencia a la compresión especificada, $f'c$ (Kg/cm ²)	Contenido mínimo de cemento en Kg/cm ³ de concreto					
	Concreto sin aire			Concreto con aire		
	Tamaño máximo del agregado, mm.					
	10	20	40	10	20	40
250	365	320	290	390	340	315
Máxima cantidad de agua, kg						
	200	180	160	170	150	140

* Los valores mínimos de cemento se basan en concretos cuyo revenimiento es menor a 10 cm y contenidos de aire especificados en la Tabla 4-6

* No se debe utilizar para $f'c < 250$ Kg/cm²

4.1.8. ADITIVOS

El uso de aditivos en la elaboración de la mezcla se da gracias a la mejora de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. De los aditivos con uso más habitual se encuentran los reductores de agua, retardantes, acelerantes, entre otros. Como claro ejemplo se tienen los reductores de agua, dichos aditivos consiguen beneficios como aumento en la trabajabilidad, reducción en contenidos de cemento e incremento en los contenidos de aire. Los usos y componentes de los aditivos se especifican a detalle en el capítulo 10.

Usualmente la dosificación apropiada de los aditivos es sugerida por el fabricante. Con el fin de evitar corrosiones en el acero de refuerzo de estructuras expuestas a condiciones abrasivas, en el presente subcapítulo se expone la Tabla 4-12 como apoyo de referencia para las limitantes en iones cloruros solubles en agua.

Tabla 4-12. Contenidos máximos de iones cloruros para la protección contra la corrosión.⁴²

Tipo de elemento	Contenido máximo de ion cloruro en el concreto, porcentaje por masa de concreto
Concreto pretensado	0.06
Concreto reforzado expuesto a cloruro durante su servicio	0.15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad durante su servicio	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

Si el diseño de mezcla solicita el uso de dos o más aditivos, para el logro de las propiedades deseadas, se tendrá especial cuidado de la compatibilidad entre estos. Esta medida se toma con el

⁴² Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

fin de evitar futuras deficiencias en la mezcla, en dichos casos se sugiere ensayar las pruebas de mezclas y de esta manera confirmar el buen comportamiento del concreto diseñado. Es importante mencionar que cualquier contenido de agua en los aditivos tendrá que considerarse dentro de la cuantía de agua designada para la mezcla. Finalmente, como se sugirió, se recomienda que el uso múltiple de aditivos se reduzca al mínimo, ya que el control de la mezcla podría verse comprometido.

4.2. PROCEDENCIA DE INFORMACIÓN

Una vez expuestas las limitaciones y relaciones propias de los componentes de la mezcla, es importante recordar que antes de comenzar un diseño de mezcla, con el fin de potencializar las propiedades con mayor impacto en el concreto (trabajabilidad, resistencia y durabilidad), se deberá tener cierta información del tipo de estructura a construir, así como el conocimiento de los materiales disponibles e información o registros anteriores referentes a la elaboración de la misma. De manera más específica se sugiere tener conocimiento de la información que se enlista a continuación.

- Información de la obra
 - Planos estructurales (dimensionamiento de los elementos).
 - Resistencia especificada a compresión ($f'c$ del concreto).
 - Ubicación de la obra.
 - Condiciones peculiares de fabricación y manejo del concreto.
- Información de los componentes
 - Análisis granulométrico de los agregados. Cálculo del módulo de finura de la arena y estimación del tamaño máximo de la grava.
 - Pesos específicos aparentes y porcentaje de absorción de los agregados.
 - Humedad de los agregados, previa al proceso de mezclado.
 - Calidad de los agregados (materia orgánica, partículas finas, reactivas, livianas y débiles).
 - Calidad del agua de mezclado.
 - Calidad de los aditivos.
- Registros de obras anteriores referentes a ensayos del material
 - Resultados obtenidos con los agregados seleccionados para el diseño en cuestión.
 - Dosis de agua por metro cúbico de concreto elaborado.
 - Relaciones obtenidas entre agua-cemento y $f'c$.
 - Cálculos estadísticos de la desviación estándar (S) en ensayos de resistencia sobre cilindros de ensaye de concreto.

La información enlistada anteriormente se puede dar a conocer por dos medios, ya sea a partir de datos de campo o a través de la elaboración y ensaye de mezclas de prueba. A continuación, en los subcapítulos A y B, se detalla la metodología a seguir de acuerdo a su procedencia.

A. Datos de campo

Dentro de un nuevo diseño de mezcla, para la etapa de proporcionamiento, se podrá utilizar información empleada en proyectos anteriores, siempre y cuando los resultados de ensaye y sus respectivas desviaciones estándar confirmen que la mezcla es aceptable. Durante esta práctica también se cuidará que los componentes, el proporcionamiento y las condiciones de colocación sean los mismos para el nuevo diseño, esto con el fin de eliminar futuras complicaciones.

Para que se de uso a la información obtenida de proyectos anteriores, esta deberá ser representativa. A causa de esta situación se realizan tres categorizaciones dentro de la presente metodología. Dichas categorizaciones dependen exclusivamente del número de ensayos disponibles. Los ensayos se definen como el promedio de la resistencia de dos probetas de la misma muestra y deberán ser estrictamente consecutivos. Las categorizaciones se definen de la siguiente manera.

- Orden de 30 ensayos

La información podrá ser utilizada si se cuenta con 30 ensayos consecutivos o dos grupos de pruebas consecutivas que totalicen 30 ensayos.

- Orden de 15 a 29 ensayos

Si la disponibilidad de ensayos de 15 a 29 ejemplares, se obtendrá un valor de desviación estándar corregida a partir de la desviación estándar propia de los ensayos (S) por el factor de corrección seleccionado de la Tabla 4-13. Es importante mencionar que los datos deben representar al menos 45 días de pruebas.

Tabla 4-13. Factor de corrección para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos.⁴³

Número de ensayos*	Factor de corrección para la desviación estándar**
Menos de 15	Consultar Tabla 4-14
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

* Interpolarse para números intermedios de ensayo

** La desviación estándar modificada se debe usar para determinar la resistencia media requerida, f'_{cr}

⁴³ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

El valor obtenido correspondiente a la desviación estándar o modificada se usa en la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2. Para que las proporciones en la mezcla sean aceptadas, el promedio de la resistencia a compresión de los ensayos deberá ser igual o mayor que la resistencia media a la compresión especificada, f'_{cr} . Finalmente para el diseño de mezcla se utilizará el mayor valor de f'_{cr} obtenido de la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2 (para $f'_c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$).

Ecuación 4-1

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34S$$

Ecuación 4-2

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 35 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 4-3

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 1.335$$

En caso de que los valores de propios de los ensayos de resistencia no cumplan con los requerimientos ya establecidos, se podrá obtener el valor de f'_{cr} con ayuda de la Tabla 4-14 . Necesariamente se tendrá que comprobar que la resistencia media será mayor que f'_{cr} .

Tabla 4-14. Resistencia media a compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.⁴⁴

Resistencia a compresión especificada, f'_c (Kg/cm ²)	Resistencia media a compresión requerida, (Kg/cm ²)
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

- Orden menor a 30 pero no inferior a 10 ensayos

De la información obtenida de dichos ensayos deberá recopilarse el valor de la resistencia media, siempre y cuando el tiempo de pruebas sea superior a 45 días. Dentro de esta categorización, debido a la limitada disponibilidad de información, se podrá realizar el proporcionamiento a través de interpolaciones entre dos o más registros de pruebas que cumplan con los requisitos del proyecto en cuestión. En el caso de que existieran diferencias significativas entre las mezclas dispuestas a interpolación, se deberán realizar mezclas de prueba con el fin de asegurar la resistencia especificada.

Finalmente, en caso de que no se cuente con la información estadística de los ensayos o esta se encuentre incompleta el proporcionamiento se realizará a través del método de prueba. Dicho método también se podrá aplicar en el caso de que el valor de la resistencia promedio sea menor que el valor obtenido de f'_{cr} . Como se ha mencionado anteriormente, una vez que se ha aprobado la mezcla, el valor final de la resistencia tendrá que ser igual o mayor a f'_{cr} . Durante la elaboración de la muestra, se tendrán que utilizar o tres diferentes relaciones a/c o

⁴⁴ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA.Portland Cement Association

tres contenidos de cementante diferentes, de esta manera se podrá trazar la curva relación a/c – resistencia, y así obtener el proporcionamiento a partir de interpolaciones.

B. Mezclas de prueba

Como se mencionó el subcapítulo anterior A, el proporcionamiento por el método de mezcla de prueba, se utiliza cuando la información estadística no se encuentra disponible o en su defecto, cuando los valores de resistencia promedio resulten menores al valor de f'_{cr} .

En general, al igual que en cualquier procedimiento de proporcionamiento, en el método de mezcla de muestra se deberán conocer los lineamientos con relación a las características deseables de la mezcla como lo son: resistencia, contenido de aire, relación agua-material cementante, TMA y revenimiento. Una vez establecidos estos requerimientos se elabora la mezcla de prueba, considerando los siguientes puntos.

- La mezcla deberá ser elaborada con los materiales que fueron especificados para la obra en cuestión.
- La elaboración deberá realizarse con tres relaciones a/c diferentes o tres contenidos de cemento distintos.
- Los agregados destinados a la mezcla deberán encontrarse en estado saturado con superficie seca (SSS), esto con el objetivo de evitar futuros errores en contenidos de humedad.
- Respecto al máximo permitido con relación al revenimiento se permitirá una variación de ± 20 mm y con relación al aire contenido la variación se permitirá de $\pm 0.5\%$.
- Para cada relación a/c o contenido cementante se deberán elaborar tres probetas cilíndricas para ensaye, una vez alcanzada la edad especificada de la mezcla, se deberá ensayar para obtener el valor de resistencia a compresión.
- Se elaborara la gráfica correspondiente “resistencia – a/c ”, la cual será utilizada para realizar el proporcionamiento de la mezcla.
- En general para el diseño de mezcla, se recomienda variar los contenidos de agregados finos y gruesos hasta lograr la trabajabilidad especificada.
- En el caso de que la mezcla deba gobernarse por la relación a/c , las variaciones se presentarán principalmente en la pasta cementante y después con el proporcionamiento de los agregados, hasta alcanzar las condiciones de trabajabilidad deseadas.
- Se recomienda realizar las muestras con mezclado mecánico (uso obligatorio cuando se presenta aire incluido en la mezcla), cabe recordar que entre mayor sea el tamaño de la muestra, los datos serán más precisos.

4.3. CÁLCULOS

Los cálculos propios del método de volumen absoluto se basan en la estimación de la masa de los materiales y las masas específicas relativas (densidad), de esta manera se concluye que el volumen del concreto fresco es la sumatoria de los volúmenes absolutos de los componentes (excluyendo el agua absorbida en los agregados). La ecuación correspondiente a este método queda de la

siguiente manera Ecuación 4-4. En la Tabla 4-15 se exponen las masas específicas relativas de algunos de los componentes destinados a la mezcla. De manera más específica para el agua, en la Tabla 4-16 se exponen distintos valores de su masa específica relativa a distintas temperaturas. El volumen absoluto se expresará en unidades de m³.

Ecuación 4-4

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{masa de material suelto}}{\text{masa específica relativa del material (densidad del agua)}}$$

Tabla 4-15. Masas específicas relativas de los componentes del concreto.

Componente	Masa específica relativa
Cemento portland	3.15
Cemento adicionado	2.90 a 3.15
Ceniza volante	1.9 a 2.8
Escoria	2.85 a 2.95
Humo de sílice	2.20 a 2.25
Agregado normal ¹	2.4 a 2.9
Agua	1.00

¹ La masa relativa específica puede ser en estado saturado con superficie seca o en estado seco (al horno).

Tabla 4-16. Densidad del agua vs temperatura.⁴⁵

Temperatura, °C	Densidad, (Kg/m ³)
4	1000
16	998.93
18	998.58
20	998.19
22	997.75
24	997.27
26	996.75
28	996.20
30	995.61

El volumen propio de los aditivos se tomará en consideración si así se requiere. Con relación al volumen del contenido de aire incluido, se obtiene multiplicando el contenido de aire en porcentaje dividido entre 100 y multiplicado por el volumen del concreto.

De manera general, se exponen dos posibilidades para obtener el volumen de concreto en la mezcla.

- El volumen del concreto se podrá obtener si se conocen las masas específicas de los componentes.

⁴⁵ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA.Portland Cement Association

- Si no se tiene la disponibilidad de dicha información, se podrá obtener el volumen dividiendo la masa de la totalidad de los componentes entre la masa volumétrica del concreto.

4.4. EJEMPLO

Con fines demostrativos se desarrolla el siguiente ejemplo dónde el alumno conocerá el procedimiento para realizar la dosificación de una mezcla de concreto hidráulico, de acuerdo a la norma 211.1-70 del American Concrete Institute (ACI), para un elemento estructural expuesto a condiciones severas de congelación y deshielo.

A. Datos

Elemento: Muro de concreto hidráulico reforzado.

Resistencia: $f'c = 265 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días

Arena: Módulo de finura = 2.6
Densidad = 2.5

Grava disponible: TMA = 19 mm (3/4")
Peso = 1580 kg/cm^3 seca y varillada
Densidad = 2.5

B. Croquis



C. Selección del tamaño máximo del agregado (TMA) y la resistencia promedio a la compresión requerida

De acuerdo al subcapítulo 4.1.3. El tamaño nominal máximo de los agregados no debe ser mayor que:

- a) Un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes;
- b) Dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquetes de barras.

$$\text{Del inciso "a" se tiene: } (1/5) * (5+5) + 10 \text{ cm} = (20/5) = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Del inciso "b" se tiene: } (2/3) * 10 \text{ cm} = (20/3) = 6.66 \text{ cm}$$

También se tomará en cuenta la separación mínima entre el acero de refuerzo y la cimbra. Para este caso se tiene:

$$(2/3) * 5 \text{ cm} = (10/3) = 3.33 \text{ cm}$$

Debido a que rige el menor de los anteriores valores, se tiene que el TMA = 3.33 cm, por lo tanto se utilizará para la elaboración de la mezcla de concreto el TMA = 19 mm que es el agregado disponible en la zona y de calidad satisfactoria.

De acuerdo a la Tabla 4-14 se debe obtener la resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} de la siguiente manera:

$$\text{Para } f'_c = 265 \text{ kg/cm}^2 \text{ se tiene } f'_{cr} = 265 + 85 = 350 \text{ kg/cm}^2$$

D. Selección del revenimiento

Para la selección de revenimiento, de la Tabla 4-7 se selecciona un revenimiento máximo de 10 cm, por ser la celda de intersección de la columna del revenimiento máximo y el renglón del elemento a construir. Este valor será considerado como una primera referencia, ya que posteriormente se debe tomar en cuenta algunos factores tales como si el concreto será o no bombeado.

E. Determinación de la cantidad de agua necesaria

Tomando como referencia la Tabla 4-6, para concreto con aire incluido se determina una cantidad de agua necesaria de $184 \text{ l} = 184 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.184 \text{ m}^3$, como resultado de la intersección de la columna correspondiente a TMA = 19 mm y del renglón del revenimiento seleccionado en el punto anterior.

F. Obtención de la relación agua/cemento

De acuerdo a la Tabla 4-2 y Tabla 4-3 y las condiciones presentadas, se obtiene la relación a/c igual a 0.45, como resultado de la intersección de la columna correspondiente a concreto sin aire incluido y el renglón de la resistencia especificada.

G. Determinación de la cantidad de cemento

Con la relación a/c obtenida en el punto anterior $a/c = 0.45$, se despeja $c = a / (0.45)$ y se sustituye en esta misma ecuación la cantidad de agua necesaria obtenida en el punto en el apartado C, obteniendo la cantidad de cemento necesaria, $c = 184/0.45 = 408.89 \text{ Kg/m}^3$.

H. Obtención de cantidad de agregado grueso (grava)

De acuerdo a la Tabla 4-4, se obtiene un volumen de $0.64 \text{ [m}^3\text{]}$ de grava por cada metro cúbico de concreto, como resultado de la intersección de la columna correspondiente al módulo de finura de la arena y al renglón correspondiente al tamaño máximo de la grava.

Por lo que el peso de la grava resulta de $0.64 * 1580 \text{ Kg/m}^3 = 1011.20 \text{ Kg/m}^3$.

I. Obtención del peso del concreto

Tabla 4-17. Peso unitario del concreto.⁴⁶

Peso unitario del concreto [Kg/m^3]			
Tamaño máximo del agregado		Peso unitario	
		Sin aire incorporado	Con aire incorporado
mm	in		
10	3/8"	2285	2190
12.5	1/2"	2319	223
19	3/4"	2355	2280
25	1"	2375	2315
40	1 1/2"	2420	2355
50	2"	2445	2375
70	3"	2465	2400
150	6"	2505	2435

⁴⁶ Giraldo, O. (1987). GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. Colombia: s/e.

De la Tabla 4-17, se obtiene un peso del concreto de 2280 Kg/m³, como resultado de la intersección de la columna correspondiente a peso unitario del concreto con aire incorporado y el renglón de tamaño máximo de agregado.

J. Determinación de la cantidad agregado fino (arena)

Por diferencia de peso se obtiene.

Peso del concreto	2280.00	kg/m ³
- Peso del agua	184.00	kg/m ³
- Peso del cemento	408.89	kg/m ³
- Peso de la grava	1011.20	kg/m ³
Suma = Peso de la arena =	<u>675.91</u>	kg/m ³

K. Dosificación de la mezcla de concreto por volumen

Como se mencionó en la Tabla 4-15, la densidad del cemento portland ordinario es de 3.05 y, se obtuvo en laboratorio para la grava de 2.5.

Por lo tanto, para el cemento: $V_c = 408.89/3050 = 0.1341 \text{ m}^3$.

Para la grava: $V_g = 1011.20/2500 = 0.404 \text{ m}^3$.

Para el agua se sabe que $184 \text{ Kg/m}^3 = 184 \text{ l} = 0.184 \text{ m}^3$

De la tabla del punto 5.3 se obtiene 6% de aire atrapado, por lo tanto: $1.0 \text{ m}^3 * 0.06 = 0.060 \text{ m}^3$

Finalmente por diferencia de volúmenes se obtiene.

Volumen de concreto	1.0000	m ³
- Volumen de agua	0.1840	m ³
- Volumen de cemento	0.1341	m ³
- Volumen de grava	0.4040	m ³
- Volumen de aire	0.0600	m ³
Suma = Volumen de Arena =	<u>0.2179</u>	m ³

L. Resumen, dosificación por peso y por volumen

Material	Peso		Volumen	
Cemento	408.89	kg/m ³	0.1341	m ³
Agua	184.00	kg/m ³	0.1840	m ³
Grava	1011.20	kg/m ³	0.4040	m ³
Arena	675.91	kg/m ³	0.2179	m ³
Aire atrapado	-	-	0.0600	m ³
Concreto	2355.00	kg/m ³	1.0000	m ³

5.PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO

Por medio de movimientos de rotación, el objetivo de la operación de mezclado es la incorporación de la pasta cementante con la superficie de los agregados pétreos, el fin de este proceso es conseguir una masa uniforme y consistente.

El proceso de mezclado varía según sus distintas clasificaciones, dentro de las más importantes se encuentran:

- Clasificación por origen de elaboración de la mezcla, es decir producción en sitio (mezclado in situ, subcapítulo 5.1) o suministro de concreto premezclado (subcapítulo 5.2).
- Clasificación por método, ya sea manual, a través de equipo mecánico o maquinaria automatizada. Esta clasificación es detallada en los subcapítulos 5.1.1, 5.1.2 y 5.3.
- Clasificación por continuidad en el proceso de fabricación de la mezcla, y su consecuente suministro. Dicha clasificación se menciona dentro de la descripción de cada método.

En general, para cualquier método seleccionado, durante el transcurso del mezclado se deberá tener especial cuidado en cumplir los siguientes puntos claves del proceso:

- Mantener la homogeneidad de los componentes y evitar la segregación de los mismos, durante la mezcla y en la descarga.
- Mantener las proporciones, previamente establecidas, en los componentes de la mezcla.
- Mezclar los componentes de acuerdo al orden estipulado para cada tipo de mezclado: manual, mecánico y automatizado.

5.1. MEZCLADO IN SITU

La selección entre la elaboración de la mezcla en sitio y el suministro del concreto premezclado, depende exclusivamente de las necesidades de cada obra. Algunos de los factores más importantes para la toma de decisión son los siguientes:

- Localización de la obra y accesibilidad.
- Especificación de la mezcla de concreto y propósito de las estructuras.
- Requerimientos técnicos.
- Calidad final de la mezcla.
- Volumen total de la obra.
- Dimensiones de cada elemento estructural.
- Tipo de diseño arquitectónico y condiciones de construcción.
- Programa de obra.
- Existencia de contratos.
- Solicitudes específicas del cliente o del constructor.

El impacto de la decisión se tendrá que ver reflejado como beneficio en cuestiones técnicas, cumplimiento en tiempos y ahorro en costos.

De forma general, atendiendo a la estructura de una obra, se encuentran elementos tales como columnas, vigas, trabes, losas, etc., de dimensionamiento menores, mismos que solicitan volúmenes pequeños de concreto. Por lo que es común que la fabricación de la mezcla para dichos elementos se resuelva a través de la elaboración en sitio.

Sin embargo, para el mezclado in situ, es importante mencionar que la calidad final de la mezcla puede verse afectada debido a la insuficiencia de control en aspectos tales como: retrasos en el suministro de los componentes de la mezcla, cumplimiento de especificaciones y normativas en los componentes de la mezcla, almacenamiento de agregados pétreos, agua y cemento, dosificación, homogeneidad y resistencia final de la mezcla. Las consecuencias de estas circunstancias pueden manifestarse de la siguiente forma:

- Disminución en la durabilidad del concreto.
- Agrietamientos estructurales.
- Variaciones en la resistencia deseada.
- Segregación de la mezcla.
- Aparición de juntas frías y contracciones importantes.
- Permeabilidad importante en el elemento.
- Exceso de sangrado en el fraguado.
- Reducción en la adherencia de la mezcla de concreto con el acero de refuerzo.
- Reducción o variación del módulo de elasticidad especificado.
- Cambios de tonalidades.

El proceso de mezclado y la continuidad del proceso in situ, varía de acuerdo a su clasificación por método, ya sea manual o mecánico; los cuales se exponen en los subcapítulos 5.1.1 y 5.1.2.

5.1.1. MEZCLADO MANUAL

Por cuestiones de cumplimiento en tiempos y calidad final en la mezcla de concreto, el proceso de mezclado comúnmente se realiza por medio de maquinaria ya sea mecánica o automatizada. Sin embargo en algunos casos es necesaria la implementación del mezclado de concreto a mano, en circunstancias tales como el colado de elementos de difícil acceso o con minúsculas dimensiones.

El mezclado manual se deberá llevar a cabo en una artesa, o en su defecto sobre una superficie lisa y limpia, en caso de no disponer de estas se aceptará una base de madera con juntas cerradas para evitar la pérdida de mezcla. La distribución de los agregados pétreos se dará en forma de cono o volcán. El cemento se colocará de manera uniforme sobre la superficie. Los componentes secos se deberán mezclar en esta condición al menos tres veces. El mezclado se dará por medio de “paleados” desde la parte inferior hasta la superficie. Posteriormente se añadirá la totalidad del agua considerada y se volverá a mezclar al menos tres veces hasta alcanzar una mezcla homogénea. Se podrá añadir agua para mejorar la consistencia, siempre y cuando se respete la relación agua-cemento previamente establecida.

Los indicadores de una buena eficiencia en el mezclado son el color y la uniformidad en el concreto. Normalmente dentro de esta técnica de mezclado se acepta la adición de un 10% extra de cemento, esto con el fin de compensar cualquier deficiencia en el proceso. Para la elaboración de concreto a mano se contempla un número limitado de personas, por lo que dicha producción y su consiguiente suministro se precisan como procesos discontinuos. Se recomienda que el volumen estimado de mezcla, para este tipo de proceso, no sea masivo ya que la calidad final de la mezcla y los tiempos de cumplimiento podrían verse comprometidos.

Como se mencionó, el equipo necesario para la mezcla a mano del concreto, consta de dos herramientas en particular: la base contenedora de la mezcla y la pala. En cuanto al equipo necesario para el suministro de agua se recomiendan cubetas de 20 L.



Imagen 5-1. Cubeta 20 L. y pala para concreto.⁴⁷

⁴⁷ Homedepot. (s.f.). Recuperado 9 octubre, 2018, de <http://www.homedepot.com.mx/jardin/herramientas-para-jardin/cavar-y-asentar-la-tierra/pala-cuadrada-d-37-3-4-719963> y MERKELL. (2017). CUBETA PLÁSTICA DE 20 LITROS C/AGARRADERA. Octubre 10, 2018, de [iqit-commerce.com Sitio web: http://www.merkell.mx/jarcieria/268-cubeta-plastica-de-20-litros-cagarradera.html](http://www.merkell.mx/jarcieria/268-cubeta-plastica-de-20-litros-cagarradera.html)

5.1.2. MEZCLADO MECÁNICO

Una vez realizada la dosificación de la mezcla, se llevará a cabo la fabricación del concreto. Para el colado de elementos pequeños y/o medianos se recomienda la implementación de equipo mecánico. Dentro de este equipo se encuentran las mezcladoras de tambor, planetarias y/o dosificadoras móviles; las cuales se desarrollan más adelante en el presente subcapítulo. Dependiendo del volumen total de concreto solicitado, requerimientos técnicos y presupuesto de la obra se realizará la elección del equipo adecuado.

Para llevar a cabo la correcta incorporación de componentes, la mezcladora de concreto se ha vuelto el equipo indispensable para la elaboración de concreto en sitio. Los volúmenes a fabricar no deberán ser masivos. De acuerdo al ACI 304R-00, la disposición de los componentes en el equipo seleccionado, se darán en el siguiente orden:

- Se verterá una primera fracción del agua total a la mezcladora, dicha fracción no deberá exceder la cuarta parte del volumen total. El asegurar la humedad en la superficie del agregado es la principal razón de que el agua sea el primer elemento en cargar.
- El cemento y la el agregado fino se añadirán de forma simultanea
- Posteriormente se añadirá el agregado grueso en su totalidad
- Y por último se incorporará el resto del agua

Se deberá tener especial cuidado en la adición del agua y/o el cemento, ya que con temperaturas o velocidades de adición altas se corre el riesgo de formación de esferas de cemento de hasta 75 mm de diámetro.

La inclusión de los aditivos químicos variará dependiendo del diseño de la mezcla. Algunos de los principales tipos de mezcladoras se exponen a continuación.

A. Mezcladora de tambor basculante

Caracterizada por la disposición inclinada y giratoria del tambor, esto con el objetivo de que la descarga se realice por medio del mismo tambor destinado a la mezcla. La caracteriza su forma cilindro-cónica y está equipada en su interior con aspas. Presenta una descarga rápida evitando así la segregación del concreto. Estas mezcladoras están recomendadas para manipular concretos rígidos, de baja trabajabilidad. Llegan a tener capacidades de hasta 4 m³, aunque lo común es encontrarlas en obra con capacidades pequeñas 200 l aproximadamente. Usualmente es cargada a paladas directamente en la abertura del trompo. Los mezcladores de tambor basculante son idóneos para mezclas con agregados grandes de hasta 6 in. Este método de mezclado se clasifica como discontinuo, debido a que la abertura para el suministro de materiales es la misma para la descarga; por lo que esta circunstancia imposibilita la ejecución simultanea de ambas operaciones. Imagen 5-2.



Imagen 5-2. Mezcladora de tambor basculante.⁴⁸

B. Mezcladora de tambor horizontal

Esta mezcladora se caracteriza por poseer un eje horizontal de rotación. La disposición de las aspás dentro del tambor varía según la marca de la mezcladora. Al igual que la mezcladora de tambor basculante, la mezcladora de tambor horizontal proporciona una velocidad rápida de descarga. La descarga se da paso por una canaleta conectada directamente al tambor. El suministro tanto de agua como de agregados finos y gruesos se da por la parte trasera del mezclador, esto a través de una tolva con conexión directa al tambor. Dependiendo del diseño de la maquinaria, este tipo de mezcladora llega a producir volúmenes desde 4 m³, 8 m³, hasta 28 m³. Se pueden llegar a presentar tambores en serie para incrementar la producción de concreto. El método de mezclado es clasificado como continuo debido a la independencia de la alimentación de componentes y la descarga, lo que facilita un proceso constante. Imagen 5-3.



Imagen 5-3. Mezcladora de tambor horizontal.⁴⁹

⁴⁸ MAESTRO.48 (s/f). Maker - Trompo Mezclador 14HP con Motor Kohler GX270. Septiembre 06, 2018, de MAESTRO Sitio web: <http://www.maestro.com.pe/productos/herramientas-y-maquinarías/trompo-con-motor-13-hp-koEshler-11p31>

C. Mezcladora tipo planetaria

Consiste en un contenedor cilíndrico acondicionado con paletas en un eje vertical. Esta mezcladora se rige por dos ejes, el del contenedor y el de las paletas, lo que permite el movimiento de estas aun cuando el contenedor permanece estático. La dimensión de las paletas se podrá ajustar para evitar que la mezcla se adhiera en las paredes del contenedor. Este tipo de mezcladora se recomienda para mezclas rígidas o de alta cohesión. Caracterizada por una velocidad relativamente baja de descarga. Existen versiones con capacidades de 0.42 m³ que se han diseñado con fines de ser utilizados para muestras de laboratorio y producción de cantidades pequeñas de concreto o mortero. El proceso de elaboración de concreto, a través del mezclador planetario, se considera discontinuo debido a la necesidad de descargar antes de realizar la nueva recarga. *Imagen 5-4.*



Imagen 5-4. Mezcladora tipo planetaria.⁵⁰

El orden de colocación de los materiales deberá ser el mismo que se mencionó para la mezcladora tipo tambor basculante.

Es importante mencionar que para todas las maquinarias mencionadas anteriormente se torna inviable la remoción de mezcla adherida a las paredes durante el proceso de mezclado, lo que representa cierta pérdida de volumen. Para evitar esta situación, previo al proceso de mezclado, se sugiere comenzar con una ronda de mortero; este proceso conocido como *lubricado* no deberá ser descartado en prácticas de laboratorio.

Con base al volumen de concreto solicitado se llevará a cabo la elección de la capacidad de la mezcladora, las cuales van desde los 0.43 m³ hasta los 9 m³. Si el total del volumen deseado representa sólo una pequeña fracción de la capacidad de la mezcladora, la operación no resultaría económicamente viable y no existiría uniformidad en la mezcla; estas mismas consecuencias se presentan cuando la capacidad se rebasa por poco más del 10%. Las mezcladoras se deberán trabajar a la velocidad recomendada por el fabricante. Se deberá brindar el pertinente mantenimiento propio de cada maquinaria, anteponiendo el buen estado de las aspas y el

⁴⁹ <http://fiatasa.net>. (s/f). Mezcladora horizontal. Noviembre 26, 2018, de <http://fiatasa.net> Sitio web: http://fiatasa.net/site/index.php?option=com_content&view=article&id=102:mhorizontal&catid=43:obras&Itemid=69

⁵⁰ MATEST Material Testing Equipment. (s/f). TURBO FORCED MIXERS, PAN TYPE WITH VERTICAL AXIS. September 06, 2018, de MATEST Material Testing Equipment Sitio web: <http://matest.com/es/Products/concreto/CONCRETE-MIXERS/turb>

contenedor de la mezcla, ya que el mal estado de la maquinaria impacta negativamente en la eficiencia del mezclado.

De la tendencia en obra a realizar el proceso de mezclado tan rápido como sea posible, nace la necesidad de conocer los tiempos mínimos necesarios para producir un concreto de composición uniforme y resistencia confiable. En general para cualquier técnica de mezclado, el tiempo óptimo de mezclado depende principalmente del tipo, tamaño y velocidad de rotación de la mezcladora sin mencionar la capacidad y calidad de mezclado de los componentes del concreto. En la *Tabla 5-1* se exponen los tiempos recomendados según la capacidad de la mezcladora, de acuerdo al American Concrete Institute ACI 304R-00 y ASTM C 94-05.

Tabla 5-1. Tiempos mínimos recomendados para el mezclado.⁵¹

Capacidad de la mezcladora	Tiempo de mezclado
m ³	min
0.8	1
1.5	1 ¼
2.3	1 ½
3.1	1 ¾
3.8	2
4.6	2 ¼
7.6	3 ¼

El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que los sólidos son cargados en la mezcladora. Los valores expuestos en la *Tabla 5-1* son referidos a mezcladoras usuales; sin embargo en la actualidad existen mezcladoras actualizadas tecnológicamente, que realizan un proceso de mezclado en tiempos de 1 min o 1 ½ min o hasta 35 seg. Por otra parte, no se debe olvidar que para diseños especiales de mezcla, los tiempos varían.

Por lo regular, en la fabricación de cualquier tipo de concreto, la prolongación en los tiempos del proceso puede culminar con deficiencias en la calidad final de la mezcla; como son la disminución en la trabajabilidad, usualmente generada por la evaporación de agua y la segregación del agregado fino. Por su parte la fricción ocasiona incrementos en la temperatura de la mezcla. Con relación al aire incluido (dependiendo del agente inclusor), la prolongación en el tiempo de mezclado propicia pérdidas de hasta 1/6 del contenido total por hora, mientras que la ausencia de mezclado ocasionada por retrasos en la colocación del concreto promueve el descenso del aire incluido hasta un 1/10 del valor total en la mezcla por hora.

5.1.3. MEZCLADO AUTOMATIZADO

La fabricación automática de mezcla de concreto in situ se da a través de plantas volumétricas de concreto, dicho sistema móvil con beneficios se describen más adelante en el presente subcapítulo. El control del proceso de mezclado se da de la siguiente manera:

⁵¹ NEVILLE A.M. & BROOKS, J.J. (2010). CONCRETE TECHNOLOGY, SECOND EDITION. MALAYSIA: PEARSON

- Con ayuda de una retroexcavadora, se cargan y almacenan los materiales en sus respectivos compartimientos, Imagen 5-6.
- Una vez listo el elemento a colar, el operador de la planta ajusta el sistema de alimentación de materiales para lograr la dosificación exacta de mezcla.
- La alimentación de materiales se da por medio de controles calibrados en sistemas de cadena o banda, dependiendo del fabricante.
- La mezcla de los componentes se realiza gracias a un sistema de tornillo sin fin (helicoidal) o de Arquímedes, el cual permite la total incorporación de los materiales.
- Para un mejor desempeño de la mezcla, el suministro de aditivos se dará de acuerdo a las especificaciones previamente establecidas.
- Finalmente se realiza la descarga del material.

A. Planta volumétrica de concreto

También conocida como dosificadora móvil o mezclador volumétrico; las plantas volumétricas son camiones provistos de: compartimientos de almacenamiento para agregados finos y gruesos, compartimiento hermético para almacenamiento de cemento, tanques de polipropileno destinados para el almacenaje de agua y aditivos, sistema de canalones hidráulicos para la descarga y una dosificadora por volumen. A través de un sistema de barrena se suministran e incorporan dentro del mismo camión los componentes destinados a la mezcla continua de concreto,

Imagen 5-5.

Además de ser la mejor solución para obras de ubicación remota, la preferencia de dosificadoras móviles, en obras de grandes dimensiones con demanda de volúmenes considerables o masivos, es certera. Los beneficios que aportan a este tipo de obras son numerables entre los más destacados se encuentran:

- Gracias al sistema automatizado de la planta, se tienen un mejor control de la mezclas, tanto en la dosificación como en la calidad final del concreto.
- Fabricación de concreto destinado 100% para el proyecto en cuestión.
- Reducción de desperdicios, ya que se tiene el control de cada m^3 producido.
- Amplia disponibilidad horarios de trabajo.
- Disminución de tiempos muertos de personal y maquinaria.
- Posible producción de mezclas no comerciales para requerimientos específicos en la obra.
- Mejora en el cumplimiento del programa de obra, promoviendo avances en el mismo.
- Disponibilidad de concreto 100% fresco.
- Continuidad en el colado de elementos.

Los beneficios antes mencionados se traducen en una alta rentabilidad en términos de tiempo, dinero, calidad y producción.

La planta volumétrica puede cargarse constantemente para tener un flujo continuo de concreto. Se pueden verter y mezclar los componentes, según sea necesario. Las capacidades comerciales del mezclador continuo varían desde los $15 m^3/h$ hasta los $60 m^3/h$, no obstante se pueden

encontrar volúmenes de producción más grandes o pequeños, dependiendo de las necesidades del proyecto.



Imagen 5-5. Dosificadora móvil de concreto o mezclador continuo.⁵²



Imagen 5-6. Carga de componentes en dosificadora móvil de concreto.⁵³

⁵² STARMIX. (s/f). Componentes Básicos. Octubre 11, 2018, de METLAG Sitio web: <http://www.starmix.mx/>

⁵³ LOZMAR CONCRETOS. (s/f). Ventajas de planta dosificadora móvil. Octubre 11, 2018, de Jimdo Sitio web: <https://lozmar.jimdo.com/ventajas/>

5.2. SUMINISTRO DE CONCRETO PREMEZCLADO

El concreto premezclado es el concreto hidráulico dosificado y mezclado, fuera de la obra. Con base en las distintas técnicas de mezclado, se realizan tres principales clasificaciones:

- Concreto dosificado y mezclado completamente en plantas estacionarias mezcladoras, La entrega de este concreto se realiza en camiones agitadores, mismos que tienen la obligación de mantener la homogeneidad y trabajabilidad de la mezcla.
- Concreto parcialmente mezclado en la planta estacionaria de dosificación (Imagen 5-9) y conclusión del proceso en camiones mezcladores.
- Concreto mezclado en su totalidad en camiones mezcladores (Imagen 5-11), con dosificación de componentes de la mezcla en planta dosificadora.

Las etapas de trabajo, el proceso de mezclado y las ventajas de las plantas mezcladoras y las plantas dosificadoras se describen en el subcapítulo 5.3. En cuanto a los camiones agitadores para el transporte del concreto completamente mezclado en plantas estacionarias mezcladoras, su funcionamiento y especificaciones se detallan en el subcapítulo 5.4.

La contratación de concreto premezclado es recomendada para obras cuya demanda de volumen es grande o masiva, en obras donde se solicita algún diseño específico de mezcla, si hay existencia de contratos o alguna solicitud específica del cliente o constructor. Si el análisis de costos es favorable, también se podrá solicitar el servicio de concreto premezclado en obras medianas o pequeñas. La normativa que controla los procesos relativos al concreto premezclado es la American Society for Testing and Materials ASTM C-94-Especificación estándar para concreto premezclado. Debido a que la producción es controlada en tanto en calidad como en tiempos por parte del productor, se considera un proceso continuo.

5.3. MEZCLADO AUTOMATIZADO

Las ventajas que ofrece la implementación de concreto premezclado en comparación con la mezcla elaborada en sitio, son numerosas y entre las más destacadas se encuentran:

- Concreto homogéneo de calidad, resistencia y durabilidad controlada
- Control de componentes de la mezcla. Con relación a los agregados pétreos, se lleva a cabo un riguroso análisis de sus respectivas propiedades físicas, como: peso específico, absorción, humedad y composición granulométrica. Una vez aceptados, se practican ensayos periódicos para asegurar la permanencia de dichas características, esto con el fin de lograr una mezcla homogénea y garantizar la resistencia deseada. Respecto al cemento, se realizan pruebas relacionadas con la finura, resistencia a la compresión, tiempos de fraguado, etc., También se realizan análisis químicos, aunque con menor frecuencia. En el caso de los aditivos, se realizan muestras del diseño de la mezcla, lo que permite reafirmar una mejor dosificación.

- Dosificación por peso, el operador de la planta es el encargado de seguir las dosificaciones finales proporcionadas por el laboratorio, dichas dosificaciones se deben encontrar dentro de los límites establecidos en la respectiva normativa vigente (ASTM C-94). Con conocimiento previo de las características físicas de los agregados pétreos garantiza una proporción adecuada de los mismos. Los componentes son pesados a través de balanzas de reloj y celdas de carga, mismas que se calibran periódicamente.
- El personal encargado del funcionamiento de la planta es capacitado constantemente, con el fin de adquirir la experiencia necesaria.
- De manera rigurosa, se realizan muestreos aleatorios al producto final. Dichas muestras son sometidas a ensayos con el fin de garantizar el comportamiento mecánico del concreto. Las principales pruebas a realizar son revenimiento y resistencia a la compresión, estas pruebas son detalladas a fondo en el capítulo 11.
- En comparación con la mezcla hecha en sitio:
 - la contratación de concreto premezclado implica una notable reducción de costos de mano de obra y renta de maquinaria.
 - no se requiera espacio de almacenamiento para los agregados y el cemento en la obra.
 - se tendrá mayor limpieza en el lugar de trabajo de la obra.
 - se agiliza el proceso de colado, lo que implica reducción de tiempo en el programa de obra.
 -

A. Planta mezcladora

La planta mezcladora, también conocida como planta mezcladora de concreto húmedo, es la encargada de mezclar el concreto a través de una mezcladora estacionaria instalada en dicha planta. De manera más específica, una vez que el concreto es mezclado en su totalidad se procede a la carga del medio de transporte (camiones no agitadores, agitadores o mezcladores subcapítulo 5.4).

Los componentes que integran una planta mezcladora de concreto son los siguientes:

- Tolva de recibimiento de agregados pétreos.
- Zona de almacén para agregados pétreos.
- Estera o banda transportadora.
- Silos destinados para el almacén de cemento.
- Basculas de pesaje para cada componente.
- Zona para recepción de cemento.
- Mezcladora estacionaria (Imagen 5-7).
- Tanques destinados para almacenamiento de aditivos.
- Zona destinada al manejo de excedentes (varía dependiendo de cada planta).
- Depósito de agua equipado con sistema de bombas.
- Zona destinada al almacén de agregados recuperados (varía dependiendo de cada planta).
- Zona de carga del medio de transporte
- Cuarto de control.

La zonificación en la planta se muestra en la Imagen 5-8. Usualmente la producción de estas plantas alcanza volúmenes desde 120 m³/h hasta 430 m³/h, dependiendo del diseño de la planta.

La planta debe contar con básculas perfectamente calibradas para el pesaje de los componentes de la mezcla y así brindar una dosificación exacta. El sistema de dosificación es completamente automatizado. Debido a que el contenido de humedad en los agregados juega un papel relevante en el desempeño de la mezcla. Las básculas de pesaje están equipadas con sondas de humedad que ayudan a regular los contenidos de agua.

Generalmente para la incorporación de materiales en planta se utiliza un mezclador de tambor basculante, debido a que muestran una mayor eficiencia y rentabilidad. El sistema de espas o paletas con las que se equipa la mezcladora estacionaria, son bastante diferentes a las empleadas en un mezclador usual; esto debido a que el mezclador empleado en obra realiza un trabajo considerablemente menor.

El proceso de mezclado se inicia con la transferencia de los componentes desde las básculas de pesaje hasta el mezclador de tambor basculante. Es importante no descargar los aditivos directamente en el mezclador estacionario, ya que esto puede ocasionar reacciones no deseadas. Los tiempos de mezcla dependen exclusivamente del diseño de mezcla, la capacidad y velocidad de rotación del mezclador, especificados por el fabricante. El concreto debe mezclarse hasta obtener una masa homogénea.



Imagen 5-7. Mezclador estacionario de tambor basculante.⁵⁴

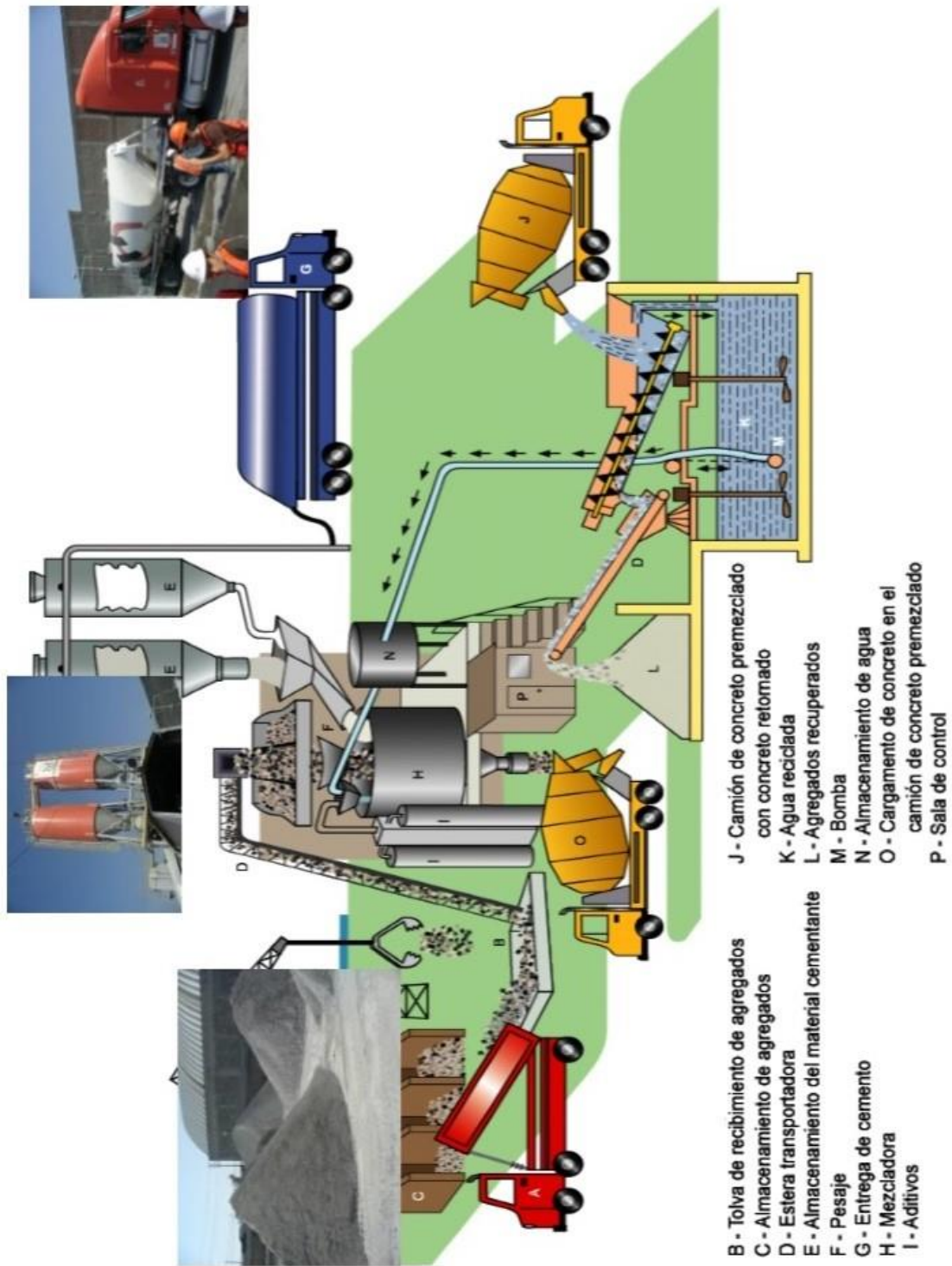


Imagen 5-8. Etapas de la producción del concreto en una planta mezcladora.⁵⁵

⁵⁵ s/a. (s/f). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. Octubre 11, 2018, de aducarte.weebly.com Sitio web: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manejo_de_concreto.pdf

B. Planta dosificadora

Como se mencionó en el subcapítulo 5.2, la planta dosificadora, también conocida como planta mezcladora de concreto seco, se encarga exclusivamente de suministrar los componentes de la mezcla al camión mezclador, con el fin de que dentro de este lleve a cabo el proceso de mezclado camino a obra. De manera general y como mínimo las plantas dosificadoras están equipadas con los siguientes elementos:

- Tolvas para agregados pétreos.
- Báscula de pesaje para agregados pétreos.
- Bandas transportadoras para agregados pétreos.
- Silos para almacenaje de cemento.
- Báscula para pesaje de cemento.
- Tanque para aditivos (según las necesidades de la obra).
- Báscula de aditivos (según las necesidades de la obra).
- Dosificación de agua por pesaje o según se solicite.
- Controladores automatizados de dosificación.
- Chute de descarga

Estas plantas se pueden encontrar con capacidades de producción desde los 20 m³/h hasta los 120 m³/h. Comúnmente las tolvas destinadas para los agregados pétreos se cargan con ayuda de retroexcavadoras.

La operación de mezclado es detallada en el subcapítulo 5.4. Este proceso se da inicio en la planta dosificadora, mismo que comienza con el pesaje en tolvas de los lotes secos de material, para posteriormente ser cargados directamente en los camiones mezcladores. El operador de la planta es responsable de la dosificación exacta del concreto seco, en la secuencia correcta y previamente establecida.

La secuencia para la carga de camiones mezcladores suele ser más rigurosa que la de las plantas mezcladoras de concreto húmedo. Generalmente el primer componente en ser cargado dentro del tambor es una porción del agua total y una porción del agregado grueso, posteriormente se vierte la totalidad de cemento destinado a la mezcla y enseguida se carga el restante de los agregados pétreos para finalmente cargar el restante de la dosis de agua, esto con el objetivo de desprender cualquier rastro de cemento adherido a las paredes del tambor. El proceso se ejemplifica en la Imagen 5-10.

Una de las consecuencias más severas cuando no se sigue adecuadamente la secuencia suministro de los lotes adecuada, es la formación de cúmulos de materia cementante o de agregado fino. La formación de esta conglomeración se da cuando el cemento y/o arena se acumulan en algún sitio del tambor sin mezclarse con el resto de los componentes. Una vez que el suministro de lotes ha finalizado, el operador del camión realiza el mezclado dentro de la ubicación de la planta dosificadora; esto con el fin de supervisar la mezcla antes de partir a obra. La supervisión de la mezcla se realiza con el objetivo de detectar algún tipo de deficiencia.



Imagen 5-9. Planta dosificadora de concreto.⁵⁶

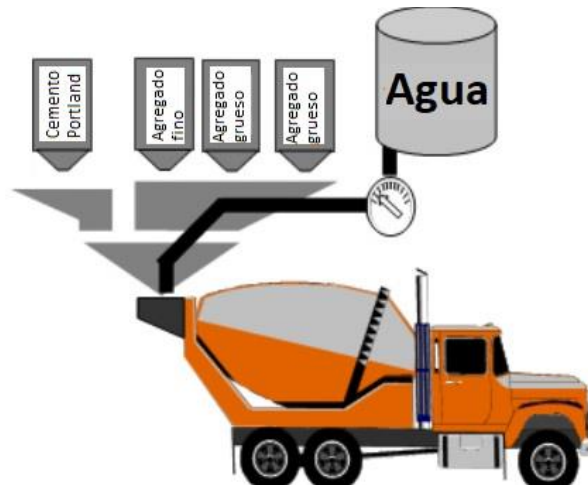


Imagen 5-10. Carga de camión mezclador en planta dosificadora.⁵⁷

5.4. MEZCLADO MECÁNICO

El camión mezclador es el equipo designado para la mezcla mecánica de los componentes del concreto después de haber sido cargados en planta dosificadora. Su objetivo es lograr una mezcla homogénea y conservar durante el trayecto a obra las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

⁵⁶ s/a. (s/f). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. Octubre 11, 2018, de aducarte.weebly.com Sitio web: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manejo_de_concreto.pdf

⁵⁷ Modificado de: Onlinemanuals. (s/f). Section 3: Concrete Plant Operation. Octubre 12, 2018, de Onlinemanuals Sitio web: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/conc_plant_operation.htm

A. Camión mezclador

La operación del mezclado dentro del camión (Imagen 5-11) se da a través de un sistema helicoidal (tornillo sin fin, Imagen 5-13) que mantiene un giro constante dentro del tambor. Por otra parte, también existe la rotación del tambor por medio de un sistema de engranes obedeciendo el comportamiento de la flecha cardan⁵⁸. Existen algunas variaciones en el sistema de operación dependiendo del fabricante, en algunos casos las aspas y el tambor trabajan con motores independientes. Las especificaciones, establecidas por el ASTM C 94, con relación a las especificaciones de mezclado dictan lo siguiente:

- Para el concreto completamente mezclado en camión, se deberán tener de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado designada por el fabricante.
- No se deberá adicionar agua extra a la dosificada en planta.
- Como máximo, la descarga se llevará a cabo una vez alcanzada la 1 ½ h de mezclado o las 300 revoluciones. Se toma como referencia inicial, el momento de contacto del cemento con los agregados pétreos.

Los efectos de prolongación de mezclado son los mismos que para el concreto mezclado en sitio, mencionados anteriormente en el subcapítulo 5.1. De manera general, la velocidad del mezclado afecta la rigidez de la mezcla mientras que el número de revoluciones controla la uniformidad de la mezcla.

Se recomienda lavar las aspas traseras entre cargas, debido a la posible formación de grumos (Imagen 5-12) adheridos a estas. Los cúmulos no sólo afectan el desempeño de las aspas, sino que también para futuras descargas los grumos se podrían desprender y perjudicar el proceso de colocación.



Imagen 5-11. Camión mezclador.⁵⁹

⁵⁸ Sistema mecánico encargado de transmitir el movimiento de rotación de un eje (conductor de movimiento) a otro (receptor de movimiento)

⁵⁹ XCMG. (s/f). Mezclador de concreto de 9 m³. Octubre 11, 2018, de XCMG Sitio web: <https://www.xcmg.com.ni/camion-mezclador-de-concreto-de-9-m3/>



Imagen 5-12. Cúmulos de mezcla.⁶⁰

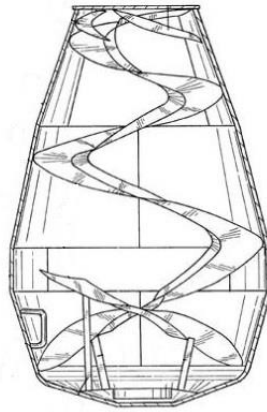


Imagen 5-13. Corte en planta del tambor mezclador.⁶¹

6.PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

6.1. TRANSPORTE

La mayoría de veces los procesos de transporte y colocación suelen confundirse, esta situación se deriva de la secuencia inmediata de los mismos, debido a que la etapa inicial de la colocación es a la vez la fase final dentro del proceso de transporte. Dicha condición conlleva a la ejecución de ambos procedimientos a través de la misma maquinaria.

⁶⁰ Onlinemanuals. (s/f). Section 3: Concrete Plant Operation. Octubre 12, 2018, de Onlinemanuals Sitio web: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/conc_plant_operation.htm

⁶¹ Modificado de: Bardahl. (s/f). La Historia de las Mezcladoras de Concreto. Octubre 12, 2018, de Bardahl Sitio web: <https://www.bardahl.com.mx/la-historia-las-mezcladoras-concreto/>

Con el paso del tiempo la maquinaria para transporte y colocación de concreto, ha evolucionado. La tecnología desarrollada en estos equipos ha permitido que el trabajo a realizar se ejecute con una mayor eficiencia y en tiempos considerablemente menores. Dentro los equipos, más empleados para el transporte de mezcla, se encuentran: baldes, carretillas manuales y motorizadas, tolvas, canalones, tuberías, mangueras, bandas transportadoras, pavimentadoras (extendedores), camiones de volteo, camiones agitadores, camiones de mezclado, dosificadoras móviles, bombas, lanzadoras de concreto, grúas, etc.

Para una mejor comprensión, en el presente subcapítulo, dicha maquinaria se clasificará de acuerdo al tipo de movimiento en el que la mezcla es conducida. Los movimientos considerados serán: horizontal, vertical y una combinación de ambos; la distribución del equipo dentro de esta categorización se expone de manera más amplia en los subcapítulos 6.1.1, 6.1.2 y 6.1.3. Se debe mencionar que, en algunas ocasiones, durante el traslado de la mezcla se suele utilizar más de un equipo para su transporte, como es el caso de las obras que requieren la combinación de transporte horizontal y transporte vertical.

El objetivo principal del proceso de transporte es el traslado de la mezcla en las mejores condiciones, de la manera más rápida y económicamente posible. Emplear la maquinaria inadecuada para la ejecución de dicho proceso, impactaría negativamente los procesos subsecuentes, las propiedades y la calidad final de la mezcla. Dentro de los factores más importantes, para la correcta selección del equipo de transporte, se encuentran:

- Distancia de transporte.
- Condiciones meteorológicas.
- Programa de obra (planeación anticipada)
- Naturaleza de la obra: condiciones del terreno, accesibilidad de la obra y volumen total a colar.
- Altura de la descarga y elemento a colar.
- Tamaño del agregado.
- Tipo de aditivos o adiciones.
- Revenimiento de la mezcla.

Una vez seleccionado el equipo para el transporte del concreto, se debe cerciorar que éste garantice los requerimientos que se enlistan a continuación:

- Capacidad necesaria para transportar el volumen deseado de mezcla.
- Ejecutar el traslado del concreto en el menor tiempo posible.
- Evitar la pérdida y segregación de la mezcla.
- Conservación de las características de la mezcla: relación agua-cemento, revenimiento y contenido de aire.
- Evitar retrasos en la programación respectiva, con objeto de prevenir futuras complicaciones en la colocación y deficiencias en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.
- En algunas ocasiones, al igual que en el proceso de mezclado, la maquinaria destinada para el transporte del concreto se deberá procurar con una lechada y así evitar futuras

adherencias de la mezcla en las paredes y probables deficiencias en procesos subsecuentes.

Si bien, todas las consideraciones mencionadas anteriormente son de suma importancia para garantizar la buena calidad en mezcla y el correcto desempeño de procesos posteriores, en obra el interés respecto a los retrasos dentro de este proceso es relevante.

Una mala planeación, no sólo afecta el aprovechamiento de la mano de obra y la maquinaria sino que también repercute directamente en la mezcla de concreto. Derivadas de los retrasos en el proceso de transporte, el endurecimiento prematuro y el secado de la mezcla, son algunas de las consecuencias con mayor impacto en los subsecuentes procedimientos de colocación (subcapítulo 6.2) y acabado (subcapítulo 7.3). Siempre se deberá tener presente que, como se explicó en el subcapítulo 5.4, sólo se cuenta con 1.5 horas para la colocación del concreto.

6.1.1. MOVIMIENTO HORIZONTAL

El equipo clasificado en esta categoría, es el que cumple el traslado de la mezcla en posturas horizontales, con mínimos desniveles o donde no existan importantes limitaciones en el acceso. Dentro del conjunto de maquinaria, que precisa dichas consideraciones, se encuentran: carretillas manuales y motorizadas, canalones, camiones no agitadores, camiones agitadores, camiones mezcladores, dosificadoras móviles y pavimentadoras. La descripción detallada de dicho equipo se da a continuación.

A. Carretillas manuales y motorizadas

Se recomienda que para dicho equipo, las vías de acceso al elemento sean planas, con fin de impedir la heterogeneidad en la mezcla. Recomendada para distancias de acarreo cortas. Para las carretillas manuales (Imagen 6-1) las distancias máximas de traslado son de 60 m y capacidad de 0.2 m³ y para las carretillas motorizadas (Imagen 6-2) son de 300 m y capacidad de 0.3 m³.



*Imagen 6-1. Carretilla manual.*⁶²

⁶² Wheelbarrow-wheel. (s/f). Carretilla Mexicana de trabajo pesado. Octubre 15, 2018, de Wheelbarrow-wheel Sitio web: <http://www.wheelbarrow-wheel.es/9-16-heavy-duty-wheelbarrow.html>



Imagen 6-2. Carretilla motorizada.⁶³

B. Canales

El empleo de canales se da cuando existen desniveles mínimos en el destino final de colocación de la mezcla. Las canaletas deberán ser metálicas o contar con algún recubrimiento que permita el fácil deslizamiento de la mezcla, tener sección transversal curva y evitar los derrames de concreto por los bordes. En climas extremos, las canaletas, deberán ser cubiertas para evitar la evaporación del agua y así consecuencias en las propiedades finales del concreto.

La pendiente en canaletas deberá ser constante y suficiente para conservar el revenimiento deseado y la homogeneidad de la mezcla. Es importante recordar que deberá existir continuidad entre el tramo final de la canaleta y el elemento a colar. Debido al peso del concreto la longitud de instalación de canales no deberá ser mayor a 3m, si se desea una distancia mayor se deberá tener la pendiente necesaria para el deslizamiento y si la instalación es elevada requerirá ser apuntalada para evitar deflexiones.

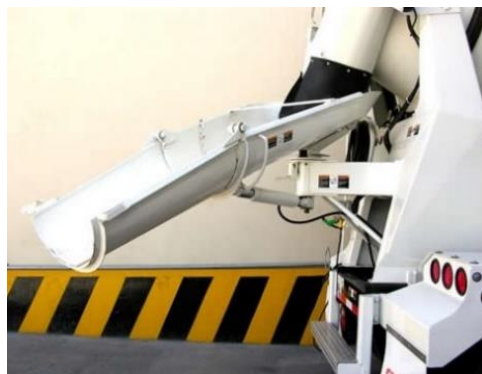


Imagen 6-3. Canales de descarga.⁶⁴

⁶³ Mini-bagre. (s/f). Minidumper Lumag MD 300R kolesový 4x4. Octubre 15, 2018, de Mini-bagre Sitio web: <https://www.mini-bagre.sk/minidumper-standard/128-minidumper-lumag-md-300r-kolesovy-4x4.html>

⁶⁴ Cinsamex. (s/f). Canales abatibles. Octubre 15, 2018, de Cinsamex Sitio web: <http://www.cinsamex.com/parts/spa/default.asp>

C. Camión no agitador

El también conocido como camión de volteo (Imagen 6-4), consiste en una caja de techo abierto montada en un camión, provista con salida para la descarga en la parte trasera inferior. Con motivo de evitar la segregación de la mezcla y su pérdida de revenimiento, el camión no agitador se designa para distancias cortas de acarreo sobre superficies lisas. La caja contenedora debe ser metálica, lisa y equipada con compuertas que permitan controlar la descarga del concreto. No se permitirán fugas de mezcla y en climas adversos, la caja deberá ser cubierta con lona para proteger al concreto. Normalmente la capacidad de los camiones no agitadores oscilan entre los 7 m³ y los 14 m³, aunque pueden encontrarse en distintas capacidades.

Para este equipo en particular el concreto debe ser entregado en obra en un tiempo no mayor a 30-45 minutos, considerados desde la adición del agua e inicio del mezclado hasta su descarga total, con excepción del concreto que utilice aditivos retardantes. La operación de descarga del camión no agitador requiere de una altura libre y sin obstrucciones para llevar a cabo el levantamiento de la caja.



Imagen 6-4. Camión no agitador.⁶⁵

D. Camión agitador

El también llamado camión revolovedor, es un medio de transporte agitador de la mezcla. Similar a los camiones mezcladores está provisto de un tambor que se hace girar a velocidad de carga durante la carga y luego se reduce a la velocidad de agitación establecida.

El tiempo de mezclado parcial debe ser el mínimo requerido para entremezclar los ingredientes. Toda revolución adicional de la mezcladora, para producir la uniformidad del concreto deseada, debe encontrarse dentro de los límites de la velocidad de agitación.

Los tiempos para la descarga pueden ser los mismos establecidos para el caso del camión mezclador. Debido a la similitud con los camiones mezcladores, dichos camiones se encuentran en

⁶⁵ Tepetate.com. (s/f). CAMION 14 M3 (SEMANA). Octubre 15, 2018, de Kiubix Sitio web: <http://tepetate.com/camion/37-camion-14-m3.html>

el mercado con las mismas capacidades. Cabe destacar que a diferencia del camión mezclador, su capacidad podrá alcanzar el 80% de la totalidad del tambor.



Imagen 6-5. Camión agitador y corte longitudinal del interior.⁶⁶

E. Camión mezclador

Debido a que este medio de transporte es a su vez un equipo de mezclado, su descripción se expuso anteriormente en el subcapítulo 5.4.

F. Dosificadoras móviles

Debido a que este medio de transporte es a su vez un equipo de mezclado, su descripción se expuso anteriormente en el subcapítulo 5.1.3.

G. Pavimentadora

También llamados esparcidores de tornillo o extendedores, las pavimentadoras están provistas de un motor diésel y bombas hidráulicas, esta maquinaria es designada para la colocación en áreas grandes de concreto, tales como losas, pisos e incluso muros con pendientes suaves. Los anchos para esparcir el concreto van desde los 2m hasta los 7m e incluso 12m, con espesores desde los 15 cm hasta los 40 cm.

Las pavimentadoras cuentan con un sistema de tornillo sinfín que permite la distribución homogénea del concreto. El concreto se alimenta por la parte frontal de la maquinaria y está en su trayecto, forma una capa uniforme a lo ancho del equipo, posteriormente dicha capa será vibrada por medio del sistema de vibradores instalados dentro de la misma pavimentadora. Se puede llegar a tener una configuración de hasta 18 vibradores, esto depende exclusivamente del ancho al que esté trabajando la máquina. Finalmente por la parte trasera de la pavimentadora y a través del molde deslizante se compacta la capa de concreto.

⁶⁶ Concretos Premezclados de Grupo Romasa. (s/f). ¿Por qué Romasa es su mejor Opción?. Octubre 15, 2018, de Concretos Premezclados de Grupo Romasa Sitio web: <http://www.romasacv.com.mx/concretera/mejoropcion.php> y https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Foton-Concrete-Mixer-Truck_enuyysn_1.html

Dentro del funcionamiento de esta maquinaria existe la posibilidad de implementar el procedimiento de acabado a través de la instalación de planchas alisadoras, dispuestas longitudinalmente y una placa de enrase oscilante dispuesta de manera transversal. La instalación de dichas placas nos dan un acabado liso y sin porosidades.

Para su operación, las pavimentadoras se encuentran equipadas con cables guías donde se apoyan los sensores de dirección y altura. El movimiento de la maquinaria se da a través de trenes de orugas direccionables accionados hidráulicamente. Dichas pavimentadoras suelen manipular 30 m/min.



Imagen 6-6. Fase inicial de la colocación del concreto con pavimentadora.⁶⁷



Imagen 6-7. Fase final de la colocación del concreto con pavimentadora.⁶⁸

⁶⁷ IMOCOM. (2014). Pavimentadoras de Concreto Power Pavers. Octubre 15, 2018, de IMOCOM Sitio web: <http://www.imocom.com/construccion/concretos/pavimentacion-y-extrusion/pavimentadoras-de-concreto-power-pavers>

6.1.2. MOVIMIENTO VERTICAL

El equipo clasificado en esta categoría, es el que cumple el traslado de la mezcla en posturas verticales o de caída libre. Dentro del conjunto de maquinaria, que precisa dichas consideraciones, se encuentran: baldes, cubos, tolvas, grúas y lanzadoras de concreto. La descripción detallada de dicho equipo se da a continuación.

A. Baldes

También llamadas cubetas, utilizadas principalmente como apoyo para un medio de transporte secundario, este equipo es utilizado para casi la totalidad de mezclas. Normalmente en obra, se utilizan con capacidad de 20 litros. En caso de que el concreto caiga del contenedor, no se recomienda ser regresado por motivos de contaminación. Recomendados para acarreo cortos.



Imagen 6-8. Cubeta 20 litros.⁶⁹

B. Cubos, tolvas o bachas

De sección cilíndrico-cónico o rectangular Destinada para acarreo cortos de concreto, cuenta con un sistema de descarga combinada (central y lateral) la apertura se da con palanca. La abertura para la evacuación de la mezcla deberá estar habilitada para la pertinente detención y reanudación de la descarga. La dimensión de la abertura para la descarga debe ser de al menos cinco veces el TMA de la mezcla en cuestión. Las paredes en la tolva deberán tener una inclinación de al menos 60° respecto a la horizontal. Equipos provistos con cavidades para adaptación a elevador 153 x 55 mm. Capacidades desde los 150 litros hasta los 1500 litros.

⁶⁸ IMOCOM. (2014). Pavimentadoras de Concreto Power Pavers. Octubre 15, 2018, de IMOCOM Sitio web: <http://www.imocom.com/construccion/concretos/pavimentacion-y-extrusion/pavimentadoras-de-concreto-power-pavers>

⁶⁹ Mercadolibre. (s/f). Cubetas De 20 Lts De Plastico. Octubre 15, 2018, de Mercadolibre Sitio web: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-635807822-cubetas-de-20-lts-de-plastico-_JM



Imagen 6-9. Cubo para transporte de concreto.⁷⁰



Imagen 6-10. Tolva para transporte de concreto.⁷¹

C. Grúas

También conocidas como grúas torre, las grúas de izaje son equipos de elevación con funcionamiento electromecánico. Dentro de la construcción, están destinadas al levantamiento o movimiento de distintos equipos, estructuras o materiales dentro de la obra.

En tareas específicas, como el traslado de concreto, se suelen utilizar dispositivos de apoyo, los cuales permiten una ejecución más segura y controlada. El uso de grúa, en obras de gran magnitud, se ha vuelto de vital importancia debido a que facilita varios procesos de construcción. Dichas grúas son capaces de levantar cargas de bastantes toneladas desde unos pocos metros hasta cientos de metros.

Debido a las dimensiones del equipo y a la importancia de las tareas que realiza, se deberán extremar precauciones al realizar izaje, las cuales se enlistan a continuación:

⁷⁰ Boscaro srl. (s/f). CUBOS PARA HORMIGÓN. Octubre 15, 2018, de Boscaro srl Sitio web: <http://www.boscaroitalia.com/Cubo-para-hormig%C3%B3n-con-cavidades-para-elevador.aspx>

⁷¹ Infocomercial . (s/f). Baldes para vaciado de concreto. Octubre 15, 2018, de Infocomercial Sitio web: https://www.infocomercial.com/p/baldes-para-vaciado-de-concreto-_88665.php

- La grúa deberá instalarse sobre una superficie firme, estable y nivelada.
- Revisar la estabilidad de la carga y la condición de los distintos accesorios que ayudan a ésta, cables, ganchos, cadenas y eslingas.
- Nunca se deberá operar la grúa a menos de 3 metros de distancia de líneas de energía y postes de luz, debido a la probable formación de algún arco eléctrico.
- Por ningún motivo se sobrepasará la capacidad de carga indicada.
- La carga debe levantarse de manera vertical (nunca con balanceo de las mismas).
- En caso de vientos fuertes (60 Km/h) se detendrán los trabajos con grúa torre y se dejará fuera de servicio.

Los dispositivos de apoyo para el traslado del concreto son los cubos, tolvas o bachas, descritos anteriormente en el apartado B, Imagen 6-11. Las grúas torre pueden alcanzar alturas desde los 51 m hasta los 80 m, y con capacidades de cargas desde 1 ton hasta 40 ton, aunque se pueden encontrar con distintos alcances y capacidad de carga dependiendo del proyecto y el fabricante.



Imagen 6-11. Grúa torre para transporte de concreto, equipada con tolva.⁷²

D. Lanzadoras de concreto

Existen dos maneras de proyectar el concreto, vía húmeda y vía seca. Para el concreto lanzado vía húmeda, siendo flujo denso el más común, se hace uso de una bomba estacionaria. La descripción de dicha bomba se realiza en el subcapítulo 6.1.3, sin embargo la operación, para concreto bombeado tradicionalmente varía en comparación al lanzado. En la Imagen 6-13 se expone la operación de la bomba estacionaria para concreto lanzado vía húmeda.

La diferencia principal respecto al concreto bombeado tradicionalmente estriba en que el requerimiento para la pulsación debe ser lo más baja posible a fin de conseguir un lanzado constante en la boquilla. El proceso inicia cargando el concreto en la bomba desde la tolva y se da

⁷² Grúas y Equipos García | Grúas Industriales y Equipo. (s/f). ETIQUETA: GRUAS INDUSTRIALES. Octubre 15, 2018, de Grúas y Equipos García | Grúas Industriales y Equipo Sitio web: <http://www.gruasyequiposgarcia.com/tag/gruas-industriales/>

paso a través de mangueras y tubos. El aire comprimido se incorpora en la boquilla, desde el compresor de aire mediante mangueras separadas. El concreto proyectado vía seca, al igual que en la vía húmeda, se transporta usando aire comprimido. El transporte mediante máquinas tipo rotor (Imagen 6-12) es el más común. La operación para la proyección seca se esquematiza en la Imagen 6-14.



Imagen 6-12. Máquina de rotor para proyección seca de concreto.⁷³

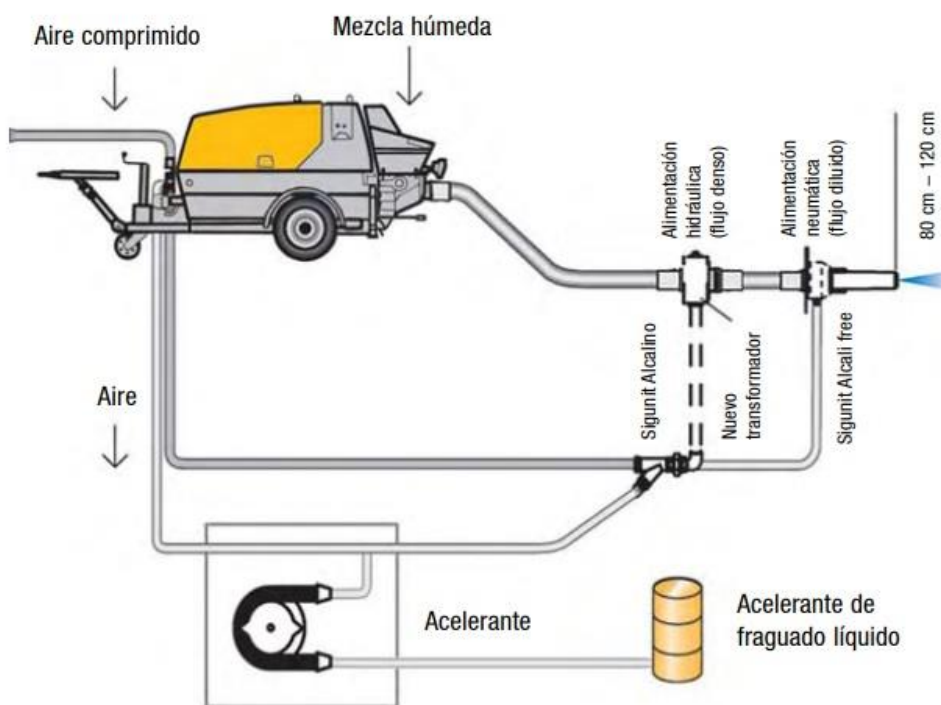


Imagen 6-13. Operación de la bomba estacionaria para la proyección vía húmeda del concreto.⁷⁴

⁷³ Schlumpf, J. & Hofler, J. (2004). Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles. -: Putzmeister AG y Sika AG

⁷⁴ Schlumpf, J. & Hofler, J. (2004). Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles. -: Putzmeister AG y Sika AG

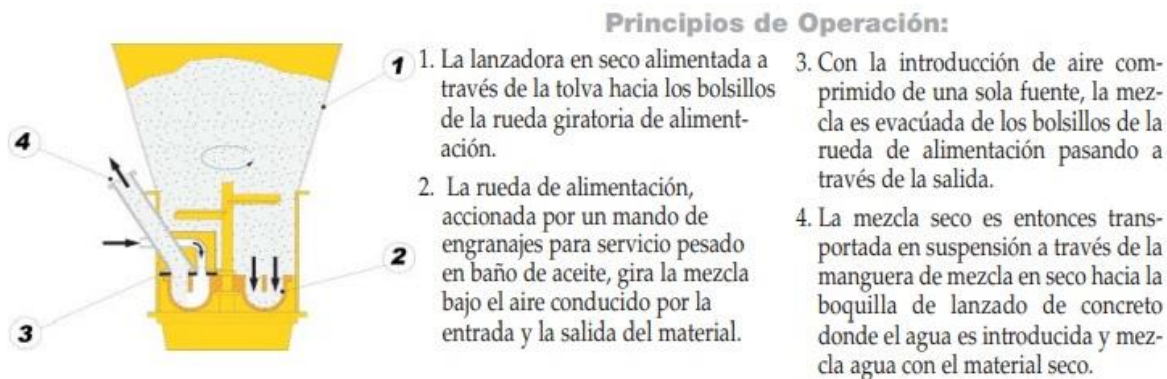


Imagen 6-14. Operación máquina de rotor para proyección seca de concreto.⁷⁵

Las máquinas rotor se pueden encontrar en capacidades desde 1.5 m³/h hasta 6.9 m³/h incluso se pueden encontrar capacidades mayores o menores dependiendo del fabricante.

6.1.3. MOVIMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL

El equipo clasificado en esta categoría, es el que tiene la posibilidad de trasladar la mezcla de concreto tanto en sentido horizontal como en sentido vertical o simplemente en dirección ascendente. Dentro del conjunto de maquinaria, que precisa dichas consideraciones, se encuentran: bandas transportadoras, instalación de tubería y bombas.

A. Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras realizan el traslado de concreto en estado plástico desde un punto de suministro hasta el elemento a colar o a algún sistema de transporte secundario. Para no afectar la maquinaria ni el proceso de colocación, el suministro de la mezcla deberá ser continuo.

Inicialmente el concreto tendrá recepción en una tolva, dando paso a una cinta uniforme de mezcla a lo largo de la banda. La inclinación apropiada para el acarreo de concreto deberá ser la que impida la segregación de los agregados y pasta cementante. Dicha pendiente se establece en función de la mezcla y el diseño de la banda transportadora.

Se tendrá especial precaución en los puntos de carga y descarga, zona donde la segregación tiende a incrementarse. En el tramo final de la banda se deberá disponer de una limpiadora y canaletas de caída, esto con objeto de impedir la pérdida de mortero. El desplazamiento de la transportadora, durante el proceso de traslado de concreto en la banda, tendrá que ser planificado con antelación y se deberá reducir al mínimo. De la misma manera que para el sistema de canaletas y tuberías, las bandas transportadoras, en casos de climas severos deberán contar con una cobertura para evitar afectaciones en el revenimiento, temperatura de la mezcla y por consiguiente pérdidas de agua en la mezcla.

⁷⁵ Reedpumps. (s/f). LANZADORA de CONCRETO. En Fichas técnicas (2). E.U.A.: Reedpumps.

La clasificación de las bandas transportadoras se da de la siguiente manera:

- Transportadoras portátiles o autosuficientes: destinadas para la colocación de corto alcance y poca altura. Implementadas con ruedas o instaladas sobre camiones mezcladores para ser desplazados con facilidad. Con operación de banda menor a 150 m/min, *Imagen 6-15*.
- Transportadores alimentadores o en serie: empleadas para la colocación de concreto a largo alcance. Funcionan en sistema de serie con velocidades de banda altas 150 m/min.
- Transportadoras de caga lateral o esparcidoras: capacitadas para lograr una colocación de mezcla a partir de esparcidores radiales o de descarga lineal. La velocidad de banda, al igual que los transportadores alimentadores, operará con valores menores a 150 m/min.



Imagen 6-15. Banda transportadora de concreto.⁷⁶

B. Bombas

Conducción de concreto por medio de presión, facilitando la colocación final de la mezcla a través de tuberías rígidas o flexibles. La presión es suministrada gracias a una bomba, ya sea de pistón, aire comprimido o presión comprimida. La práctica de bombeo puede implementarse en la mayoría de las construcciones; pero es mayormente requerida en las obras con espacios reducidos para la maniobra de maquinaria de construcción, tanto como el almacenaje y manipulación de materiales destinados a la elaboración de la mezcla.

Esté método requiere de un abastecimiento constante de concreto, el cual deberá ser dispuesto en una tolva de recepción instalada en el sistema de bombeo. Se deberá tener especial cuidado en el control de calidad del concreto suministrado para éste método; esto con el fin de evitar cualquier afectación a la bomba u obstrucción en la tubería adaptada. En general, para cualquier sistema de bombeo, se tomarán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se deberá tener control sobre la granulometría de los agregados en el diseño de la mezcla, esto con el fin de obtener un concreto con una manejabilidad favorable.
- Se deberá lubricar el arranque de la bomba y el sistema de tuberías con ayuda de una lechada, con el propósito de facilitar el desplazamiento del concreto.

⁷⁶ *Maquinaria PY. (s/f). CINTA TRANSPORTADORA DE HORMIGÓN. Septiembre 12, 2018, de Maquinaria PY Sitio web: <https://maquinariapy.cl/maquinaria-arriendo/cinta-transportadora-de-hormigon/>*

- La proporción sugerida de agregado fino comprenderá entre los 350 Kg/m³ y los 400 Kg/m³ de concreto.
- El revenimiento recomendado tendrá valores entre los 5 cm y 18 cm y, dependiendo de las propiedades solicitadas en la mezcla.
- Se recomienda el uso de aditivos o adiciones en la mezcla que favorezcan la consistencia, viscosidad y cohesión del concreto, con objeto de incrementar la trabajabilidad y la bombeabilidad.
- Si el concreto en cuestión contiene aire incluido deberá presentar valores en la mezcla del 3% hasta 5%5%, ya que en estas condiciones se presenta retraso en la exudación del concreto e incrementa la trabajabilidad y por consiguiente la bombeabilidad. De lo contrario, si la dosificación de aire incluido rebasa un 6% o 7% el concreto tiende a tornarse denso por lo que dificulta y en algunos casos imposibilita el bombeo.
- Verificar que la bomba funcione adecuadamente para poder proveer la presión necesaria para el desplazamiento del concreto hasta su destino final.
- De acuerdo al sistema de bombeo utilizado la capacidad de entrega varía entre los 8 m³/h y los 70 m³/h.
- Dependiendo del sistema de bombeo empleado, se sugiere un alcance efectivo horizontal de los 91 m hasta 305 m y vertical de los 30 m hasta los 91 m.
- El diámetro recomendado para el sistema de tubería es de mínimo 3 TMA (tamaño máximo del agregado).
- La tubería y accesorios de la misma, no deberán ser de aluminio. El aluminio es altamente reactivo al contacto con el cemento; dicha reacción genera hidrógeno, el cual propicia vacíos en el concreto endurecido afectando negativamente la resistencia final.
- El sistema de tubería no debe formar ángulos muy agudos ya que puede ocasionar obstrucciones que impactan de manera negativa la eficiencia de la bomba.
- Para la selección de la bomba, se deberá considerar la altura en la que se desea colocar el concreto; esto a causa de la disminución en la eficiencia de la bomba a medida que la altura incrementa.
- Al finalizar el proceso, se deberá vaciar y lavar el equipo para conservar un buen mantenimiento del sistema de bombeo.

Existen diversos equipos de bombeo, la clasificación principal se da en dos: bomba estacionaria y bomba pluma. Ambas se detallan a continuación.

B.1. Bomba estacionaria: bomba montada sobre un chasis con uno o dos ejes sobre llantas, remolcada por un camión; o bien bomba montada sobre el mismo camión. Para su uso deberá ser estacionada y afianzada en el sitio designado dentro de la obra; posteriormente se llevará a cabo la instalación de la tubería rígida, unida mediante accesorios (abrazaderas y codos). De ser necesario en el tramo final se conectará una manguera flexible para facilitar la descarga, *Imagen 6-16*.

Dentro de las bombas estacionarias se encuentran varios sistemas de funcionamiento, se deberá elegir el más conveniente de acuerdo a las necesidades de la obra.

- Bomba de pistón: compuestas de una tolva de recepción, una válvula de entrada y otra de salida. Cuando se da inicio al funcionamiento, la válvula de entrada se abre y la

válvula de salida se cierra. El pistón, por medio de un empuje, propicia el movimiento de concreto hacia la válvula de descarga; la cual se abre y da paso al recorrido del concreto por la tubería hasta llegar a su destino final. Existen variantes en el sistema, como el funcionamiento por medio de dos pistones. La operación de ambos pistones es inversa, cuando uno retro-acciona, el otro es impulsado hacia adelante; esto permite el flujo uniforme de la mezcla. El diseño de las bombas y su desempeño varía en función del fabricante.

Usualmente se distinguen dos tipos de operación en la bomba: mecánico (bielas o cadenas) o hidráulico (aceite o agua). La puesta en marcha de la bomba se da gracias a motores, ya sean de gasolina, diésel o eléctricos. La capacidad de la tolva de recepción usualmente varía de tamaño, pero suele encontrarse entre $0.1 m^3$ y $1.5 m^3$, dichas tolvas están equipadas con aspas re-mezcladoras para conservar la uniformidad de la mezcla

- Bombas neumáticas: la operación de este sistema ocurre dentro de un tanque de presión, diseñado para un funcionamiento estimulado a través de la inyección de aire comprimido. La operación se basa en el depósito del concreto al tanque de presión. Una vez sellado el tanque herméticamente se inyecta aire comprimido por la parte superior del mismo, promoviendo el desplazamiento del concreto.

Durante el recorrido del concreto dentro del sistema interno de la bomba, el aire es expulsado por medio de una caja mezcladora; evitando así la segregación en la mezcla. Una vez que el aire es expulsado, el tanque se vuelve a llenar de mezcla y la operación se repite. Si existe la necesidad de bombear grandes volúmenes de concreto, se instalarán varios tanques, con la finalidad de dar continuidad al suministro. El aire comprimido se abastece por medio de compresores con capacidades mínimas de $3.5 m^3/min$.

- Bombas de retacado: habilitada con una tolva de recepción con aspas re-mezcladoras y una manguera flexible, que se conectará al fondo de la misma. Dicha manguera se dará paso hasta conectar con un tambor que se encuentra al alto vacío, recorriendo su periferia hasta darse salida por la parte superior. El interior del tambor estará provisto de rodillos que girarán sobre la manguera, propiciando el movimiento del concreto hacia la superficie; los rodillos serán accionados hidráulicamente.



Imagen 6-16. Bomba estacionaria.⁷⁷

⁷⁷ IMOCOM. (s/f). Bomba de Concreto City Pump 2112 HP Putzmeister. Septiembre 13, 2018, de IMOCOM Sitio web: <http://www.imocom.com/construccion/concretos/bombeo/bomba-de-concreto-city-pump-2112-hp-putzmeister>

El acarreo del concreto bobeado se da principalmente por medio de tubería rígida o la combinación de tubería rígida y mangueras flexibles. La tubería utilizada normalmente posee diámetros de los 8 cm a los 20 cm, siendo los de 9 cm los más utilizados. La longitud de un tubo rígido alcanza los 3 m, esto por motivos de maniobra para el personal de la obra.

En cuanto a las mangueras flexibles, pueden estar fabricadas ya sea de hule o de metal flexible. La diferencia en desempeño, de las tuberías rígidas y flexibles, es notable; esto a causa de la resistencia al movimiento que impone una tubería rígida. Al igual que en sistema de canaletas, las pendiente en la tubería deberá ser constante y suficiente para conservar el revenimiento deseado y la homogeneidad de la mezcla.

La tubería empleada deberá poseer las siguientes características: una sección transversal circular, diámetro de al menos 8⁸ veces el TMA de la mezcla, rigidez suficiente para evitar la deformación en la instalación inicial de la misma, proporcionar una descarga vertical. Con fin de lubricar dicho instrumentos de colocación, se verterá una lechada (cemento y agua) antes de realizar la descarga del concreto. El revenimiento recomendado para el empleo tuberías es de 7.5 cm a 15 cm. Es importante recordar que deberá existir continuidad entre tramos, desde la conexión inicial a la bomba hasta el tramo final de la tubería y el elemento a colar

Por otro lado, no se deberá olvidar que la misma rigidez de la tubería se tendrá que ver reflejada en los conectores que se emplearan a lo largo de la instalación. Dichos conectores deberán ser capaces de resistir la manipulación durante el proceso, la desalineación y la insuficiencia de apoyo. Los tipos de conectores varían de acuerdo a las características de la tubería (diámetro, material, posicionamiento, etc.). Se deberá cerciorar que dichas uniones permiten el libre paso del concreto. A continuación se enlistan los accesorios frecuentemente son utilizados en obra.

- Uniones giratorias y distribuidores rotatorios.
- Válvulas de seguridad, con fin de evitar el retroceso del flujo en tuberías.
- Válvulas de cambio, con el fin de cambiar la dirección del caudal.
- Conversores, con objeto de conectar diferentes calibres de tubos.



Imagen 6-17. Tubería de concreto tapada.⁷⁸

⁷⁸ JED Alliance Group, Inc.. (s/f). Mi Bomba de Hormigón Está Taponada, Que Hago?. Octubre 15, 2018, de JED Alliance Group, Inc. Sitio web: <http://www.liveequipment.net/blog-es/mi-bomba-de-hormigon-esta-taponada-que-hago/>

B.2. Bomba pluma: montada sobre un camión, esta bomba está habilitada con un brazo plegable conformado de secciones de tubería rígida. Dicho brazo está capacitado para extenderse en toda longitud. Una vez que el camión se encuentre estacionado y en una superficie plana, cualquier posible movimiento de éste deberá ser bloqueado por medio de arañas, calzas, etc. En caso de que el terreno no se encuentre nivelado se implementará el uso de estabilizadoras, se debe considerar que las cargas transmitidas al suelo son puntuales y relativamente altas. En la sección final del brazo se conectará una manguera flexible para facilitar la colocación final. La longitud de los brazos varía dependiendo del diseño de la bomba. Previo a la instalación de la bomba se confirmará que la presencia de cables aéreos no dificulten o impidan el proceso de bombeo, esto a causa del posible arco eléctrico que pueda generar el brazo y los cables, *Imagen 6-18.*



Imagen 6-18. Bomba pluma.⁷⁹

A manera de resumen e identificación de características, se expone en la tabla 4-2, un cuadro comparativo de ventajas y desventajas de todos los medios de transporte mencionados anteriormente.

⁷⁹ PLANAR EQUIPAMENTOS. (s/f). BOMBA LANÇA. Septiembre 13, 2018, de PLANAR EQUIPAMENTOS Sitio web: <http://www.planarequipamentos.com.br/equipamentos/bomba-lanca>

Tabla 6-1. Métodos y equipos para el transporte y manejo del concreto.⁸⁰

Equipo	Tipo de trabajo más adecuado para el equipo	Ventajas	Desventajas
Baldes, cubos y tolvas	Usados con las grúas, cablevías y helicópteros para la construcción de edificios y presas. Transporta el concreto directamente del punto de descarga en la central hasta la cimbra (encofrado) o hasta un punto secundario de descarga.	Permite el aprovechamiento total de la versatilidad de las grúas, cablevías y helicópteros. Descarga limpia. Gran variedad de capacidades.	La descarga es poco controlada debido a que se manipula manualmente.
Bombas	Usadas para transportar concreto directamente desde el punto de descarga hasta la cimbra o el punto de descarga secundario.	La tubería ocupa poco espacio y se puede instalar fácilmente. La descarga es continua. La bomba puede trasladar el concreto vertical y horizontalmente. Suministro a obras pequeñas y grandes. La bomba pluma es apta para construcciones altas.	Se vuelve imperativo el suministro constante de concreto fresco, taponeamiento de tuberías debido a posibles retrasos.
Camión agitador	Empleado para transporte de concreto para pavimentos, estructuras y edificios. La descarga deberá ser completada en un máximo de 1.5 horas, este límite podrá ser ignorado bajo el uso de aditivos retardantes.	La descarga es controlada. Bajo una buena operación la mezcla mantiene la uniformidad y homogeneidad en la descarga.	El tiempo de descarga queda a disposición de la organización en obra. El personal y equipos necesarios deberán estar listos para la recepción del concreto.
Camión mezclador	Empleado como transporte de concreto para pavimentos, estructuras y edificios. La descarga deberá ser completada en un máximo de 1.5 horas, este límite podrá ser ignorado bajo el uso de aditivos retardantes.	La mezcla de concreto puede ser realizada 100% dentro del camión. Las condiciones de descarga son las mismas que en el camión agitador.	El tiempo de descarga queda a disposición de la organización en obra. El personal y equipos necesarios deberán estar listos para la recepción del concreto. El control de calidad de la mezcla no es tan bueno como en la planta mezcladora.
Camión no agitador	Empleado para transportar concreto en distancias cortas sobre superficies planas.	El costo del equipo no agitador es menor que el de los camiones agitadores o mezcladores.	Posible segregación de la mezcla y pérdida del revenimiento. Se requiere de una altura libre para la descarga.

⁸⁰ Modificado de Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J.. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association.

Tabla 6-1. Métodos y equipos para el transporte y manejo del concreto.

Equipo	Tipo de trabajo más adecuado para el equipo	Ventajas	Desventajas
Canalones	Traslado de concreto a un nivel inferior.	Bajo costo y facilidad de maniobrar. Colocación por efecto de la gravedad.	Necesidad de soporte adecuado. Posible segregación en las extremidades.
Carretillas manuales y motorizadas	Designadas para acarreo cortos en superficies planas, adecuadas para todo tipo de obra, especialmente donde se tienen restricciones en la accesibilidad de la obra.	Versátiles, ideales para obras que evolucionan constantemente.	Lentas y de trabajo intensivo.
Pavimentadoras	Usadas para esparcir concreto sobre grandes áreas.	Alcances ajustables, velocidades variables. La maquinaria lleva a cabo el proceso de transporte, consolidación y en algunos casos el acabado.	Costos elevados.
Bandas transportadoras	Ideales para transportar el concreto a nivel inferior, mismo nivel o superior. Normalmente se posicionan entre los puntos de descarga principal y secundaria.	Alcance ajustable, velocidades variables. Facilita la colocación rápida de concreto.	Es necesaria algún tipo de adaptación en la extremidad de descarga para evitar la segregación. En climas adversos se necesita de cubiertas.
Grúas	Equipo adecuado para trabajo arriba del nivel de terreno.	No solo transportan concreto si no otro tipo de materiales, estructuras y maquinaria.	Tiene solo un gancho de carga. Es necesario un riguroso planeamiento para la operación. En cuestión de costos es conveniente mantener trabajando a la grúa el mayor tiempo posible.
Dosificadoras volumétricas	Empleadas en la producción intermitente de concreto en obra.	Camión con sistema de dosificación y mezclado incluido que solo es operado por una sola persona. Mayor control en calidad de la mezcla.	Requiere un buen y constante mantenimiento. Continuidad en el lote de componentes.
Lanzadoras de concreto	Adecuadas para colocar concreto en sitios difíciles con secciones finas y grandes áreas. Ideales para recubrimiento de taludes, reparación de concreto, estabilización de ciertas estructuras.	Ideales para la colocación de concreto sin cimbra.	Usualmente la calidad del trabajo depende de la destreza del operador de la lanzadora.

6.2. COLOCACIÓN

El objetivo principal de la colocación (colado), es depositar el concreto en su destino final o lo más cerca posible, este proceso debe ejecutarse en el menor tiempo posible y con la mayor eficacia, con fin de evitar la segregación en la mezcla y dar paso a un buen proceso de compactación; procedimiento que se describirá en el subcapítulo 7.

Como se mencionó en el subcapítulo anterior, la colocación se da inicio con la transferencia de la mezcla de concreto desde el medio de transporte hasta su posición final en el elemento a colar. Dicho de otra manera la colocación se efectúa con el equipo de transporte ya descrito en el subcapítulo 6.1. De acuerdo a las recomendaciones hechas en dicho subcapítulo, se debe recordar que la selección del equipo se hará considerando la capacidad para la colocación de concreto en la manera más económica posible y sin afectar la calidad final de la mezcla.

El transporte de la mezcla no es el único proceso que se ve involucrado en la colocación del concreto. De manera semejante, el proceso de compactación se da inmediatamente después de la fase final del proceso de colocación, casi de manera simultánea. Debido a esta situación se deberá garantizar el buen desempeño de ambas actividades y así evadir dificultades durante su ejecución paralela.

Realizando una buena práctica de ambas tareas se asegura el adecuado comportamiento de las propiedades mecánicas más importantes en el concreto endurecido, tales como la resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

Dentro de cualquier proceso una buena planeación es fundamental para la prevención de futuras complicaciones, de manera que la colocación no es la excepción. Antes de llevar a cabo dicho proceso se deberá asegurar la suficiente capacidad de colocación, tanto en mano de obra como en maquinaria; esto con el objetivo de mantener la plasticidad del concreto y evitar las indeseables juntas frías.

Otro punto a vigilar es la programación del suministro de concreto, ya que la frecuencia de entrega tendrá que ser compatible con la capacidad de mano de obra y maquinaria destinada para la colocación. Rigurosamente antes de comenzar la colocación, se deberá realizar una inspección final de los elementos a colar, teniendo especial cuidado en la cimbra, juntas de construcción, acero de refuerzo, entre otros detalles. A continuación, se presentan una serie de recomendaciones generales para lograr la correcta ejecución del colado.

- La mezcla deberá ser colocada en su destino final o lo más próxima posible.
- La disposición del concreto se dará en capas uniformes. Evitar la formación de cúmulos o capas inclinadas.
- La disposición del concreto deberá ser horizontal y con capas del mismo espesor (15 cm a 30 cm en elementos comunes y 35 cm a 50 cm en elementos masivos), el espesor de la capa debe permitir la remoción el aire atrapado en la capa inferior del elemento, de lo contrario se propicia la aparición de futuras fallas.
- Se permite la colocación de concreto a manera de caída libre, exceptuando a las mezclas con tendencia a la segregación.

- El proceso de colado deberá ejecutarse en el menor tiempo posible, se debe considerar que la frecuencia de colocación y vibrado deberá ser la misma.
- Se tendrán consideraciones especiales en los elementos que requieran un acabado especial.
- Evitar retrasos en ambos procesos y prevenir la formación de juntas frías.
- Evitar impactos fuertes entre los agregados de la mezcla, cimbras y/o acero de refuerzo.
- Para lograr la construcción de un elemento monolítico, durante el proceso de colado, al colocar una capa nueva de concreto, se deberá asegurar que la antecesora se encuentre completamente compactada y en estado plástico.
- Para las secciones profundas se recomienda el uso de tuberías para garantizar la exactitud de colocación y la mínima segregación posible.
- El concreto deberá ser descargado y colocado en plano vertical, tanto en elementos horizontales como en elementos con pendiente, propiciando la consolidación natural. Para pendientes mayores a 10° se recurrirá al método de deslizamiento.
- El concreto no deberá ser manipulado de manera horizontal. Si el elemento demanda el movimiento horizontal, se deberá hacer en la distancia más corta posible.
- Prevenir la acumulación de agua en los extremos, rincones y en las caras de las cimbras, esto con el fin de evitar saturaciones de agua, posibles fallas y reducción de la resistencia final.

En la Imagen 6-19, Imagen 6-20, e Imagen 6-21⁸¹, de acuerdo al American Concrete Institute ACI 304R-00, se expone de manera gráfica y comparativa el proceso de colocación de concreto por medio de distintos equipos de transporte y en distintas condiciones.

⁸¹ Modificado de: American Concrete Institute. (2000). *ACI 304R-00. Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*. E.U.A: American Concrete Institute

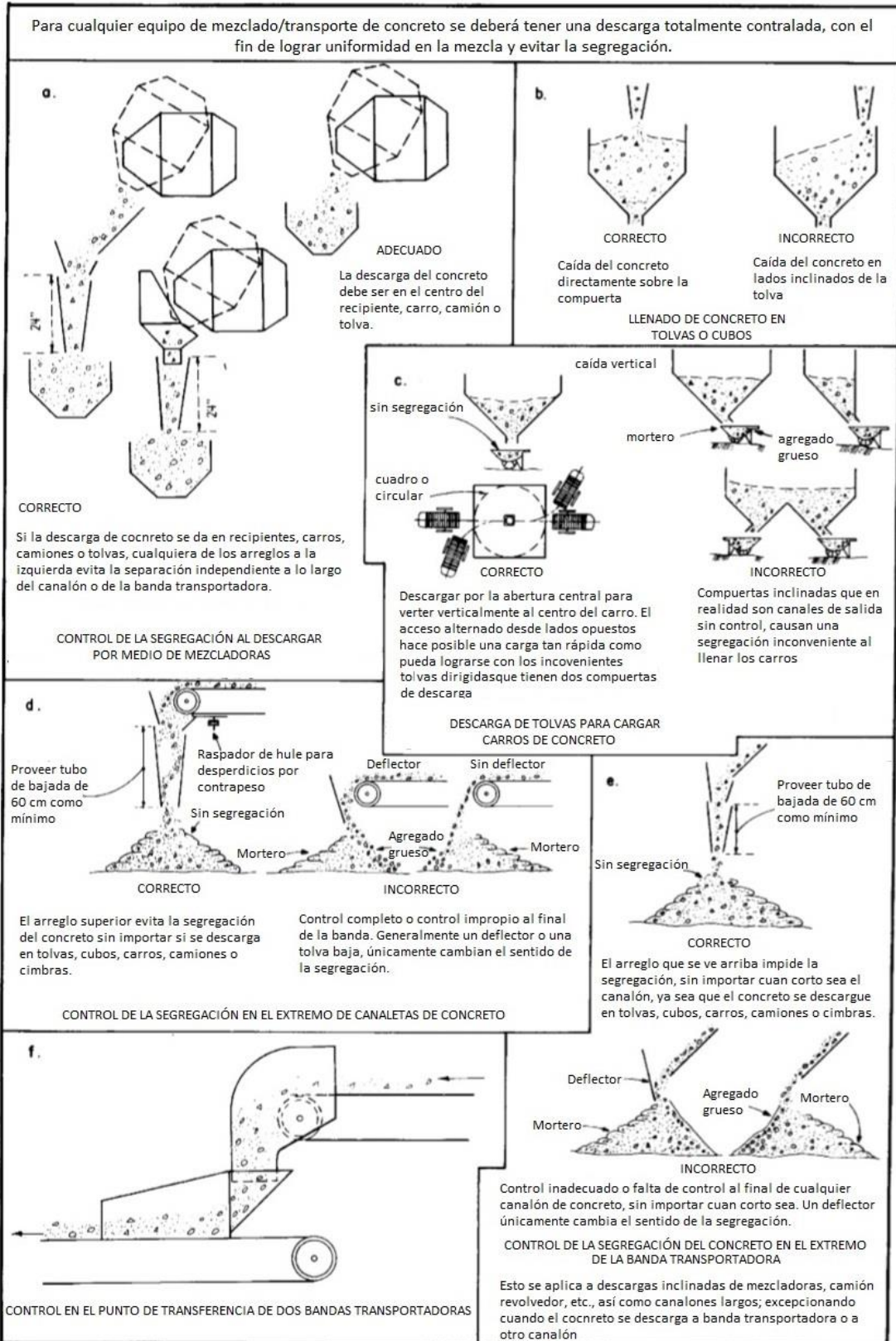


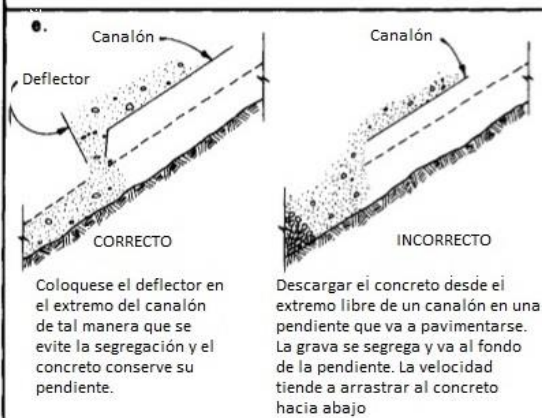
Imagen 6-19. Métodos de colocación, parte 1.

EL CONCRETO SE SEGREGARA SEVERAMENTE AL MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE

<p>a.</p> <p>Canalón o carretilla</p> <p>Canalón o carretilla</p> <p>CORRECTO</p> <p>INCORRECTO</p> <p>Descarguese el concreto en un colector con una manguera ligera y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero están limpios hasta que los cubra el concreto.</p> <p>Permite que el concreto del camión o la carretilla se golpee contra la cimbra y rebote en las varillas y la misma cimbra, causando segregación y huecos en el fondo.</p> <p>COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS</p>	<p>b.</p> <p>El revenimiento se reduce conforme se va llenando la cimbra</p> <p>Revenimiento constante</p> <p>CORRECTO</p> <p>INCORRECTO</p> <p>Necesariamente el concreto es más húmedo en el fondo de las cimbras, estrechas y profundas, y se torna más seco conforme se alcanza la superficie. La contracción por asentamiento es mínima.</p> <p>Usar el mismo revenimiento en la parte inferior como superior. Un alto revenimiento en la parte superior ocasiona un exceso de agua, decoloración, pérdida de calidad y durabilidad en la cara superior.</p> <p>CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS</p>
<p>c.</p> <p>Manguera portátil que descarga en una bolsa o en una abertura de la cimbra.</p> <p>Mortero</p> <p>Agregado grueso</p> <p>CORRECTO</p> <p>INCORRECTO</p> <p>Bolsa</p> <p>Manguera portátil que descarga en una bolsa o en una abertura de la cimbra</p> <p>Agregado grueso</p> <p>CORRECTO</p> <p>INCORRECTO</p> <p>Caida vertical del concreto en bolsas exteriores debajo de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se detenga y fluya fácilmente por la cimbra sin presentar segregación.</p> <p>Permitir que el concreto fluya a gran velocidad dentro de las cimbras o que forme un ángulo con la vertical. Esto invariablemente resulta en segregación.</p> <p>COLOCACIÓN EN MUROS PROFUNDOS O CURVOS A TRAVÉS DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA</p>	<p>d.</p> <p>Cubo manejado por grúa que permanece unido a ella</p> <p>Aire comprimido de la grúa para la compuerta del cubo</p> <p>El cono colector debajo de la compuerta del cubo unido permanentemente a la estructura</p> <p>Cimbra para proteger de daños al cono colector</p> <p>Cuerda para cerrar la compuerta, neumáticamente desde la cimbra</p> <p>Conducto de caída flexible conectado al cono colector. El conducto se dobla en plano cuando no está cayendo concreto, permitiendo ser empleado para tamaños pequeños de agregado, además de ser suficientemente grande para tamaños grandes.</p> <p>COLOCACIÓN DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS</p>

Imagen 6-20. Métodos de colocación, parte 2.

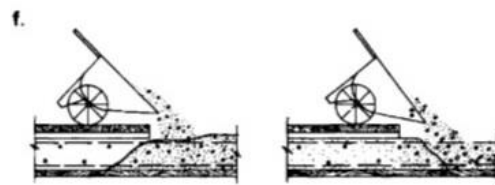
EL CONCRETO SE SEGREGARÁ SEVERAMENTE A MENOS QUE SEA DEPOSITADO ADECUADAMENTE EN LAS CIMBRAS



Coloque el deflector en el extremo del canalón de tal manera que se evite la segregación y el concreto conserve su pendiente.

Descargar el concreto desde el extremo libre de un canalón en una pendiente que va a pavimentarse. La grava se segrega y va al fondo de la pendiente. La velocidad tiende a arrastrar al concreto hacia abajo

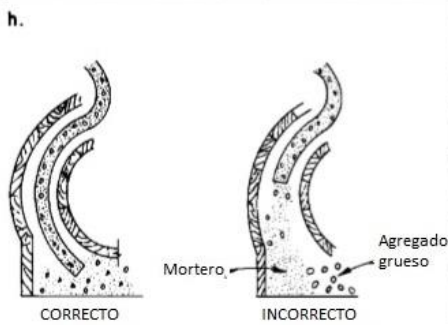
COLOCACIÓN DE CONCRETO SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA



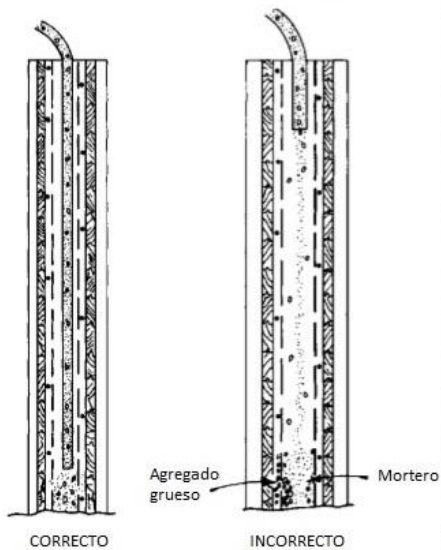
Descargar el concreto hacia atrás del ya colado.

Descargar el concreto sobre el ya colado

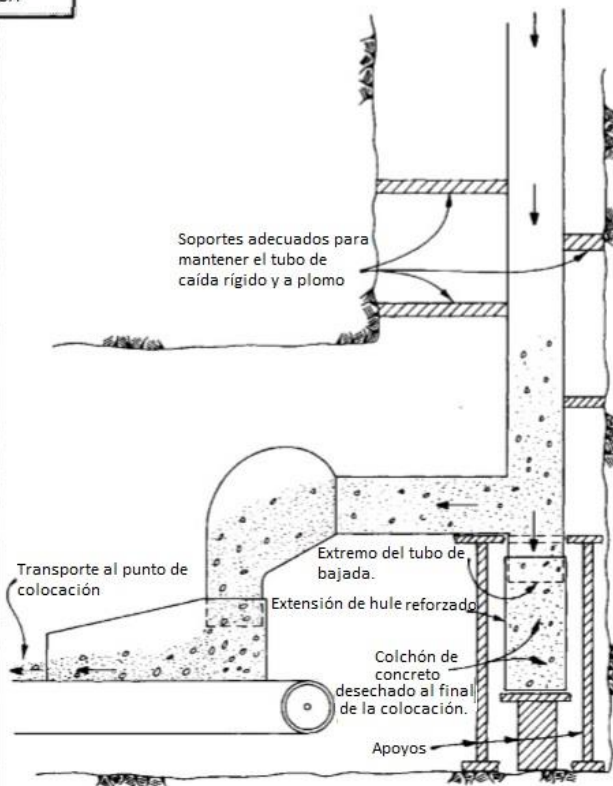
COLOCACIÓN DEL CONCRETO DESDE CARRILLAS



Colado del concreto por medio de bomba y mangueras, en cimbras hondas y curvas.



Concreto bombeado en una cimbra angosta para muro por medio de manguera.



COLOCACIÓN DE CONCRETO MEDIANTE TUBO DE CAÍDA

Nota: El bote de abertura resistente desde el cual fluye el concreto de la tolva de descarga a la banda transportadora, cubeta, canalón o bomba se puede sustituir por un tubo de hule reforzado.

Para el concreto lanzado, de acuerdo al ACI 506R-16, la colocación se tendrá que ejecutar desde un área libre sin obstrucciones para lanzar el concreto. El concreto se colocará primero en las esquinas, huecos y finalmente al resto del área. Antes de colocar el concreto se deberá asegurar un área limpia de rebotes de concreto lanzado. La boquilla de donde se lanza el concreto tendrá que apuntar en sentido perpendicular a la superficie receptora. Para cubrir el área de las esquinas la boquilla apuntara a 45° del ángulo de la esquina. Se deberá interrumpir la labor si existen corrientes de aire que causen segregación de la mezcla. No se deberá reutilizar el concreto de rebote.

De acuerdo a la ACI 316R, para la pavimentación, la maquinaria empleada generalmente opera desde el frente de recepción. Una vez colocado el concreto, la maquinaria lo distribuye y consolida sobre todo el ancho de la superficie a colar. Se deberá evitar la formación de surcos, la esquematización de la colocación en la pavimentación se esquematiza en la Imagen 6-22.



Imagen 6-22. Colocación de concreto por medio de una pavimentadora.⁸²

⁸² Modificado de: American Concrete Institute. (1991). ACI 325.9R-91. GUIDE FOR CONSTRUCTION OF CONCRETE PAVEMENTS AND CONCRETE BASES. E.U.A.: American Concrete Institute.

7.PROCEDIMIENTO DE CONSOLIDACIÓN, CURADO Y ACABADO

7.1. CONSOLIDACIÓN

Dentro de toda mezcla de concreto, queda atrapada cierta cantidad de aire, como consecuencia de los procesos de mezclado, transporte y colocación. Si el aire no se remueve de la mezcla puede reflejarse en el concreto endurecido en forma de poros, los cuales tendrán una distribución y tamaño variable afectando negativamente la resistencia o acabado del elemento. Con objeto de remover dicho aire y lograr una mezcla más compacta, surge la necesidad de la consolidación del concreto fresco. La remoción del aire en la mezcla y su debida compactación dan paso a una mezcla mayormente cohesiva. Esencialmente existen dos tipos de consolidación: manual y mecánica. La descripción de cada método se desarrollara en los subcapítulos 7.1.1 y 7.1.2 respectivamente. Así mismo dentro de la consolidación mecánica se realiza una clasificación de acuerdo al tipo de vibrado, dicha clasificación se desglosa en vibración interna y vibración externa. Las deficiencias en el proceso de compactación se reflejaran en una calidad pobre del concreto.

En general, las afectaciones resultan en segregación de la mezcla, permeabilidad, disminución de la resistencia y durabilidad del concreto.

7.1.1. CONSOLIDACIÓN MANUAL

La consolidación manual es empleada para trabajar mezclas no estructurales y especímenes o elementos pequeños de concreto. El proceso se da por medio del varillado manual. La herramienta para ejecutar este proceso es una varilla con la longitud suficiente para penetrar el fondo de cada capa depositada, también deberá ser lo suficientemente esbelta para moverse a través de la cimbra, agregados pétreos y el acero de refuerzo. Las mezclas con presencia de aditivos en el diseño de la mezcla para facilitar la consolidación manual, no deberán compactarse por medios mecánicos ya que puede sufrir afectaciones debido a la acción mecánica intensa.

7.1.2. CONSOLIDACIÓN MECÁNICA

Siendo el procedimiento mayormente utilizado en obra, el proceso de vibrado consiste en someter al concreto fresco a vibraciones, las cuáles serán aplicadas justo al momento de la descarga del concreto, logrando licuar temporalmente el mortero y desestabilizar la mezcla hasta que esta busque asentarse.

El equipo designado para la vibración generalmente funcionará por medio de presión, aire comprimido o electricidad. Los efectos inmediatos de la vibración en la mezcla se aprecian en un concreto más fluido, homogéneo y con mayor adherencia al acero de refuerzo. Dentro de los beneficios a largo plazo, se pueden enlistar los siguientes: incremento en la resistencia y durabilidad, distribución homogénea de las partículas del concreto y en su caso, mantener las dosis de aire incluido dentro de las especificaciones previstas.

El equipo seleccionado para la vibración se elige con base en las características de la mezcla, específicamente en la trabajabilidad y consistencia, tipo de cimbra, contenido de acero de refuerzo, condiciones para la colocación, etc.

7.1.2.1. VIBRACIÓN INTERNA

A comparación de los otros métodos de vibración, este suele ser el de mayor eficiencia; debido al contacto directo del equipo con la mezcla de concreto. El equipo empleado para esta técnica es el vibrador interno, su descripción y modo de empleo se detallan a continuación.

A. Vibradores de inmersión

También conocidos como vibradores de aguja. Este sistema consiste básicamente en una barra o cabeza de metal vibratoria conectada por medio de una extensión flexible a un motor, que trabaje por medio de electricidad, gasolina o aire. Los diámetros de cabeza varían de los 20 mm hasta los 120 mm. Existe una variante de este tipo de vibrador, donde el motor se encuentra incluido directamente en la cabeza y el diámetro mínimo será de 50 mm. Los vibradores de inmersión son los más utilizados para la consolidación del concreto en muros, columnas, vigas y losas.

La elección del diámetro, frecuencia y la consistencia y trabajabilidad de la mezcla afectaran directamente el desempeño del vibrador. La frecuencia de vibración para diámetros pequeños, usualmente oscila entre los 160 Hz hasta los 250 Hz y amplitudes desde los 0.4 mm hasta los 0.8 mm. La frecuencia decrece y la amplitud incrementa conforme el diámetro de la cabeza aumenta. El radio efectivo de vibración incrementa a medida que aumenta el diámetro. La Tabla 7-1 expone las aplicaciones sugeridas de acuerdo al tamaño de diámetro y frecuencia recomendada.

Una vez que la mezcla ha sido colocada y de acuerdo al American Concrete Institute ACI 309, el proceso de consolidación da inicio sumergiendo el vibrador de manera vertical, este deberá penetrar hasta la totalidad de la nueva capa colocada y hasta 150 mm de la capa anterior, esta práctica evitará la aparición de algún plano de falla en la junta. En elementos de poca altura, se permitirá la colocación inclinada u horizontal del vibrador, esto con el fin de que la cabeza quede inmersa en su totalidad.

Por ningún motivo se deberá utilizar el vibrador como herramienta para mover el concreto de manera horizontal. Si el vibrador se encuentra inclinado o en posición horizontal quedará prohibido el arrastre del vibrador de forma aleatoria.

La barra de metal deberá tener libertad de movimiento, de manera que la vibración se efectúe cada al menos cada 0.5 m o en su defecto cada 1 m, durante un periodo de 5 seg a 15 seg; aunque

en general el tiempo de inmersión dependerá directamente del tipo de mezcla y elemento a colar. La recomendación en tiempo para la extracción del vibrador se dará a una velocidad de 80 mm/seg, esto con el fin de evitar la inclusión de aire no deseado. Se debe procurar mover el concreto para rellenar las oquedades hechas por el vibrador, existe la posibilidad de no mover el concreto si el vibrador se sumerge cerca de este orificio, ya que la vibración en la mezcla resuelve la dificultad. La Imagen 7-2 expone de manera gráfica y comparativa los métodos a obedecer dentro del proceso de consolidación del concreto.

Uno de los indicadores más prácticos para reconocer las características de un buen vibrado, es la identificación de cambios en la apariencia de la superficie del elemento en cuestión. Entre los cambios más notables se distinguen el sumergimiento de partículas grandes de agregado, nivelación general de la superficie, aparición de una película fina de mortero sobre la superficie, interrupción de la aparición de burbujas de aire atrapado en la superficie.



Imagen 7-1. Vibrador de inmersión.⁸³

⁸³ Mecalux Chile Ltda. (s/f). Vibrador de inmersión (GX-160). Octubre 17, 2018, de Mecalux Chile Ltda Sitio web: <https://www.logismarket.cl/roccochile/vibrador-de-inmersion/1874576763-7718274522-p.html>

Tabla 7-1. Características y aplicaciones de los vibradores internos.⁸⁴

Grupo	Diámetro de cabeza, mm	Frecuencia recomendada, vibraciones por minuto	Aplicación
1	20 – 40	9000 – 15,000	Sugeridos para mezclas de alta trabajabilidad, en secciones angostas. Son utilizados como complemento a la vibración externa. Altamente recomendados para elementos donde el acero de refuerzo se encuentra en grandes cantidades, como elementos pretensados. Por su tamaño, también tiene la versatilidad de ser empleado en laboratorio para la fabricación de especímenes de ensayo.
2	30 – 60	8,500 – 12,500	Sugerido para mezclas trabajables destinadas a elementos esbeltos, como muros, columnas, vigas y losas delgadas. Al igual que los vibradores del primer grupo, estos se utilizan como complemento a la vibración externa.
3	50 – 90	8,000 – 12,000	Propuesto para trabajar mezclas rígidas de bajo revenimiento en elementos comunes como lo son columnas, vigas, losas pesadas. Es posible operar en conjuntos para vibrar la totalidad de las losas de pavimentación.
4	80 – 150	7,000 – 10,500	Designados para trabajar mezclas de muy bajo revenimiento, mezclas estructurales y el colados masivos y construcción pesada (central eléctrica, pilares de puentes pesados y cimentaciones).
5	130 – 150	5,500 – 8,500	Empleados exclusivamente para vibración de colados masivos, se recomienda ampliamente utilizar dos equipos a la vez para mejores resultados.

⁸⁴ Modificado de: Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

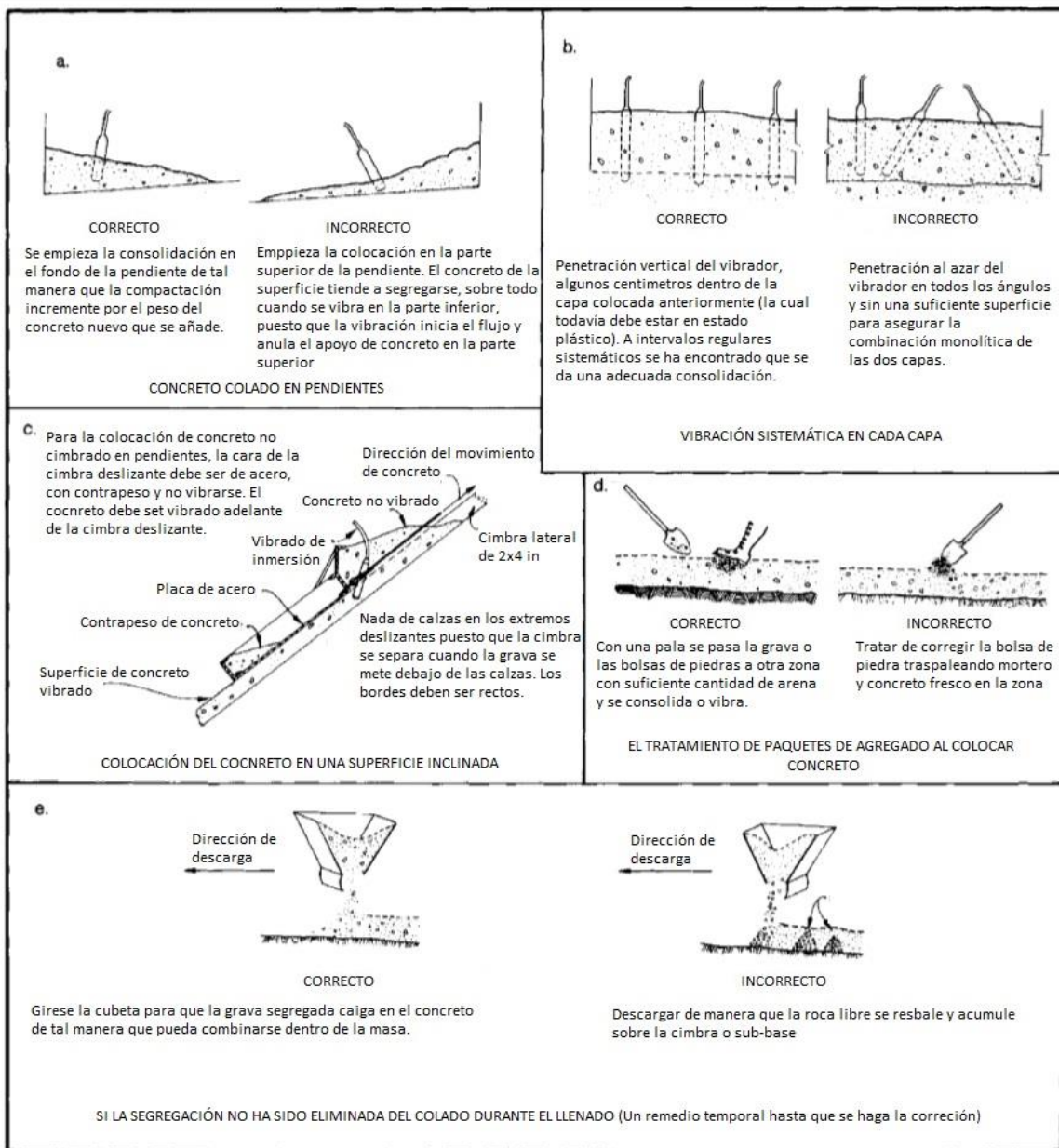


Imagen 7-2. Métodos correctos e incorrectos de consolidación.⁸⁵

Si la mezcla y el elemento llegan a requerir vibración a través de las cimbras o acero de refuerzo, no se deberá hacer uso de los vibradores internos ya que podrían afectar severamente su desempeño.

⁸⁵ Modificado de: American Concrete Institute. (2000). *ACI 304R-00. Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*. E.U.A: American Concrete Institute

Existe la posibilidad de implementar la revibración. Esta técnica es principalmente utilizada para mejorar la adherencia entre el concreto, el acero de refuerzo y entre las mismas capas de concreto, liberar la posible agua atrapada y posibles vacíos adicionales de aire atrapado.

Es importante recordar que el vibrador no deberá hacer contacto directo con el acero de refuerzo ya que el efecto sería el opuesto y la adherencia se perdería, provocando fisuras en el elemento. Si se lleva a cabo una correcta ejecución de la revibración, la resistencia de compresión, podría verse incrementada hasta en un 15%; el porcentaje real depende de la trabajabilidad de la mezcla. Si la revibración es aplicada en destiempo, el concreto podría sufrir daños.

7.1.2.2. VIBRACIÓN EXTERNA

Vibración aplicada por medio de la cimbra o a través de la superficie de concreto, sin la necesidad de sumergir el equipo seleccionado. Dentro del conjunto de maquinaria empleada para esta técnica, se encuentran los vibradores externos, reglas vibratorias, mesas vibratorias y rodillos de compactación; dicha maquinaria se detalla a continuación.

A. Vibrador externo

También llamado vibrador de abrazadera (Imagen 7-3), este equipo se sujeta rígidamente a la parte externa de la cimbra por medio de una placa de acero sujeta a una viga I, este sistema permitirá que los efectos de la vibración se transfieran al concreto. De esta manera, la cimbra y la mezcla, recibirán los movimientos deseados. No obstante, dichos movimientos no deberán alterar la solidez de la cimbra, de lo contrario se presentarían fugas de la mezcla, consolidación inadecuada y el elemento quedaría deforme. Normalmente este método de vibración se utiliza en tres casos:

- En elementos, cuyo espesor o armado, impida el uso de un vibrador interno o en la consolidación de elementos pretensados.
- Complemento a la vibración interna.
- Consolidación de mezclas rígidas, dónde es imposible la implementación de vibración interna.

El objetivo del vibrador externo es el mismo que el del vibrador de inmersión, aunque la frecuencia de vibración varía por encontrarse en condiciones diferentes. Su distribución en el elemento deberá ser uniforme y no deberán ser colocados en la parte más alta del elemento, al menos un metro abajo de la superficie, esto con fin de evitar el movimiento de cimbra y posibles formaciones de huecos entre la cimbra y el concreto. La frecuencia de este tipo de vibradores oscila entre los 50 Hz y 150 Hz. El tiempo de vibrado es considerablemente mayor, oscila entre 1 min y 2 min. El proceso se controla a través de dispositivos electrónicos que regulan la frecuencia y amplitud de los vibradores, su motor puede ser eléctrico o neumático.



Imagen 7-3. Vibrador externo.⁸⁶

B. Reglas vibratorias

Este equipo transfiere la vibración a través de la superficie del elemento, esta técnica de vibración demanda que en el diseño de mezcla se considere un asentamiento no mayor a los 75 mm. Esta especificación se deberá cumplir imperativamente, ya que un exceso de mortero superficial originado por este tipo de vibración impactaría negativamente la calidad final del concreto.

Ésta técnica de vibración está destinada a la consolidación de pisos o superficies planas con espesores de hasta 250 mm y deberá ser auxiliada por vibración interna en los extremos del elemento, debido a que la consolidación en esta zona por parte de esta maquinaria es deficiente. Es recomendable que los elementos a consolidar por medio de este método tengan la menor cantidad posible de acero de refuerzo (malla electrosoldada), de lo contrario complementar con vibración interna en la totalidad del área del elemento. Estos equipos tienen frecuencias de 50 Hz hasta 100 Hz y tiempos recomendados de 5 seg.

Existen variantes de esta maquinaria, las más destacadas son la regla vibratoria manual (Imagen 7-4) y la regla vibratoria de módulos (Imagen 7-5). La regla vibratoria manual funciona por medio de un motor de gasolina o eléctrico. Consiste en una lámina rectangular de aluminio. Las medidas varían de acuerdo al fabricante y a las especificaciones en obra. Normalmente se encuentran con longitudes de 1m hasta 6m. Una vez colocado el concreto, el proceso consiste en recorrer el área a compactar, con la regla en contacto con la superficie.

La regla vibratoria modular, consiste en una estructura tipo armadura de aluminio, se encuentran en longitudes desde los 4m hasta los 28m. Su proceso inicia apoyando el equipo en los carriles designados y ajustando la elevación de la regla. Después de haber esparcido el concreto, el equipo se mueve mecánicamente sobre toda la superficie para compactarla y al mismo tiempo proporcionar un acabado inicial.

⁸⁶ Club Unimaq. (s/f). ¿Proyectos complejos? Use un vibrador externo. Octubre 17, 2018, de Positive Communications Sitio web: <http://www.clubunimaq.com.pe/proyectos-complejos-use-un-vibrador-externo/> y Interempresas Media, S.L.U.. (s/f). Vibradores externos: para la producción de los elementos prefabricados de hormigón. Octubre 17, 2018, de Interempresas Media, S.L.U. Sitio web: <http://www.interempresas.net/Equipos-Construccion/FeriaVirtual/Producto-Vibradores-externos-Wacker-Neuson-AR-42-98610.html>

Las consecuencias de la acumulación de mortero y agregados finos en la superficie del elemento, derivan en: una reducción importante de la resistencia al desgaste, la descamación del elemento y la aparición de fisuras superficiales o grietas de contracción plástica en casos extremos.



Imagen 7-4. Regla vibratoria manual.⁸⁷



Imagen 7-5. Regla vibratoria de módulos.⁸⁸

⁸⁷ Bromberg. (s/f). REGLA VIBRATORIA. Octubre 17, 2018, de Bromberg Sitio web: <http://www.bromberg.com.uy/construccion/hormigon/1037-regla-vibratoria> y Autek Maquinaria. (s/f). Reglas Vibratorias de Módulos Wacker HC100. Octubre 17, 2018, de Autek Maquinaria Sitio web: <https://autekmaquinaria.com.mx/equipo-para-la-construccion/reglas-vibratorias-de-modulos-wacker-hc100/>

⁸⁸ Bromberg. (s/f). REGLA VIBRATORIA. Octubre 17, 2018, de Bromberg Sitio web: <http://www.bromberg.com.uy/construccion/hormigon/1037-regla-vibratoria> y Autek Maquinaria. (s/f). Reglas Vibratorias Manuales WACKER Modelo P35A. Octubre 17, 2018, de Autek Maquinaria Sitio web: <https://autekmaquinaria.com.mx/equipo-para-la-construccion/reglas-vibratorias-manuales-wacker-p35a/>

C. Mesas vibratorias

Debido a su tipo de funcionamiento se clasifica como una variación del sistema de vibración externa, la mesa vibratoria puede ser considerada como un tipo de cimbra sujeta a un vibrador. El sistema consiste en un tablero rígido equipado en la parte inferior con un equipo generador de vibraciones. El tipo de movimientos originados por el generador ocasionan que la transmisión final de vibraciones se dé únicamente en dirección vertical. Este método de vibración oscila en frecuencias de 25 Hz y 120 Hz. La mesa deberá contar con la rigidez suficiente para soportar el peso del molde del elemento a colar y el de la masa de concreto que se verterá en éste. Este método de vibración se emplea frecuentemente para la producción de elementos prefabricados.



Imagen 7-6. Mesa vibratoria.⁸⁹

D. Vibración por rodillos

Igualmente considerado como un tipo de compactación externa del concreto. Los rodillos lisos estáticos y los rodillos lisos vibratorios (Imagen 7-7) normalmente se emplean en la construcción de pavimentos y presas. Las mezclas recomendadas serán concretos secos. Dentro de los rodillos lisos estáticos, se encuentran los que disponen de ruedas neumáticas y los rodillos lisos metálicos.

Estos equipos trabajan a través de la aplicación presión estática por medio de los rodillos. Principalmente se destinan para la compactación de suelos al mismo tiempo que llevan a cabo la expulsión de aire del elemento. Los concretos que reciban este tipo de consolidación deberán poseer altas resistencias. El proceso consiste en recorrer el área a compactar una vez extendido el concreto.

⁸⁹ ACI . (1996). ACI 309R-96. Guide for Consolidation of Concrete. E.U.A.: ACI.



Imagen 7-7. Rodillo vibratorio.⁹⁰

7.2. CURADO

Derivado de la reacción química de la mezcla del cemento con el agua se origina el proceso llamado hidratación, el cual se caracteriza por dotar al concreto de la resistencia deseada. La presencia de evaporación excesiva de agua puede retardar de manera significativa este proceso. Otra de las consecuencias derivadas de la pérdida de agua, es la contracción plástica del elemento generando esfuerzos de tensión en la superficie que se seca; si dichos esfuerzos se presentan cuando el concreto no ha alcanzado su resistencia final pueden surgir agrietamientos importantes.

Se denomina “curado” a la implementación de procedimientos aprovechados para promover la hidratación del cemento. Como se mencionó, el curado tiene un impacto relevante en el desarrollo de una mayor: resistencia a compresión en el concreto (Imagen 7-8), durabilidad, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia a la congelación y deshielo. Si se lleva a cabo un buen desempeño del proceso de curado, el desarrollo de las propiedades de la mezcla es muy rápido en los primeros días.

El objetivo del curado es propiciar la saturación del concreto o su máxima aproximación posible, por medio del control de la temperatura y humedad a partir de la superficie hacia dentro de la mezcla. A excepción de que se implemente la técnica de curado acelerado, es imperativo mantener una temperatura constante en el proceso de curado con el objetivo de evitar choques térmicos que generan fisuras en el elemento.

⁹⁰ ARQUIGRAFICO. (s/f). Maquinas de construcción – Equipos de Compactación. Octubre 17, 2018, de ARQUIGRAFICO Sitio web: <https://arquigrafico.com/maquinas-de-construccion-equipos-de-compactacion/> y Viarural. (s/f). EQUIPOS DE COMPACTACION - DOBLE RODILLO. Octubre 17, 2018, de Viarural Sitio web: <https://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/maquinariavial/bomag-pesado/compactadora-doble-rodillo-30-a-45.htm>

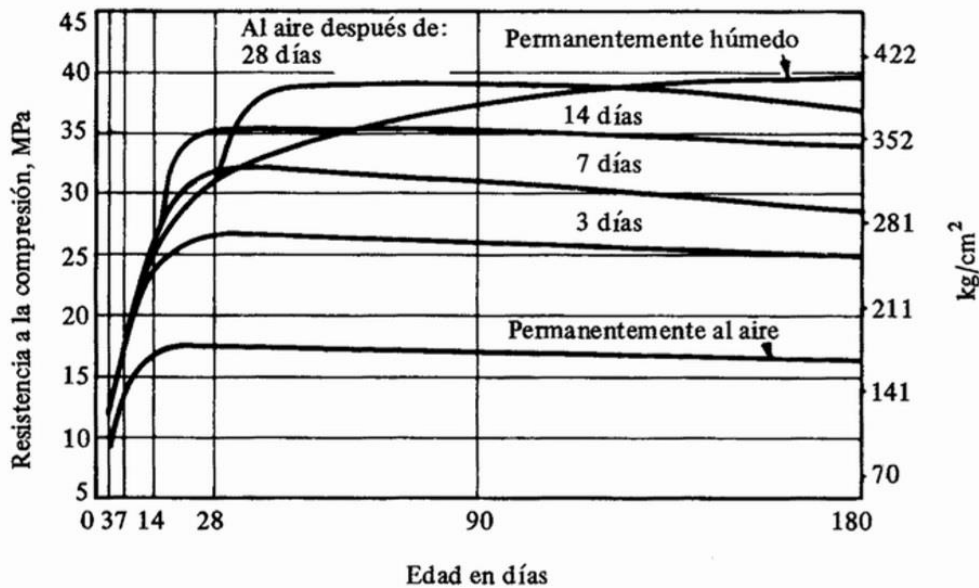


Imagen 7-8. Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto.⁹¹

Se debe hacer hincapié en el papel que juega la presencia o ausencia de humedad en el concreto. La hidratación en la pasta se ve afectada en forma negativa cuando la humedad relativa dentro de los poros capilares cae debajo de 80%, la hidratación máxima solo se podrá alcanzar en condiciones de saturación. Dicho fenómeno también dependerá de la intervención de otros factores, como lo son: el viento, la diferencia alguna de temperatura entre el concreto y el ambiente y la exposición a radiación solar.

Con base a la relación agua/cemento, los concretos con una mayor relación se verán superiormente afectados por la ausencia de curado ya que la gran red de poros que contienen facilitará la evaporación en los capilares; dando paso a la abrasión por parte de los agentes ambientales, por lo que la calidad final y su desempeño en vida útil se verán profundamente perjudicados. Por el contrario la baja porosidad en la pasta, proporciona cierta impermeabilidad al concreto evitando la evaporación del agua; así como la filtración de la misma, propia del curado.

La porción superficial del concreto, en un rango de 3 cm a 5 cm, es la que experimenta mayor desventaja debido a la falta de curado. De manera que la ausencia de curado, para las estructuras con un dimensionamiento menor, provocara la desecación total del elemento. Mientras que las secciones robustas, teóricamente, no sufrirán repercusiones en la resistencia estructural. Sin embargo no se deberá prescindir del curado para dichas secciones, puesto que sus zonas superficiales de influencia serán precisamente las expuestas a la intemperie.

En materia de curado se pueden realizar tres grandes clasificaciones: el curado por incremento de humedad, el curado por conservación de humedad y el curado acelerado, su descripción se detalla en los subcapítulos 7.2.1, 7.2.2 y 7.2.3 respectivamente. La selección del curado varía de acuerdo a

⁹¹ (Gonnerman y Shuman en 1928). Solís Carcaño R. & Moreno E. (2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo. *En Artículo de Investigación (13)*. México: FIUADY.

las necesidades de la obra y la relación agua/cemento en la mezcla de concreto, disponibilidad de los materiales y equipo para curado, dimensiones y forma del elemento a curar, edad del concreto, consideraciones en acabados y costos. De manera general, la calidad del agua provisionada deberá ser la misma que se previó para el agua de la mezcla y la temperatura del agua en uso se asemejará a la presente en el concreto, esto con el fin de evitar algún choque térmico o agudos gradientes de temperatura.

7.2.1. CURADO POR CONSERVACIÓN DE HUMEDAD

Se dará inicio, al también llamado curado húmedo, una vez que el sangrado haya cesado y la superficie no sea propensa a sufrir algún estrago. Como su nombre lo dice, este método se basa en conservar o incrementar la humedad del elemento durante la fase inicial de endurecimiento.

Dicha técnica consiste en el suministro continuo de agua al concreto, es decir un permanente contacto. Dichas condiciones se pueden alcanzar por medio de: rocío, inundación (encharcamiento), recubrimiento húmedo; estas técnicas se describen más adelante en el presente subcapítulo. En superficies inclinadas o verticales, se permitirá el uso de mangueras para remojar.

Con una relación de agua/cemento = 0.5 y menor a 0.4, se deberá hacer uso del curado húmedo, con la restricción de que la ejecución sea eficiente. Si esta posibilidad no es factible, se podrá recurrir al método por curado de membrana; bajo la misma condición de una correcta aplicación. La normativa que rige dichos procesos es la American Society for Testing and Materials ASTM C 171.

A. Inundación

Esta técnica (Imagen 7-9) se implementara en superficies planas, se deberá adecuar barreras en todo el perímetro con el fin de mantener la humedad y temperatura en el área del elemento a tratar. Los bordos perimetrales pueden ser compuestos de tierra o arena y el recubrimiento debe ser solo una película delgada de agua.

Si se requieren acabados con ciertas especificaciones, se tendrá especial cuidado en el agua empleada durante el proceso, esta agua deberá estar libre de sustancias que manchen o decoloren el concreto. Debido a que el curado por inundación requiere supervisión excesiva suele ser impráctico por lo que sólo se recomienda para obras pequeñas. Para el caso de curado de especímenes de ensayo, las probetas se sumergían en su totalidad en agua.

B. Rocío

Esta técnica (Imagen 7-10) consiste en la aspersión de agua sobre la superficie del elemento. Para llevar a cabo una buena técnica, se recomienda un rocío fino, característico las mangueras de riego. El método se podrá implementar una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente como para que la aplicación no provoque algún tipo de lesión en la superficie.

Cabe destacar que para una práctica idónea, el abastecimiento de agua no deberá ser intermitente y no se permitirá el secado del concreto entre aspersiones, de lo contrario se podrían presentar agrietamientos originados por los cambios de ciclos húmedos y secos. Los costos de este método pueden resultar elevados y se requiere un gran abastecimiento de agua. Al igual que en la técnica de inundación, la supervisión debe ser rigurosa y excesiva.



Imagen 7-9. Curado por inundación.⁹²

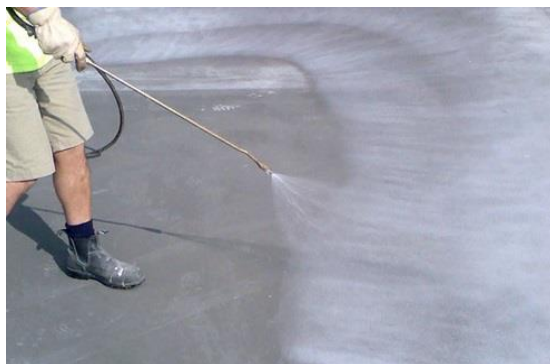


Imagen 7-10. Curado por aspersión.⁹³

C. Recubrimiento húmedo

Esta técnica consiste en la retención de humedad del elemento. Principalmente se emplean cubiertas de tejidos, yute, heno, paja, aserrín, tierra o arena. Este tipo de recubrimientos deberán

⁹² Deskgram. (2018). #civilgreenvzla. Octubre 18, 2018, de Deskgram Sitio web: <https://deskgram.net/explore/tags/civilgreenvzla>

⁹³ civilgeeks. (s/f). Es importante el curado del concreto para alcanzar la resistencia necesaria. Octubre 18, 2018, de CreativeCommons 2.5 Sitio web: <https://civilgeeks.com/2015/07/14/es-importante-el-curado-del-concreto-para-alcanzar-la-resistencia-necesaria/>

ser colocados una vez que el concreto se haya endurecido lo suficiente para no causar daños a la superficie, la cual deberá quedar cubierta en su totalidad.

Otros de los requerimientos más importantes es mantener húmedo el recubrimiento, asegurar que el recubrimiento seleccionado no cause algún tipo de coloración o decoloración en la superficie y de igual manera asegurar que el recubrimiento no contenga alguna substancia que provoque el deterioro del concreto. Un buen complemento a éste método, es el uso de una membrana de polietileno por encima del recubrimiento, ya que de esta manera se elimina la necesidad de riego del recubrimiento.

El espesor recomendado para aserrín es de 50 mm, para el heno se recomiendan 150 mm, para ambas camas de materiales se deberá acondicionar una lona para evitar la volatilidad del material. Aunque estas técnicas son recomendadas para obras pequeñas, la mayoría han dejado de ser empleados ya que implican altos costos y usualmente dañan el acabado de la superficie de concreto.

7.2.2. CURADO POR REDUCCIÓN DE PÉRDIDA DE HUMEDAD

Ésta técnica, también llamada curado con membrana, consiste en un método de barrera para el agua, evitando su evaporación de la superficie del concreto e imposibilitando la penetración de la misma. La implementación de este método se basa en la protección de la superficie de concreto por medio de la instalación de láminas de papel impermeable o láminas de polietileno. Las especificaciones de las técnicas expuestas a continuación se rigen por la ASTM C171.

A. Papel impermeable

Este método se encuentra dentro de los más efectivos, empleado mayormente en superficies planas y de colocación sencilla. Entre las ventajas más importantes de esta técnica se pueden identificar:

- La conservación de la humedad por lo que se puede prescindir de la adición continua de agua.
- Mientras la superficie se cubra en su totalidad, se asegura la correcta hidratación del elemento.

El papel impermeable consiste en papel kraft cementado adicionado de un material asfáltico con incrustaciones o hebras de fibra en ambos sentidos con no más de 32 mm de separación. El papel deberá ser de color blanco en al menos una cara. Al igual que en los recubrimientos húmedos, se deberá esperar a que el concreto haya endurecido lo suficiente para poder colocar el papel sin dañar la superficie. Al final de la instalación se deberá revisar que no existan orificios, arrugas o alguna otra deficiencia que altere el buen funcionamiento del sistema de curado. Si la membrana no cubre el área en su totalidad, los traslapes de hojas se deberán hacer de 150 mm, se deberán sellar apropiadamente con arena, tablas, adhesivos o cintas y se deberán anclar con algún peso asegurar el contacto directo con la superficie del elemento. Si el papel se encuentra en buenas

condiciones y se asegura su efectiva humedad, podrá ser reutilizado. Los defectos en el papel podrán ser restaurados con parches del mismo.

B. Membrana de polietileno

Burdamente conocidas como hojas de plástico (Imagen 7-11), preferentemente de color transparente o blanco, evitando en la medida de lo posible el color negro para evitar coloraciones, aunque estas se podrán mitigar inundando la superficie del elemento. Generalmente el uso de membranas negras es permitido para curado en interiores o climas fríos. En la medida de lo posible se deberá evitar el arrugamiento de la membrana

El espesor nominal de la película de polietileno será de no menos de 10 mm y el espesor en cualquier punto no será menor a 0.075 mm. Los beneficios y recomendaciones en la colocación y revisión final de la membrana son las mismas que en el curado por medio de papel impermeable.



Imagen 7-11. Curado con membrana.⁹⁴

C. Compuestos para curar concreto

Este método se basa en la adición de sustancias líquidas (parafinas, resinas, gomas, etc.) específicas para curado del elemento en cuestión, al igual que el papel para curado y las membranas de polietileno, la función de estos compuestos es evitar la pérdida de la humedad y en algunos casos retardar la evaporización del agua, por medio de capas herméticas de compuesto.

Los compuestos se encuentran en distintos colores los cuales varían de acuerdo a su funcionalidad, los colores más empleados son el blanco y el transparente, se usan con el objetivo de detectar cualquier defecto de aplicación y en su caso el color blanco para la reflexión de la luz, así evitando indeseables incrementos en la temperatura.

Antes de la aplicación se agitará el contenedor del compuesto, con el objetivo de impedir asentamientos en el mismo. El producto se colocará en la superficie húmeda del concreto y se

⁹⁴ Clarín Digital . (s/f). Métodos tradicionales para el curado del hormigón armado. Octubre 19, 2018, de Clarín Digital
Sitio web: https://www.clarin.com/construccion/metodos-curado-hormigon-armado_0_r14-nn_Dmx.html

aplicará una capa uniforme, asegurando el recubrimiento total del área. Existen dos equipos para su colocación, rociadores manuales y funcionamiento por propulsión mecánica.

El equipo recomendado para la aplicación son los aspersores mecánicos, ya que proporcionan un acabado más uniforme. El producto se aplicará una vez que se el sangrado haya cesado y que se haya concluido el acabado inicial. La tasa típica para la aplicación será la que el fabricante recomiende, sin embargo se suelen usar valores de 3 a 4 m²/l. Si se colocan 2 capas, la segunda deberá ser aplicada en ángulo recto respecto a la primera.

La aplicación deberá ser interrumpida si se presentan climas ventosos, ya que una mala colocación es más propensa bajo estas circunstancias. El proceso de hidratación propio de este método de curado, se interrumpirá una vez que la capa se remueva o destruya debido a su exposición ante la intemperie y al tránsito en la obra. Las capas de compuestos evitan la adherencia entre capas de concreto o la adherencia de algunos materiales para acabado, se deberá consultar con el fabricante las características del producto de acuerdo a las especificaciones de la obra.

D. Autocurado

Éste método se refiere a las técnicas o productos implementados dentro de la mezcla de concreto para crear un efecto de autocurado. Respetar la relación agua-cemento es la única condición que se presenta para estos métodos. Debido a la alta retención de agua por parte de los agregados finos, en la producción del concreto, se podrán saturar dichos agregados con el fin de maximizar la humedad interna en la mezcla.

En el mercado existen algunas nuevas tecnologías con relación al curado, se trata de productos añadidos a la mezcla que propician la humedad interna por medio de micro esferas de gel que revientan con la exposición al calor químico que se produce en la mezcla; las especificaciones y recomendaciones de estos productos se tendrán que consultar con los fabricantes. Sin embargo, ambos métodos se tendrán que complementar con algún tipo de curado externo.

E. Curado por cimbrado (encofrado)

Como complemento al curado externo, la implementación de algunas técnicas, en el sistema de cimbrado, puede resultar en un buen método secundario de curado. El constante humedecimiento de la cimbra resulta en un sistema de protección contra la pérdida de la humedad. La manguera para riego es idónea para llevar a cabo estos trabajos. La desventaja del uso de esta técnica es la decoloración o diferencia de tonos sobre la superficie. Si se solicitan acabados específicos no se recomienda el uso de esta práctica.

7.2.3. CURADO ACELERADO

La implementación del curado acelerado se ha generado a causa de la celeridad en la obra. Con fines de anticipar los resultados del ensaye a compresión en los especímenes de concreto, y por consiguiente una pronta detección de alguna deficiencia en la resistencia. Gracias a la práctica de este curado alternativo, la subsanación del elemento es posible.

En vista de que el aumento de la temperatura acelera el proceso de hidratación del cemento y por consecuencia el endurecimiento del concreto, el control del curado acelerado está fundado en los cambios de temperatura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

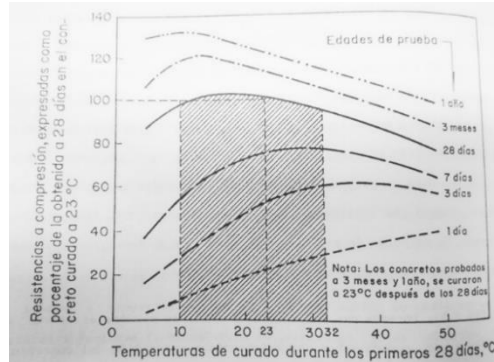


Imagen 7-12. Efecto de la temperatura de curado en la resistencia a compresión a diferentes edades.⁹⁵

En materia de curado térmico, existen distintos métodos que permiten la transmisión de calor a la masa de concreto. Algunos de los métodos aprobados para la práctica de este tipo de curado son:

- Calentamiento de los componentes (agua, agregados pétreos y cemento), *Tabla 7-2*.
- Inmersión en agua caliente, *Tabla 7-2*.
- Curado a vapor.

Los métodos mencionados anteriormente son los más empleados en la construcción, sin embargo existen algunas otras opciones como lo son: curado eléctrico (*Tabla 7-2*), con aceite, microondas y rayos infrarrojos. Debido a que estos métodos son implementados en el sector del concreto prefabricado, tema que no se incluye en el presente trabajo, solo se expondrá la naturaleza de cada técnica en los siguientes apartados.

A. Curado a vapor

Esta técnica favorece el desarrollo de la resistencia a edad temprana o en circunstancias donde se presenten climas fríos no favorables para el proceso de hidratación. Dentro de las variantes de curado a vapor, el método de vapor directo a presión atmosférica es el que se emplea con mayor frecuencia.

El proceso consiste en cuatro etapas fundamentales:

- Retraso inicial antes de la aplicación de vapor (tiempo de aplicación después de colocado el concreto) para permitir algún endurecimiento en la mezcla.
- Etapa de aumento de la temperatura.

⁹⁵ Comisión federal de electricidad. (1997). Manual de tecnología del concreto. Sección 2 concreto fresco y en curso de endurecimiento. México: Limusa.

- Etapa de conservación de la temperatura máxima.
- Etapa de disminución de la temperatura.

La maquinaria empleada para este método consiste en calderas donde se deposita agua suministrada por la red de distribución o por medio de alguna pipa. Las calderas se calientan gracias al uso de quemadores. Una vez que el agua se calienta a la temperatura deseada, se transporta por medio de un sistema de mangueras perforadas las cuales liberan vapor a causa de los diminutos orificios. Este vapor llega al elemento el cual debe de encontrarse en un ambiente cerrado para evitar la pérdida de vapor y mantener la temperatura deseada.

Se recomienda que el periodo mínimo de retraso dure al menos 3 horas. La temperatura deseada antes de alcanzar la resistencia requerida es de 60°C, es importante mencionar que la resistencia no aumenta significativamente si la temperatura se incrementa, por el contrario, se podrían presentar afectaciones a la resistencia final. Se sugiere evitar velocidades altas de cambios de temperatura, ya que se podrían presentar daños por cambios de volumen. El tiempo de vaporización dependerá exclusivamente de cada tipo de mezcla de concreto y la temperatura de vapor dependerá directamente de la del medio ambiente.

B. Curado eléctrico y con aceite

Ambos métodos se pueden usar tanto en curado bajo condiciones normales como en el proceso de curado acelerado. El proceso de curado eléctrico se puede implementar por medio de varias técnicas:

- Concreto como conductor eléctrico
- Acero de refuerzo como medio para transmitir calor.
- Herramientas de apoyo como medios de transmisión de calor (alambres especiales y mantas eléctricas).
- Cimbras metálicas calentadas por medios eléctricos.

Respecto al curado con aceite, el proceso consiste en calentar el fluido y hacerlo deslizar a través de cimbras metálicas.

Tabla 7-2. Aspectos característicos de los procedimientos normalizados para obtener la resistencia a compresión del concreto en curado acelerado.⁹⁶

CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS DE CURADO ACCELERADO (ASTM C684)			
	A	B	C	D
Especímenes:				
Forma	Cilindro estándar	Cilindro estándar	Cilindro estándar	Cilindro reducido
Diámetro y altura, <i>mm</i>	152 * 304	152 * 304	152 * 304	152 * 304
TMA admisible, <i>mm</i>	38	38	38	25
Procedimiento de elaboración	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Modificado ASTM C 684
Curado acelerado:				
Medio para elevar la temperatura del concreto	Agua tibia	Agua en ebullición	Calor de hidratación de cemento	Resistencia eléctrica
Temperatura de prueba, °C	35 ± 3	100 (al nivel del mar)	Variable, según temperatura inicial, contenido y tipo de cemento en el concreto	149 ± 3
Precisión de prueba	Atmosférica	Atmosférica	Atmosférica	105 ± 2 $\frac{kg}{cm^2}$
Edad del concreto al iniciar el curado acelerado de los especímenes	Inmediatamente después del moldeo	23 hrs ± 15 min después del moldeo	Inmediatamente después del moldeo	Inmediatamente después del moldeo
Duración del curado acelerado	23 $\frac{1}{2}$ hrs ± 30 min	3 $\frac{1}{2}$ hrs ± 5 min	48 hrs ± 15 min	5 hrs ± 5 min
Preparación y ensaye:				
Cabeceo de los especímenes	Estándar, en todos los casos (ASTM C 617)			
Aplicación de carga	Estándar, en todos los casos (ASTM C 39)			
Edad del concreto al ensayar los especímenes	24 hrs ± 15 min	28 $\frac{1}{2}$ hrs ± 15 min	49 hrs ± 15 min	5 $\frac{1}{4}$ hrs ± 5 min

⁹⁶ COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (1997). MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO, SECCION 3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO. MÉXICO: LIMUSA.

7.2.4. TIEMPO DE CURADO

De manera general para todas las técnicas convencionales de curado del concreto, el lapso de tiempo necesario para el curado no se puede establecer de manera sencilla. Aunque para estimarlo se deben considerar factores como material cementante, proporciones de la mezcla, resistencia deseada, dimensionamiento y forma del elemento a curar, clima y posibles escenarios de exposición. Debido a la naturaleza de ciertas circunstancias como la severidad en las condiciones de secado, exposición al congelación y deshielo, exposición a la abrasión de sustancias químicas, los tiempos de curado se han sugerido en la norma europea ENV 206: 199 (Tabla 7-3).

Tabla 7-3. Tiempos de curado mínimo (en días) recomendados en ENV 206: 1992.⁹⁷

Rapidez de ganancia de la resistencia del concreto	Rápido			Mediano			Lento		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Temperatura del concreto, (°C).	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Condiciones del ambiente durante el curado									
Sin sol, $rh \geq 80$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
Sol mediano o viento mediano o $rh \geq 50$	4	3	2	6	4	3	8	5	4
Sol fuerte o alto viento o $rh < 50$	4	3	2	8	6	5	10	8	5

h = humedad relativa en porcentajes

* Baja relación agua/cemento y cemento de endurecimiento rápido

Aun siguiendo las especificaciones establecidas en la tabla anterior, se recomienda:

- Para estructuras masivas se sugieren tiempos de curado de 3 semanas o más.
- Con relación al curado con vapor, los tiempos pueden variar desde algunas pocas horas hasta los tres días, generalmente se emplean ciclos de 24 horas.
- En elementos sin armado y con mezcla sin puzolana, el tiempo mínimo será de 2 semanas.
- En elementos armados con puzolana se tomara un tiempo de curado de al menos 3 semanas.
- En elementos masivos altamente reforzados, se recomienda un mínimo de 7 días.
- El tiempo de curado deberá ser el mayor posible a causa de la notable mejoría en las propiedades del concreto sometido a dicho proceso.

7.3. ACABADO

Técnica que consiste en enrasar, aplanar, allanar y ornamentar al concreto con el objetivo de conferir la apariencia, planicidad, nivelación y durabilidad deseada a la superficie. Cabe destacar que la función del acabado puede ser rigurosamente funcional o con fines decorativos.

El proceso de acabado se divide en dos fases: acabado inicial y acabado final. Previo a practicar la primera fase, el proceso de compactación debió haber concluido con éxito. Cualquier tipo de

⁹⁷ COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (1997). MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO, SECCION 3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO. MÉXICO: LIMUSA.

movimientos, que se empleen dentro de la ejecución del acabado, deberán evitar a toda costa la segregación de la mezcla. Bajo ninguna circunstancia se deberá adicionar agua o cemento a la mezcla mientras el proceso de acabado se lleva a cabo.

Una vez concluidas, ya sea, una o ambas fases del proceso (de acuerdo a las especificaciones solicitadas) se deberá curar el elemento tan pronto como sea posible. Esto con objeto de propiciar la hidratación necesaria al concreto y favorecer el buen desarrollo de su durabilidad y resistencia.

7.3.1. ACABADO INICIAL

El acabado inicial consiste principalmente en las labores de nivelación y aplanado, las cuales se realizarán antes de la aparición del agua de sangrado. Por ningún motivo se deberá forzar el secado del agua de sangrado con acciones tales como el espolvoreado de la superficie con materiales como cemento o polvo de roca. Estas malas prácticas tendrán repercusiones en la calidad final del concreto, ocasionando descascaramiento y debilitación de la superficie a largo plazo.

Justo en seguida de la compactación del concreto, se da inicio a esta fase con el enrasado de la superficie, la cual quedará al nivel de la cimbra. Posteriormente se ejecutan las tareas de aplanado y nivelación con ayuda de la herramienta apropiada, es decir la llana de mango, *Imagen 7-13*. El aplanado y la nivelación más allá de sólo eliminar los desniveles de la superficie, ayudan a conferir cierta compactación y cierre de pequeñas grietas en la mezcla. Una vez concluidas estas tareas, se da cierto tiempo de fraguado al concreto.



Imagen 7-13. Llanas de concreto.⁹⁸

Cuando la mezcla cuente con aire incluido en su diseño, se deberá evitar el uso de llanas metálicas de mango.

⁹⁸ Enarco. (s/f). Llana Oscilante Blue Glider. Septiembre 16, 2018, de enarco Sitio web: <https://www.enar.es/es-es/products/pav-tl-60111/llana-oscilante-blue-glider> y Materiales de Occidente. (s/f). Llana metálica mango madera. Septiembre 16, 2018, de Materiales de Occidente Sitio web: <http://www.materialesdeoccidente.com/tienda/llana-metalica-mango-madera-hopex/Cuando>

7.3.2. ACABADO FINAL

En algunos casos la primera fase del acabado suele ser suficiente para algunos elementos, y en circunstancias específicas el acabado final suele ser un complemento de la primera etapa. Dependiendo del caso, este proceso consiste básicamente en adicionar un terminado especial a la superficie de concreto a través de técnicas como: el aplanado mecánico, bordeado, junteado, alisado, cepillado, escobillado, coloreado o la formación de patrones.

Una vez finalizada la primera fase y cuando el brillo del agua del sangrado haya desaparecido, se da paso al acabado final. Una superficie polvosa de concreto, la aparición de una red de fisuras y descascaramiento serán las consecuencias de mezclar el agua de sangrado con la pasta de la mezcla.

Previo al comienzo de esta fase, se deberá tener total certeza de que el concreto soportará al personal designado para manipular la mezcla. La presión ejercida en el concreto por parte del personal deberá causar huellas con profundidades de tan solo 3 mm hasta 6 mm como máximo. El trabajar excesivamente la mezcla en esta etapa final puede repercutir en la durabilidad del concreto. El conjunto de técnicas empleadas dentro del acabado final se detalla a continuación.

A. Bordeado

Con ayuda de una cuchara de albañilería o palustre (*Imagen 7-14*), acomodar o palear el concreto cercano al cimbrado. La práctica consiste en moldear los bordes como se ha especificado previamente. El objetivo de este método es proporcionar al elemento orillas mejor formadas, más durables y menos propensas al despostillamiento.



Imagen 7-14. Cuchara de albañil (Palustre).⁹⁹

B. Junteado

El propósito de esta técnica consiste en inducir juntas por medio de la ranuración del concreto. Los cortes a realizar en el concreto deberán estar previamente planeados. La práctica del junteado se deberá iniciar una vez que el concreto haya fraguado lo suficiente como para no ocasionar daños con la herramienta a emplear. El equipo pertinente para la ejecución de esta tarea será la ranuradora habilitada con una cuchilla (disco) de espesor no menor a 1/4 del espesor total del

⁹⁹ CENTRAL DE SUMINISTROS G S. (s/f). Palustre Mango Madera N°8 – Marca Lufkin. Septiembre 16, 2018, de Fitos Group Sitio web: <https://www.centraldesuministrosgs.com/producto/palustre-mango-madera-n8-marca-lufkin/>

elemento a tratar. Para un corte más preciso y como apoyo, se deberá utilizar una herramienta recta a modo de guía. Los cortes menos profundos se practicarán con fin único de decoración, por el contrario los cortes más profundos se realizarán de acuerdo a las especificaciones establecidas.



Imagen 7-15. Ranuradora de concreto.¹⁰⁰

C. Alisado

Este método consiste en un aplanado secundario, el tipo de alisado se dará con base al uso final del elemento. Se recomienda el uso de una alisadora de acero. Se debe tener control especial en la manipulación de la maquinaria y en el número de pasadas, ya que el abuso de la técnica sólo implicaría en el concreto endurecido una superficie resbaladiza al contacto con el agua o la aparición de marcas indeseables en el acabado final. Al igual que en el alisado del acabado inicial, este método no se deberá practicar en el concreto con aire incluido.



Imagen 7-16. Alisadora de concreto.¹⁰¹

¹⁰⁰ ingenieriareal. (s/f). Construcción juntas pavimentos concreto hidraulico. Octubre 22, 2018, de ingenieriareal Sitio web: <https://ingenieriareal.com/construccion-juntas-pavimentos-concreto-hidraulico/>

¹⁰¹ Mecalux, S.A.. (2018). Alisadora de concreto (Wacker Neuson CT 36-8A-V). Octubre 22, 2018, de Mecalux, S.A. Sitio web: <https://www.logismarket.pe/transrental/alisadora-concreto/6686064080-5260958933-p.html>

D. Cepillado o escobillado

La práctica de esta técnica se llevará a cabo una vez concluido el proceso de alisado. Auxiliándose de un cepillo con el espesor de cerdas deseado, el objetivo de esta tarea es proporcionar al concreto una superficie no deslizante, se recomienda los patrones en líneas rectas o en forma de “S”.



Imagen 7-17. Cepillos para acabado de concreto.¹⁰²

E. Texturizado

Las variantes en acabado decorativo, que se pueden aplicar al concreto, son numerosas. Éstas requieren una mayor experiencia en colocación y cuidado. A continuación se describen las más frecuentadas en obra.

E.1. Acabado con concreto coloreado: este método consiste básicamente en proporcionar color al concreto. Se deberá tener presente que el color del cemento empleado en la mezcla, afecta el resultado final de la pigmentación en el concreto. Los mejores resultados de coloración se obtienen cuando se tiene un suministro de concreto premezclado previamente dosificado con base en porcentaje a pesos, de esta manera se alcanzará una mejor uniformidad en la pigmentación final. Existen cuatro métodos de coloración, los cuales se exponen a continuación.

- Espolvoreado en seco: se emplea un pigmento en polvo junto con cemento y agregados especialmente seleccionados. La incorporación de color se da posterior al proceso de compactación, enrase y sangrado. El espolvoreado del pigmento se da en dos etapas. En la primera etapa se depositarán 2/3 del colorante total en la superficie. Con ayuda de una llana se deberá esparcir el pigmento de manera uniforme en la superficie y con el objetivo de que la mezcla absorba el color, se dejará reposar por aproximadamente 1 min. El resto del colorante deberá ser aplicado en las zonas que no fueron cubiertas con anterioridad, se volverá a extender y a dejar reposar al igual que en la primera aplicación. Pasado un tiempo considerable de practicar un aplanado

¹⁰² DIMACROEMC. (s/f). Cepillo Texturizador De 1,20,rastrillo Para Acabado De Piso. Octubre 22, 2018, de MercadoLibre Colombia LTDA Sitio web: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-456732290-cepillo-texturizador-de-120rastrillo-para-acabado-de-piso-_JM y Concreto Decorado. (2016). Cepillo para concreto para terminados tipo escobillado. No incluye cabezal ni extensión.. Octubre 22, 2018, de Concreto Decorado Sitio web: <http://www.concretodecorado.com/herramientas/>

final. El alcanzar una pigmentación uniforme es el principal objetivo de colorar en dos etapas.

- Coloreado en todo el espesor: este método consiste en agregar el pigmento durante el proceso de mezclado, de esta manera se obtendrá una coloración uniforme. Posterior al mezclado se practicarán los procesos subsecuentes de manera usual. Con relación al peso del cemento, se deberá tener especial cuidado en los porcentajes adicionados de colorante. Si se llegarán a adicionar cantidades mayores a las permitidas, la durabilidad y resistencia del concreto se verían afectadas. Los procesos de mezclado y aplanado deberán ser perfectamente ejecutados. Para mejores resultados, es de vital importancia verificar con el fabricante del pigmento las recomendaciones de aplicación, Imagen 7-18.
- Manchado químico: manchas de color ocasionadas a través de productos químicos, aplicados en la superficie del concreto. El rango de colores es limitado (colores cafés).
- Acabados aplicados: Dentro de este campo entran las pinturas, los recubrimientos y selladores coloreados que se aplican al concreto endurecido. Estos tipos de aplicaciones suelen ser los de mayor desgaste y con mayor necesidad de mantenimiento.



Imagen 7-18. Concreto de color y estampado.¹⁰³

E.2. Acabado con patrón estampado: La variedad de estampados es amplia. Esta técnica consiste en la impresión de tapetes estampados sobre la superficie del concreto y se ejecuta durante el proceso de fraguado, Imagen 7-18.

No se deberá olvidar el uso de desmoldantes para la remoción de los tapetes. Se podrá adicionar colorante si así se desea. Se requerirá como mínimo el uso de dos tapetes ya que se necesita continuidad y armonía en el proceso. Se deberá aplicar presión sobre los moldes hasta la profundidad especificada.

¹⁰³ En obra contratistas. (2018). CONCRETO DE COLOR EL NUEVO 10 DE LA CONSTRUCCIÓN. Octubre 22, 2018, de AXIOMA Sitio web: <https://contratistas.co/ediciones/ed-10-arquitectura-valor-agregado-en-la-construccion/concreto-de-color-el-nuevo-10-de-la-construccion/>

E.3. Acabado con agregados expuestos: esta técnica se practica cuando el concreto se encuentra en estado firme pero aún no en estado endurecido. Dicho método se basa en el lavado, cepillado o limpieza de la pasta hasta la exposición de los agregados, los cuales deberán quedar visibles en su totalidad. Se podrá implementar una limpieza extra por medio de ácido clorhídrico (la solución será de una parte ácido clorhídrico a 20 partes de agua) El proceso de colocación, compactación y enrasado será el empleado con normalidad. La variedad de diseños es amplia debido a la diversidad de tamaños y colores de los agregados. Existen dos opciones adicionales para la ejecución.

- Método A: colocar, compactar y nivelar el concreto 10 mm bajo el nivel de cimbrado. Posteriormente se deberán colocar los agregados en una capa uniforme y se deberán aplanar hasta que queden suficientemente adheridos.
- Método B: colocar, compactar y nivelar el concreto 5 mm bajo el nivel de cimbrado. De manera independiente se realizará una mezcla compuesta de los agregados y pasta de cemento, la relación de esta mezcla se mantendrá en 2:1 y sólo se adicionara el agua mínima necesaria para que la mezcla sea trabajable. Una vez preparada la mezcla en cuestión deberá ser vertida en la superficie previamente acondicionada.

E.4. Concreto pulido: El objetivo de esta técnica es brindar un terminado liso y brillante al elemento. Acabado sugerido para interiores de locales comerciales o viviendas. Se implementa por medio de pulidoras (Imagen 7-19), selladores químicos, recubrimiento de látex o esmerilado. Se deberá tener especial cuidado en la ejecución y mantenimiento de este acabado, ya que puede tener propósito funcional o decorativo. Los pasos de esta técnica se pueden resumir de la siguiente manera.



Imagen 7-19. Pulidora para concreto.¹⁰⁴

- Se deberá iniciar con el esmerilado de la superficie, con objeto de retirar la pasta remanente del concreto. Se deberá ejecutar de manera uniforme.
- Se recomienda el flujo constante de agua durante el proceso.

¹⁰⁴ mundoconcreto. (s/f). Husqvarna PG450 Desbastadora y pulidora planetaria. Noviembre 26, 2018, de mundoconcreto Sitio web: <https://www.mundoconcreto.mx/Home/ProductDetails?iProductId=97>

- Los movimientos a ejecutar, se darán en forma circular y aplicando la presión necesaria contra la superficie del elemento.
- En caso de que la cara del elemento presente imperfecciones, se deberán resanar con una lechada a base de cemento, finos y agua.
- Efectuar la segunda ronda de esmerilado, una vez que la resanación haya secado.
- Sobre toda el área del concreto, se aplicará un abrillantador especial para superficies tratadas con pulidora. Se dejará secar y en seguida se aplicará una segunda capa. Tener especial cuidado en no utilizar alguna sustancia que manche la cara del elemento.
- Finalmente se pulirá con una felpa con objeto de añadir algún brillo extra

8.PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

De manera general, los procedimientos especiales dentro de la construcción, serán aquellos que requieran medidas poco convencionales en cualquiera de los procesos en los que se ve involucrado el concreto (mezclado, transporte, colocación, compactación, curado, etc.). Dichas medidas se implementan con el objetivo de que el concreto se comporte adecuadamente y logre las especificaciones establecidas dentro del proyecto pese a encontrarse en circunstancias adversas para el constructor. A continuación en los subcapítulos XX se describirán de manera resumida ciertos procedimientos especiales (colados masivos, colados en temperaturas extremas, colados bajo el agua, concreto compactado con rodillo y concreto lanzado), dentro de este desarrollo se exponen sólo algunas de las principales problemáticas y las respectivas recomendaciones para su solución.

8.1. COLADOS MASIVOS

Se entiende como colado masivo al proceso de colocación de concreto en grandes volúmenes, ya sean de mezclas convencionales o de mezclas con concretos de alto desempeño. Los problemas que se presentan con mayor frecuencia son el control de temperatura en la mezcla, formación de juntas constructivas, entre otras.

Como solución a estos problemas, se podrá hacer uso de técnicas basadas en el enfriamiento de la mezcla desde la planta de fabricación. Otro de los factores decisivos para la evasión de complicaciones, es la logística tanto de fabricación como de transporte y colado. De manera decisiva, la forma de colocación de la mezcla tendrá un gran impacto en las propiedades del concreto.

Sin embargo, considerando que ciertas circunstancias requiere que se tomen medidas especiales para la evasión de problemas, la ACI 116 R (American Concrete Institute) define como concreto

masivo a cualquier volumen lo suficientemente grande para requerir medidas especiales de trabajo que eviten futuras complicaciones en cualquiera de los procesos en los que se ve involucrado dicho material (mezclado, transporte, colocación, compactación, curado, acabado, etc.). Dentro de los problemas más comunes que generan agrietamiento, se encuentran la generación excesiva de calor de hidratación y los ya conocidos cambios volumétricos del elemento. De manera general se considerará un colado masivo cuando se presenten las siguientes características en el proyecto.

- Las dimensiones mínimas transversales del elemento serán de 60 cm a 90 cm, o excederán dicho límite.
- El contenido de cemento excederá los 355 kg/m³.
- La relación de volumen a superficie es mayor a 0.30

Como ya se mencionó, los incrementos en temperatura tienden a tener un impacto negativo en el comportamiento de la mezcla, por lo que se recomienda que las temperaturas se mantengan en los límites mostrados en la *Tabla 8-1*. Entre las técnicas más comunes para el control de temperatura en la mezcla, se encuentran:

- Uso de hielo como sustituto de agua en sustitución parcial del agua de mezclado;
- En la medida de lo posible, mantener bajo sombra los recintos de almacenamiento de los agregados y de cemento.
- Regar o pre enfriar con agua los depósitos de grava y arena.
- Se recomienda realizar los colados en los periodos más fríos del día (tarde-noche).

Tabla 8-1. Temperaturas máximas del concreto de acuerdo a las condiciones del colado.

Condiciones del colado	Espesor del elemento a colar (cm)	Temperatura máxima presentada en planta (°C)	Temperatura máxima durante el colado (°C)
Masivo	> 100	20	23
Semimasivo	60 – 100	24	27
Normal	< 60	28	31

8.2. COLADOS EN TEMPERATURAS EXTREMAS

Los colados en temperaturas extremas son los colados dónde los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación, acabado y curado requieren especial cuidado e implementación de técnicas para evitar el agrietamiento severo en los elementos a construir. Se debe tener en consideración que la temperatura para que un clima se considere frío será menor a 5°C, si la temperatura media se mantiene superior a los 10°C ya no se considera frío. Así mismo, la temperatura del concreto fresco, para climas calurosos, no debe ser superior a los 29°C y en climas fríos la temperatura deberá de ser de al menos 10°C los primeros 7 días.

De manera general, el comportamiento en el concreto, para ambos climas extremos es deficiente. En climas fríos, durante el fraguado y endurecimiento el concreto no adquiere la resistencia

deseada. Por la otra parte, durante los climas calurosos se tendrá especial cuidado en las pérdidas de agua por evaporación.

Cuando se presentan dichas condiciones climatológicas extremas, se recomienda llevar un registro de las temperaturas ambientales y de la superficie del concreto. A continuación, en la Tabla 8-2, se presenta información con relación a las principales problemáticas y su respectiva solución de acuerdo al clima presente.

Tabla 8-2. Principales problemáticas y su respectiva solución de acuerdo al clima

Clima frío			Clima cálido		
Característica	Problemática	Solución	Característica	Problemática	Solución
Trabajabilidad	Rigidez en la mezcla, formación de juntas frías indeseables	Implementación de juntas de colado.	Trabajabilidad	Rigidez en la mezcla, decremento de la trabajabilidad	Uso de aditivos retardantes
Tiempo de fraguado	Congelamiento de agua y aparición de agrietamientos	Mantener la temperatura del concreto arriba de los 10°C. Implementar un método de curado que conserve el calor de la mezcla. Uso de aditivos inclusores de aire.	Temperaturas altas	Altas temperaturas en la mezcla. Aumento en la demanda del agua por evaporación.	Almacenamiento de agregados en lugares sombreados, o roció continuo con agua. Uso de hielo o nitrógeno líquido en la mezcla.
Temperaturas bajas	Obtención de la temperatura mínima en la mezcla. Temperaturas ambientales menores a -10°C	Calentamiento del agua (calderos industriales) o agregados (chorros de vapor). Calentamiento del acero de refuerzo mayor de 1 in	Propiedades mecánicas y acabado.	Fisuración y pérdida de resistencia y durabilidad.	Implementación del curado húmedo y membranas de curado (en algunos casos se recomienda el uso de dos membranas)
Conservación de la temperatura	Decremento de la temperatura o congelación de la superficie del elemento	Cubrir el elemento con lonas o plásticos y calentar el recinto (calentadores o calefactores artificiales). La protección debe ser apta para vientos.			

Las recomendaciones de manipulación de materiales en climas fríos, son las siguientes:

- Implementar el uso de rompedores de viento durante los periodos de trabajo más fríos.
- Evitar retrasos en cualquiera de los procedimientos de construcción.
- Reducir las distancias de transporte de la mezcla.

Las recomendaciones de manipulación de materiales en climas calurosos, son las siguientes:

- Almacenar los componentes bajo sombra para evitar afectaciones en sus propiedades por contacto directo con el sol.
- Mantener húmedos los agregados.
- Humedecer la sub-base del elemento y la cimbra, evitar los encharcamientos.
- Evitar retrasos en cualquiera de los procedimientos de construcción.
- No aplicar agua fría sobre la superficie caliente de concreto ya que se podría generar un choque térmico y resultar en importantes agrietamientos.
- Practicar el colado cuando las temperaturas ambientales sean las mínimas (tarde-noche).
- Reducir las distancias de transporte de la mezcla.

De manera general, el concreto masivo está compuesto de cemento, agregados, agua y usualmente se hace uso de aditivos o puzolanas. Se deberá asegurar que la calidad de los materiales sea la apropiada para proveer al concreto de sus principales propiedades (trabajabilidad, durabilidad, estabilidad, resistencia, baja permeabilidad, etc.)

8.3. COLADOS BAJO EL AGUA

Como se mencionó anteriormente, el concreto ha sido el material predilecto para la construcción por su gran versatilidad y maleabilidad, sin embargo los retos en la construcción han incrementado y con esto la demanda de cumplir con los estructuras de mayor exigencia, dónde se demandan técnicas de colado poco convencionales como los colados bajo el agua.

La colocación del concreto bajo el agua deberá realizarse sólo si es estrictamente necesario y el colado al aire libre se presenta como una condición imposible. Por su naturaleza, el uso de esta técnica no se recomienda para elementos pequeños o esbeltos, las obras donde normalmente se hace uso de este tipo de colado son pilas para puentes, muros para diques, muelles, etc.

El lavado de finos, la heterogeneidad en la mezcla, la reducción de la resistencia y la poca durabilidad son algunas de las consecuencias que suelen presentarse en dichos colados. Siendo un proceso altamente complejo, los factores externos y las técnicas poco usuales podrían comprometer la calidad final del concreto. Como resultado de esta problemática las mezclas utilizadas en este tipo de colados, suelen sobrediseñarse generando sobrecostos en el proyecto.

Las mezclas empleadas en este tipo de colados suelen caracterizarse por ser muy cohesivas y poseer altos revenimientos (15 cm como valor mínimo), estas condiciones se logran con un alto contenido de agregados finos. Con relación al cemento, se deberá utilizar en dosis estrictamente necesarias para alcanzar la resistencia especificada.

La mejor manera de aumentar el desempeño de las mezclas destinadas a este tipo de colados, es haciendo uso de aditivos, los cuales tienen como objetivo principal incrementar la viscosidad y cohesión en el concreto, otros de los beneficios que vienen acompañados del uso de aditivos es el la conservación de la homogeneidad de la mezcla durante los procesos por los que atraviesa el concreto.

La combinación de aditivos se permitirá siempre y cuando se demuestre su compatibilidad, usualmente suelen usarse aditivos superplastificantes que incrementan notablemente la autocompactación y autonivelación de la mezcla, retardantes reductores de agua, incluso de aire y puzolanas encargadas de mejorar la fluidez en la misma.

Existen distintos métodos para la colocación del concreto bajo el agua, dentro de estos, en este subcapítulo se mencionarán tres procedimientos y el equipo normalmente utilizado.

- Agregado precolocado: Esta técnica consiste principalmente en dos etapas. En la primera se coloca el agregado grueso compactado, y en la segunda se llenan los vacíos con inyección de lechada.
- Concreto vertido con tolva (tremie): Método basado en la colocación por gravedad a través de un tubo posicionado verticalmente, donde uno de sus extremos queda expuesto al aire libre con objeto de verter la mezcla por este extremo. Se recomienda que el diámetro de la tubería sea de al menos 8 veces el tamaño máximo del agregado. La instalación del tubo, demanda que este mismo sea taponeado en la parte inferior que quedará sumergida en el elemento, de manera que la primera ronda de concreto colocada expulse el tapón de la tubería. Para esta técnica se recomienda que el concreto tenga contenidos de agregado fino de por lo menos 40% o 50% del agregado total en peso
- Costales de tela tejida: Esta técnica se implementa cuando el acceso al elemento es difícil o no se pueda evitar el flujo del agua. Los costales deberán ser tejidos de tela especial que deberá ser especificada en el proyecto y deberán encontrarse libres de impurezas que pudieran contaminar la mezcla de concreto. La colocación se realiza con el apoyo de buzos que colocarán cuidadosamente los costales en forma uniforme para lograr la homogeneidad.

8.4. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

El concreto compactado con rodillos también conocido como CCR, se caracteriza por ser una mezcla de concreto seco con bajos contenidos de pasta. La mezcla es colocada y compactada posteriormente con un rodillo vibratorio (equipo descrito en el subcapítulo 7.1) usualmente se recomienda que el peso de dicho rodillo sea de 10 Ton. La implementación de dicha mezcla y

maquinaria usualmente se da en obras de pavimentación, presas hidroeléctricas, diques, losas industriales, etc. A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de dicho proceso.

Ventajas	Desventajas
Proceso rápido de construcción, colocación continua de mezcla.	Cuando el curado no se ejecuta de manera adecuada en el elemento, su desgaste superficial es acelerado.
Equipo de colocación común con gran presencia en el mercado.	Acabados poco estéticos.
En obras designadas para tráficos livianos se recomienda el uso de motoniveladoras, rodillo vibratorio y rodillo neumático.	Vulnerabilidad a la congelación – deshielo.
En obras destinadas para tráficos pesados, se recomienda el uso de finisher, rodillo vibratorio y rodillo neumático.	Si se presentan variaciones en la humedad durante el mezclado y colocación del material, así como defectos en la compactación, la resistencia se puede ver comprometida.

Una vez fabricado y transportado el concreto se deposita en el sitio de interés para comenzar el proceso de colocación. De manera general, dicho proceso consiste en repartir el concreto de manera uniforme con una expandidora convencional de alta densidad. A lo largo del proceso la expandidora también se encarga de compactar y proveer de un acabado final a la mezcla. Si se llegan a presentar imperfecciones en la colocación, estas se corregirán con ayuda de rastrillos.

Finalizada la colocación, se da paso a la compactación, una vez que el rodillo pueda apoyarse sobre la superficie. Se recomienda iniciar por los extremos con avance hacia el centro. Así mismo se sugiere que la primera ronda de compactación se realice sin vibrado, la segunda con vibrado y la tercera tendrá las mismas condiciones que la primera. Con relación al curado para el CCR, por los bajos contenidos de agua en la mezcla, se deberá implementar una vez finalizada la compactación.

8.5. CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado, como cualquier otro concreto es una mezcla de cemento, agregados pétreos, agua, aditivos y algunos tipos de fibra cuando así lo demande el proyecto. Existen dos opciones de inclusión de agua en la mezcla, la primera se dará de manera cotidiana al momento de mezclado y la segunda al momento de colocación del concreto.

Se nombra concreto “lanzado” por las condiciones de colocación, ya que este concreto es adherido al talud, elemento, etc. a través de una lanzadora (equipo descrito a detalle en el

subcapítulo 6.1). Dicha lanzadora deberá ser capaz de suministrar un flujo constante de concreto y la presión en el aire deberá ser la suficiente para que la homogeneidad de la mezcla no se vea amenazada.

De manera general, el proceso consta en proyectar la mezcla de concreto en estado fresco a través de la lanzadora, esta capa proyectada tendrá que distinguirse por poseer, en la medida de lo posible, un espesor uniforme y homogéneo. Si la colocación del concreto se ejecuta de manera exitosa, las propiedades finales en el concreto en estado endurecido serán las adecuadas para que el material presente la resistencia suficiente y proteja a la superficie en cuestión, contra la erosión o provea el soporte necesario a las estructuras con el objetivo de evitar deslizamientos o fracturamientos.

Usualmente el concreto lanzado deberá ser aplicado sobre una malla electrosoldada, la cual la mayoría de veces se sujetará a la superficie por medio de anclas. Previo a la colocación del concreto lanzado se deberá asegurar que la superficie en cuestión no presente material flojo o de condiciones extrañas, tampoco deberá presentar impurezas (grasas, polvo, etc.). Se recomienda ampliamente que la superficie de trabajo se mantenga húmeda desde que termine la limpieza previa hasta la colocación del concreto.

Dentro de las actividades previas al colado, se realizará la instalación de las llamadas “varillas guía” con el objetivo de que funcionen como indicador del espesor colocado. Se tendrá especial cuidado de que dichas varillas tengan la firmeza suficiente para no sufrir movimientos durante el proceso de lanzado. El espaciamiento para esta técnica se recomienda de 4 m² libres por varilla.

Antes del lanzado, se recomienda realizar pruebas sobre paneles colocados en posición vertical, se realizará la prueba en un mínimo de dos paneles. Al igual que en la práctica, no se permitirá reutilizar en producto de rebote. La cantidad de mezcla a utilizar en las pruebas será la cantidad necesaria para elaborar un mínimo de 10 probetas para ensaye. La mezcla que se utilizará para los ensayes solicitados será la que quede adherida a los paneles y jamás la que reste de los rebotes.

El agua que sea añadida durante la colocación deberá tener una temperatura dentro del rango de 10°C – 20°C. Se recomienda que la mezcla totalmente elaborada antes del colado, deberá ser colocada en un tiempo máximo de 30 minutos después de elaborada, se podrán hacer excepciones hasta 60 minutos, siempre y cuando se demuestre el buen desempeño bajo pruebas de laboratorio.

El personal a cargo de la colocación del concreto a través de la manipulación de la lanzadora, deberá tener la experiencia suficiente para lograr una buena adherencia del concreto. El equipo de seguridad no se deberá dejar de lado, ya que el material de rebote podría golpear al personal.

9. JUNTAS DE COLADO Y DILATACIÓN

De manera general, las juntas se conocen como fracturas planeadas en el concreto, dichas fracturas permiten cierta libertad de movimiento al elemento en cuestión, otro de los beneficios más notables es la prevención del agrietamiento arbitrario. Si no se controla dicho agrietamiento, el comportamiento del elemento se puede ver afectado, afectando no solo su resistencia sino también su aspecto.

Para el correcto diseño del conjunto de juntas dentro de un elemento estructural, se deberá tener en consideración los siguientes factores:

- Condiciones climatológicas
- Calidad y dosificación de los componentes de la mezcla
- Condiciones especiales en los procesos de mezclado, transporte, colocación, curado y acabado de concreto.
- Grado de restricción del elemento.
- Esfuerzos causados por los efectos de las cargas, las cuales está sometido el elemento.
- Técnicas particulares de construcción.

Usualmente en elementos de concreto reforzado, el acero trabaja en conjunto con el concreto para resistir los efectos causados por la contracción plástica, retracción y variación de temperatura. Por otro lado, para los elementos construidos exclusivamente de concreto, la implementación de juntas de colado se presenta como único medio para aminorar el efecto de los esfuerzos antes mencionados.

Aunque también existe la posibilidad de realizar el proceso de junteado en elementos reforzados, en dicho caso la distribución y cantidad de juntas estará gobernado por la cuantía de acero de refuerzo empleada en el elemento. De manera general se puede decir que entre más acero haya, las juntas pueden estar más separadas.

Es importante recordar que la presencia del acero de refuerzo no impide el agrietamiento, sin embargo si éste tiene cuenta con una buena distribución y cantidad, las grietas que pudieran aparecer, se mantendrán dentro de límites aceptables

Existen distintos tipos de juntas, cada una con propósitos específicos, entre las más destacadas se encuentran las siguientes:

- Juntas de colado
- Juntas de dilatación
- Juntas de control

Las juntas se distinguen de acuerdo a su momento de implementación en dos tiempos principales.

- Antes del colado (juntas de colado y dilatación)
- Después del colado (juntas de control)

Debido al alcance del presente trabajo, en este capítulo solo se desarrolla el contenido relacionado con las juntas de colado y dilatación, también consideradas como juntas de “trabajo”.

Dicho de otra manera, se entiende que un sistema de juntas (ya sean de colado o dilatación) dentro de un elemento estructural consiste en dividir dichos elementos en elementos discontinuos en flexión.

Debido a los movimientos de los elementos causados por los cambios de temperatura, el dimensionamiento de cada elemento dividido debe ser el adecuado para que se pueda tener control sobre los esfuerzos internos excesivos. Otro de los motivos principales de agrietamiento del concreto es que dicho material no presenta un buen comportamiento frente a las fuerzas de tracción y los esfuerzos internos que estas ocasionan a nivel interno.

A. Juntas de colado

También llamadas juntas de construcción (Imagen 9-1) o juntas obligadas. Este método de junteado se realiza durante el proceso de colocación del concreto. De esta manera, el concreto se dispone en el área delimitada por cimbrado temporal destinado a contener dicho material, para posteriormente habilitar la junta de colado. A diferencia de una junta de expansión, la junta de colado no necesariamente permite el movimiento a través de esta.

Como ya se mencionó, las juntas de construcción representan un trabajo temporal, dónde una vez contenido el concreto, se retira la cimbra temporal y a la superficie recién expuesta se le brindará la aspereza necesaria para facilitar la adherencia con el nuevo concreto colocado. Las recomendaciones para una correcta ejecución se citan a continuación.

- El diseño de juntas deberá ser el apropiado para que su ubicación no impacten de manera negativa la resistencia del concreto. Dicho diseño deberá estar especificado dentro de los planos de construcción, los cuales se tendrán que seguir al pie de la letra, cualquier modificación tendrá que ser consultada con el ingeniero o arquitecto a cargo de la obra.
- Previo a habilitar las juntas de construcción, se deberá asegurar que la superficie del elemento en cuestión, se encuentre limpia y libre de cualquier residuo. La ubicación de las juntas deberá encontrarse señalada correctamente.
- Este tipo de juntas se habilitan durante la colocación del concreto y se deberá evitar deformar dicho sistema.
- El concreto siempre debe ser terminado a escuadra.
- El dimensionamiento deberá ser el apropiado para una buena transferencia de cortante.
- Con relación al cortante, cuando este sea producido por cargas gravitacionales, no tendrá mayor impacto en el elemento por lo que dicha situación se resuelve por medio de juntas verticales sencillas. Por el contrario, el efecto de cortante ocasionado por cargas laterales tiene una mayor importancia por lo que para su resolución se usaran llaves de cortante, llaves de cortante intermitente, pasadores diagonales, etc.
- Con relación a la adherencia de los concretos en la junta, se recomienda que si ha transcurrido un par de horas entre los colados sucesivos y el concreto viejo aún se

encuentra limpio y húmedo sólo será necesario el vibrado para una correcta adherencia con el concreto nuevo el cual deberá encontrarse en estado fresco y limpio de impurezas.



Imagen 9-1. Junta de construcción en pavimentos.¹⁰⁵

Los principales puntos a considerar en la implementación de juntas en elementos estructurales son el espaciamiento y el tipo de elemento estructural. El espaciamiento entre las juntas frías variara de acuerdo al tipo de elemento estructural, a su dimensionamiento, etc. por lo que se puede decir que no existe una regla general para su espaciamiento. Sin embargo el arreglo más óptimo será el que cuente con el menor número de juntas y con el mayor espaciamiento posible.

Con relación al tipo de elemento estructural, se presentan ciertas especificaciones de acuerdo al tipo de elemento estructural presentado, ya sean losas, trabes, columnas o muros. De acuerdo al tipo de elemento se presentan ciertas recomendaciones, las cuales se exponen a continuación:

- Para losas de entrepiso, las juntas se ubicarán en el tercio central la losa, vigas y vigas principales.
- Con relación a las vigas principales, el conjunto de juntas dentro de este elemento deberán estar espaciadas con una distancia mínima de dos veces el ancho de las vigas que intersecten al elemento en cuestión.

B. Juntas de dilatación

También llamadas juntas de expansión o de aislamiento (Imagen 9-2), las juntas de dilatación fungen como separaciones estructurales permitiendo movimientos diferenciales, tanto en sentido

¹⁰⁵ loscanariosa. (s/f). Tipos de juntas en muros y pisos de concreto. Noviembre 26, 2018, de loscanariosa Sitio web: <http://www.loscanariosa.com/noticias/k2-category/item/52-tipos-de-juntas-en-muros-y-pisos-de-concreto>

vertical como en sentido horizontal. Este tipo de juntas se utilizan principalmente para el aislamiento de elementos estructurales, tales como columnas, muros y losas. En el caso de las columnas y los muros, estos se aislaran de las losas por medio de juntas verticales en forma romboidal o circular.

Como ya se mencionó anteriormente, la función de una junta de aislamiento es separar en su totalidad un elemento de concreto de otro, a fin de que se puedan mover de manera independiente y así no afectar el desempeño del otro. Si se prescinde de estas juntas, las fuerzas de compresión y tensión pueden aplastar, agrietar, o causar algún otro daño al elemento.

Entre algunos de los materiales para inducir este tipo de juntas se encuentran el corcho, hule espuma o algún tipo de material elastomérico, etc. Dichos materiales deberán ser ensayados y aprobados antes de su recepción en obra, una vez recibidos se deberá verificar que no hayan sido dañados o contaminados. El material deberá ser colocado en toda la profundidad del elemento.

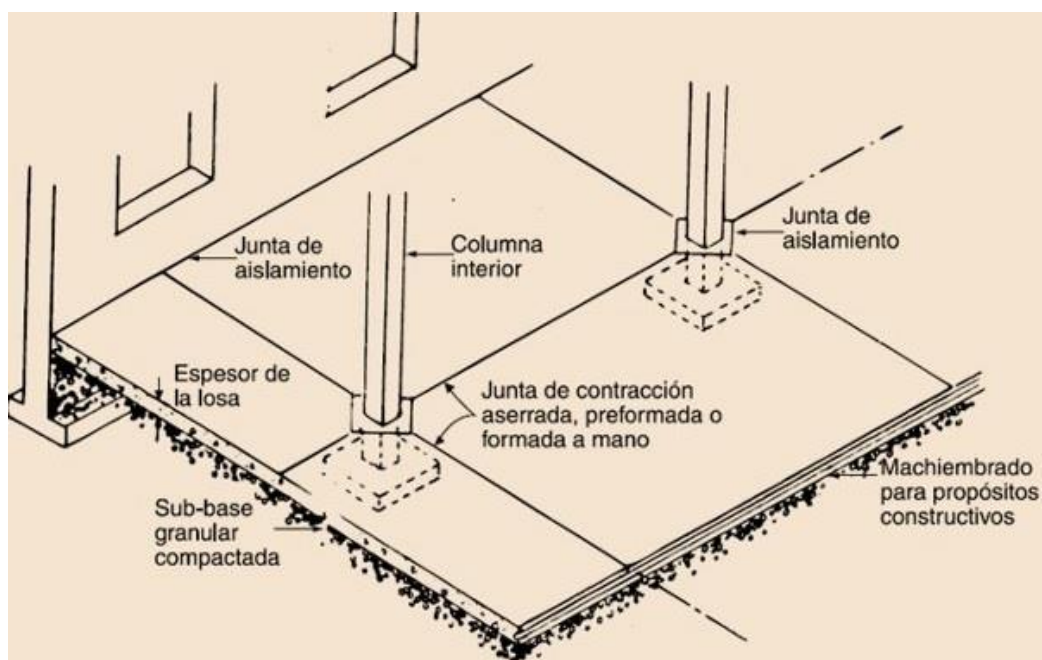


Imagen 9-2. Posible localización de las juntas de aislamiento.¹⁰⁶

¹⁰⁶ civilgeeks. (s/f). Juntas en el Concreto. Noviembre 26, 2018, de civilgeeks Sitio web: <https://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>

10. ADITIVOS MÁS COMUNES Y SUS EFECTOS

Los aditivos se definen como productos o sustancias químicas que añadidos a la mezcla de lechada, mortero o concreto, dan como resultado una serie de reacciones químicas que mejoran las propiedades, funcionalidad y calidad del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Generalmente estas sustancias tendrán que dosificarse en pequeñas cantidades antes o durante la elaboración de la mezcla. Dichos productos o sustancias, serán diferentes del cemento, agregados, fibras de refuerzo, suplementos del cemento (escorias, puzolanas naturales o humo de sílice) o agua empleados usualmente en la mezcla de concreto.

Entre los principales objetivos de los aditivos se encuentran:

- Proporcionar propiedades especiales al concreto por medios diferentes a los convencionales.
- Asegurar la calidad del concreto durante sus distintas operaciones (mezclado, transporte, colocación, fraguado, curado)
- Adaptar la mezcla a las condiciones de trabajo en obra por medio de modificaciones a sus propiedades.
- Uso como herramienta de emergencia en situaciones críticas, durante las diferentes operaciones de la mezcla de concreto (mezclado, transporte, colocación, fraguado, curado).
- Reducir costos de producción y operación del concreto.

Se deberá tener especial cuidado en que el uso del aditivo tenga el efecto deseado en la mezcla sin afectar el resto de las propiedades del concreto. Es importante mencionar que el buen desempeño del aditivo en la mezcla no sólo depende del producto en sí, sino también de factores como tipo y cantidad de cemento, cantidad de agua empleada, forma, proporciones y granulometría de los agregados, tiempo de mezclado, revenimiento, temperatura del concreto y aire atrapado.

Antes de realizar la mezcla total de concreto, es recomendable realizar una muestra con las características de obra (agregados, temperaturas, humedades, etc.), esto con el fin de asegurar tanto el buen comportamiento de los materiales con el aditivo como los cambios en las propiedades deseadas. Con relación a las cantidades empleadas en la mezcla, se deberán seguir las recomendaciones del fabricante o en su caso, la dosis que el laboratorio determine.

Los aditivos se presentan como solución a los nuevos retos que presenta la construcción, demandando mezclas con mayor: trabajabilidad, facilidad de bombeo, facilidad de colocación y acabado, desarrollo de resistencias iniciales altas, reuso de cimbrado, incremento de la durabilidad, etc.

Con relación a la rentabilidad del uso de aditivos, no se deberá dejar de lado el hecho de que en algunos casos los efectos de los aditivos podrán ser emulados al variar las proporciones de los componentes base de la mezcla o al realizar un cambio de estos. Finalmente, siempre se deberán comparar los costos de la mezcla con uso de aditivos contra los costos de la mezcla con cambios

en los componentes base o sus proporciones. En la Tabla 10-1 se muestran algunos de los aditivos más comunes y sus principales efectos en la mezcla de concreto.

Tabla 10-1. Tipo de aditivos y sus principales efectos.¹⁰⁷

Tipo de aditivo	Normativa	Efecto	Material empleado
Acelerante	ASTM C 494 Y NMX-C-255 Y NMX -C-356	Acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana.	Cloruro de calcio, (ASTM D 98) trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrito de calcio, nitrato de calcio.
Adherente	ASTM C 979 Y NMX-C-313	Aumentar la resistencia de adherencia.	Cloruro de polivinilo, acetato polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno.
Propio para lechada		Adaptar las propiedades de la lechada para aplicaciones específicas.	Consulte aditivos: inclusores de aire, aceleradores, retardadores y reductores de agua.
Espumante		Producir concreto ligero y concreto celular con baja densidad.	Surfactantes catiónicos o aniónicos. Proteína hidrolizada.
Anti-deslave		Aumentar cohesión del concreto para su colocación bajo el agua.	Celulosa, polímero acrílico.
Anti-humedad		Retrasar la penetración de humedad en el concreto seco.	Jabones de estearato de calcio o amonio u oleato. Estearato butilico. Productos de petróleo.
Auxiliar de bombeo		Mejorar las condiciones de bombeo.	Polímeros orgánicos y sintéticos. Floculantes orgánicos. Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos. Bentonita y sílice pirogénica. Cal hidratada. (ASTM C 141)
Colorante		Producir concreto coloreado.	Negro de humo modificado, óxido férrico, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio y azul cobalto.

¹⁰⁷ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association

Tabla 10-1. Tipo de aditivos y sus principales efectos (Continuación 1)

Tipo de aditivo	Normativa	Efecto	Material empleado
Control de hidratación	ASTM C 260 Y NMX-C-200	Suspender y reactivar la hidratación del cemento con un estabilizador y un activador.	Ácidos carboxílicos. Sales de ácidos orgánicos conteniendo fósforo.
Formador de gas		Causar expansión antes del fraguado	Polvo de aluminio.
Fungicida, germicida e insecticida		Inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos.	Fenoles polihalogenados. Emulsiones de dieldrin. Compuestos de cobre.
Impermeabilizante		Disminuir la permeabilidad.	Látex. Estearato de calcio.
Inclisor de aire		Mejorar la durabilidad en los ambientes sujetos a congelación deshielo, sales, sulfatos y ambientes álcali reactivos. Mejorar la durabilidad.	Sales de resinas de madera (resina vinisol). Algunos detergentes sintéticos. Sales de lignina sulfonatada. Sales de ácidos de petróleo. Sales de material protaináceo. Ácidos grasos y resinosos y sus sales. Sulfatos de alquibenceno. Sales de hidrocarburos sulfonados.
Inhibidor de reacción álcali-agregado	ASTM C 494 Y NMX-C-255	Reducir la expansión por reactividad +álcali-agregado.	Sales de bario, nitrato de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio.
Inhibidor de corrosión		Reducir la corrosión del acero en ambientes con alta concentración de cloruros.	Nitrito de calcio, nitrito de sodio. Benzoato de sodio, ciertos fosfatos y fluosilicatos, fluoaluminatos, esteramina.
Reductor de aire		Disminuir el contenido de aire.	Fosfato tributilo, Ftalato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles en ácidos carbónico y bórico, silicones.

Tabla 10-1. Tipo de aditivos y sus principales efectos (Continuación 2)

Tipo de aditivo	Normativa	Efecto	Material empleado
Reductor de agua y acelerador	ASTM C 494 Y NMX-C-255	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y acelerar el fraguado.	Véase reductor de agua (se añade acelerador)
Reductor de agua y retardador		Reducir en hasta 5% el contenido de agua y retardar el fraguado.	Véase reductor de agua (se añade retardador)
Reductor de agua de alto rango	ASTM C 494	Reducir en hasta 12% el contenido de agua.	Véanse superplastificantes
Reductor de agua de alto rango y retardador	ASTM C 494	Reducir en hasta 12% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véanse superplastificantes y reductores de agua.
Reductor de agua de medio rango	ASTM C 494 Y NMX-C-255	Reducir el contenido de agua de 6% a 12% sin retardar el fraguado	Lignosulfatos. Policarboxilatos
Reductor de contracción		Disminuir la contracción por secado	Éter alquil polioxiálkileno. Propileno glicol.
Retardador		Retardar el tiempo de fraguado	Lignina. Bórax. Azúcares. Ácido tartárico y sales.
Superplastificante	ASTM C 1017	Aumentar la fluidez del concreto. Disminuir la relación agua-cemento,	Formaldehido condensado de melanina sulfonato. Formaldehido condensado de naftaleno sulfónico. Lignosulfatos. Policarboxilatos.
Superplastificante y retardador		Aumentar la fluidez del concreto con el tiempo de fraguado retardado. Disminuir la relación agua-cemento	Véanse superplastificantes y reductores de agua
Reductor de agua		Reducir en hasta 5% el contenido de agua.	Lignosulfonatos. Ácido carboxílico hidroxilato. Carbohidratos (también tienden a retardar el fraguado, entonces normalmente se añade un acelerador)

A continuación se ilustra el resultado de un par de concretos elaborados con aditivos, así como la inclusión manual de estos y una prueba de laboratorio.



Imagen 10-1. Concreto superfluido y concreto impermeable.¹⁰⁸



Imagen 10-2. Incorporación manual de aditivo y prueba de extensibilidad para concreto autocompactable.¹⁰⁹

11. PRUEBAS DE CONTROL

Dentro del proyecto una parte fundamental para el control de actividades es el cumplimiento de las especificaciones previamente establecidas. Algunas de las especificaciones con relación al concreto hidráulico establecen valores detallados de los requerimientos solicitados en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la mezcla.

¹⁰⁸ Mundoarquitectura.org. (2018). Tipos de Aditivos para Concreto, Hormigón y Mortero. Noviembre 1, 2018, de Mundoarquitectura.org Sitio web: <https://www.mundoarquitectura.org/tipos-de-aditivos-para-concreto-hormigon-y-mortero/> y SIKA . (s/f). AUDIOLIBRO ADITIVOS SIKA PARA CONCRETO. Noviembre 1, 2018, de SIKA Sitio web: https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/audiolibro-aditivos-para-concreto/audiolibro-tipos-aditivos-concreto.html

¹⁰⁹ Sika Mexicana. (2013). Fibras para refuerzo de concreto: SikaCem Fiber. Noviembre 1, 2018, de YouTube Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=RDDNaFEn2mk> y DocPlayer.es. (s/f). Mucilago de nopal como reductor de retracción en concreto auto-consolidable.. Noviembre 1, 2018, de DocPlayer.es Sitio web: <https://docplayer.es/61653592-Mucilago-de-nopal-como-reductor-de-retraccion-en-concreto-auto-consolidable.html>

La práctica de pruebas al concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido, nos proporciona la información necesaria para interpretar el comportamiento de la mezcla y de sus componentes para finalmente realizar los ajustes necesarios; desde la granulometría hasta el proporcionamiento de la mezcla.

Otro de los principales objetivos de las pruebas de control es regular la aceptación de la mezcla dentro del proceso constructivo; ya que los resultados satisfactorios garantizan el cumplimiento de las especificaciones las cuales la mayoría de veces se encuentran referenciadas a la normativa vigente.

Con el fin de evaluar con mayor exactitud el desempeño de la mezcla de concreto, en la actualidad existen diversas pruebas regidas bajo diversas normativas, las cuales se exponen en la Imagen 11-1 e Imagen 11-2.

Debido al alcance del presente trabajo, en el actual subcapítulo únicamente se contemplan las pruebas de revenimiento, peso volumétrico, aire incluido, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, en los subcapítulos 11.1 y 11.2, de acuerdo a su práctica en estado fresco o endurecido del concreto, se expone el desarrollo del ensaye incluyendo el equipo necesario y las consideraciones pertinentes a cada prueba.

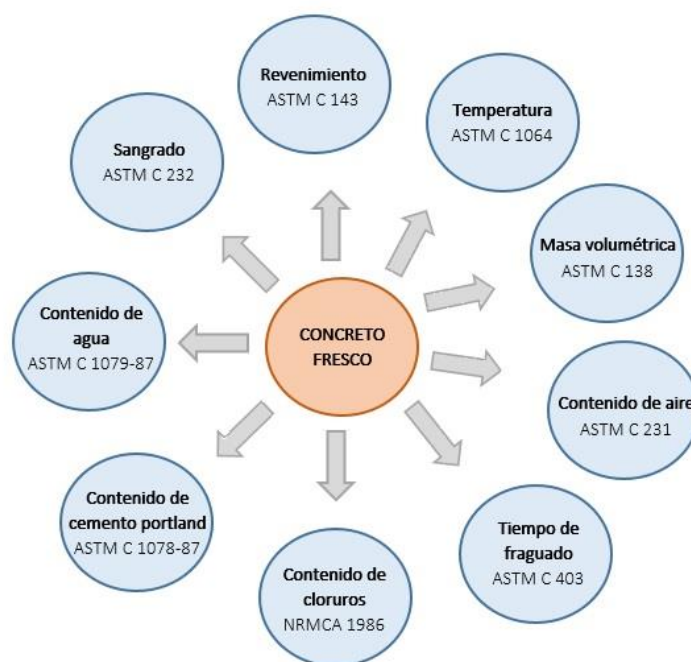


Imagen 11-1. Reglamentación para el concreto fresco.

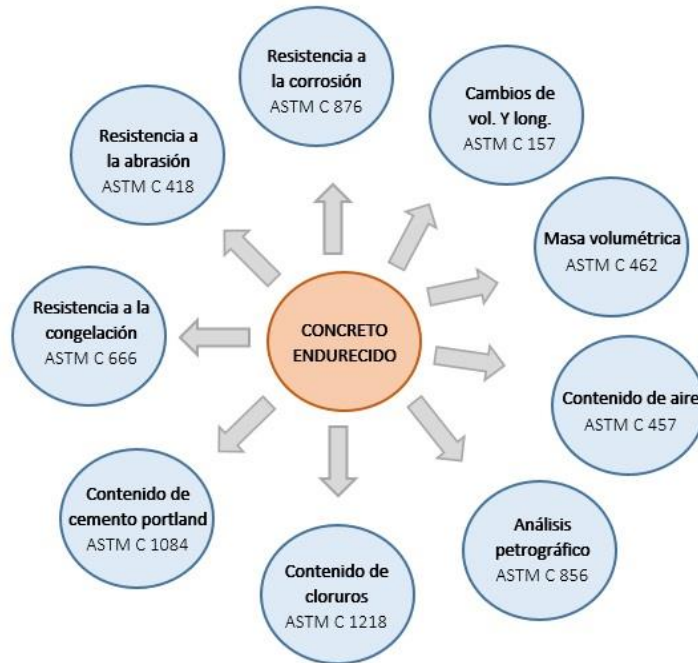


Imagen 11-2. Reglamentación para el concreto endurecido.

11.1. PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO

Las pruebas en concreto fresco se realizan con el fin de evaluar cuantitativamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la mezcla. En el presente subcapítulo se desarrollan solo algunas de las pruebas más importantes: revenimiento, masa unitaria y aire incluido.

Es importante mencionar que para el desarrollo de dichos ensayos es necesaria la práctica del muestreo. Proceso que consta de tomar ejemplares representativos de la mezcla de concreto con el fin de que al ser ensayados se obtengan resultados más certeros y significativos de la mezcla. El desarrollo relacionado al muestreo de la mezcla, se describe en el subcapítulo 11.1.1.

11.1.1.MUESTREO

Dentro de las pruebas de control, el muestreo de la mezcla de concreto es la fase inicial. Una buena técnica de muestreo es crucial para la obtención de resultados inequívocos. De manera general, este proceso se encuentra gobernado por la American Society for Testing and Materials ASTM C 172. Aunque existe una excepción de la normativa para el muestreo en las pruebas rutinarias de obra: revenimiento y aire incluido.

11.1.1.1. MUESTREO EN PRUEBAS RUTINARIAS

Considerando a las pruebas de revenimiento y aire incluido como rutinarias, su muestreo se podrá realizar obedeciendo las siguientes recomendaciones:

- El tamaño de la muestra se recomienda de 28 L, aunque para estas pruebas se permitirán volúmenes más pequeños en función del tamaño máximo del agregado (TMA).
- La muestra no deberá ser tomada ni en la primera ni en la última fase de la descarga.
- El periodo para la toma de muestra no deberá rebasar los 15 minutos.
- Posteriormente, en el menor tiempo posible la muestra se re-mezclará con ayuda de una pala a fin de obtener uniformidad total en el espécimen, a este espécimen final se le llama muestra compuesta.
- El ejemplar tendrá que ser ensayado durante los primeros 5 minutos después de re-mezclar la muestra.
- Se tendrán cuidados especiales de la muestra para evitar la evaporación acelerada del agua. Estos cuidados comprenden la protección del ejemplar ante los rayos directos del sol, del viento y otras fuentes de evaporación.

11.1.1.2. MUESTREO GENERAL

Proceso indicado para la obtención de muestras destinadas a los ensayos de control, exceptuando las pruebas rutinarias. Las recomendaciones a seguir se resumen de la siguiente manera:

A. Recomendaciones generales

- El período de recolección de la muestra deberá situarse entre la primera y última fase de la descarga del concreto, este periodo no deberá durar más de 15 minutos.
- Una vez recolectada la muestra se llevará al sitio de ensaye.
- Posteriormente, en el menor tiempo posible la muestra se re-mezclará con ayuda de una pala a fin de obtener uniformidad total en el espécimen, a este espécimen final se le llama muestra compuesta.
- La preparación de probetas para ensayos de resistencia a compresión se deberán elaborar, máximo, en los primeros 15 minutos de elaborada la muestra compuesta.
- Se tendrán cuidados especiales de la muestra para evitar la evaporación acelerada del agua. Estos cuidados comprenden la protección de la muestra ante los rayos directos del sol, del viento y otras fuentes de evaporación. Se recomienda coleccionar y ensayar la muestra en el menor tiempo posible.
- El volumen mínimo de la muestra será de 28 L.

B. Recomendaciones específicamente para el muestreo en mezcladoras estacionarias (basculantes o fijas)

- Se coleccionarán dos o más porciones de mezcla, de manera regular, durante la mitad de la descarga.

- Con relación al tiempo de colecta, se deberán cumplir las especificaciones establecidas anteriormente.
- Las porciones previamente colectadas se podrán unificar con el fin de lograr una sola muestra apta para los ensayos.
- El proceso de recolección se podrá realizar de dos maneras: interviniendo la descarga con algún contenedor o desviando la descarga al contenedor de la muestra.
- Al intervenir el flujo de descarga, evitar la segregación durante la recolección de la muestra.

C. Recomendaciones específicamente para el muestreo en pavimentadoras

- La muestra se colectara una vez que el total de la mezcla ha sido descargado en el frente de la pavimentadora.
- Las porciones se recopilaran de al menos 5 puntos diferentes y posteriormente se procederá a unificar en una sola muestra.
- Al recolectar las porciones se tendrá especial cuidado en no contaminarlas con material de la sub-base.
- Con el fin de evitar la contaminación de las porciones, antes de la descarga, se recomienda colocar los recipientes contenedores (de poca profundidad) donde ésta se llevará acabo, para asegurar la colecta directa.
- Finalmente las porciones previamente colectadas se podrán unificar con el fin de lograr una sola muestra apta para los ensayos.

D. Recomendaciones específicamente para el muestreo en camiones con tambores mezcladores

- Se coleccionarán dos o más porciones de mezcla, de manera regular, durante la mitad de la descarga.
- Con relación al tiempo de colecta, se deberán cumplir las especificaciones establecidas anteriormente.
- Las porciones previamente colectadas se podrán unificar con el fin de lograr una sola muestra apta para los ensayos.
- Las muestras se coleccionarán una vez que la totalidad del agua haya sido añadida dentro del camión.
- El proceso de recolección de podrá realizar de dos maneras: interviniendo la descarga con algún contenedor o desviando la descarga al contenedor de la muestra.

Con relación al muestreo en camión no agitador u otros contenedores abiertos, se podrán seguir todas las recomendaciones citadas en los apartados anteriores, seleccionando la que mejor se ajuste de acuerdo a las necesidades presentadas.

11.1.2.REVENIMIENTO

El concepto de revenimiento puede ser un indicador de la trabajabilidad del concreto en estado fresco, este contribuye en gran medida con la facilidad de colocación del concreto en las cimbras del elemento a colar. Dicha prueba se realiza con el fin de verificar que la mezcla cumple con las especificaciones establecidas con relación a la consistencia del concreto, parámetro relativo de la fluidez y movilidad. Las especificaciones de esta prueba quedan regidas por la American Society for Testing and Materials ASTM C 143.

A. Equipo

A.1. Cono estándar de revenimiento: Conformado de metal o cualquier otro material no absorbente, rígido y resistente ante la exposición del cemento. La forma del mismo será la de un cono truncado (10 cm de diámetro en la base superior y 20 cm de diámetro en la base inferior con 30 cm de altura y un espesor variable entre 1.15 mm hasta 1.52 mm dependiendo del método de fabricación. Dichas medidas que mantendrán una tolerancia de $\pm 3 \text{ mm}$), el cono también deberá estar equipado con estribos para apoyar los pies y asas para poder levantarlo (*Imagen 11-3 e Imagen 11-4*).

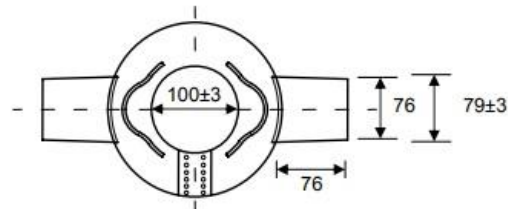


Imagen 11-3. Cono estándar de revenimiento, planta.¹¹⁰

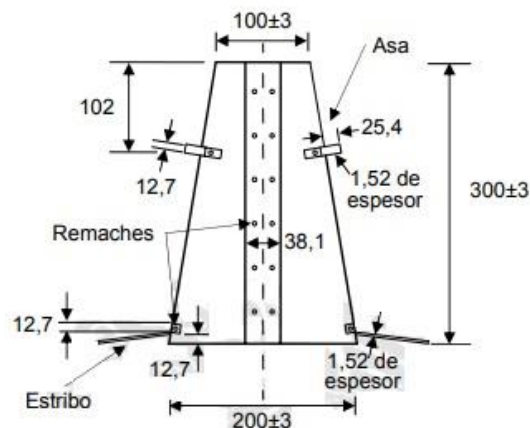


Imagen 11-4. Cono estándar de revenimiento, alzado.¹¹¹

¹¹⁰ SCT. (2006). MMP Métodos de muestreo y prueba de materiales. 2. Materiales para estructuras. México: SCT.

¹¹¹ SCT. (2006). MMP Métodos de muestreo y prueba de materiales. 2. Materiales para estructuras. México: SCT.

A.2. Cucharón con capacidad aproximada de 1l.

A.3. Varilla de compactación: barra de acero circular, recta, lisa y con punta redondeada (60 cm de largo x de diámetro).

A.4. Flexómetro o regla: graduada con aproximación de 1mm.

A.5. Placa metálica para prueba de revenimiento: Conformada de acero inoxidable con forma plana y con dimensiones de 50 cm por 50 cm.

A.6. Guantes: Resistentes, recomendables de hule látex u otro material no absorbente.

Dichas herramientas deberán encontrarse en condiciones óptimas de operación, calibradas, limpias y completas en todas sus partes.

B. Ensaye

B.1. Limpiar el cono, humedecer con agua el interior y colocar sobre la placa de revenimiento previamente humedecida. La placa deberá encontrarse nivelada.

B.2. Muestreo, de acuerdo al subcapítulo 11.1.1.

B.3. El personal designado para la práctica de la prueba se apoyara firmemente sobre los estribos y llenará, con la muestra de concreto, una primera capa que ocupara 1/3 del volumen del cono. Se compactará la mezcla dentro del cono varillando 25 veces. El varillado consiste en empujar la varilla dentro del concreto depositado en el cono, esta acción implica un patrón definido, trabajando desde el perímetro del cono hasta avanzar, con tendencia espiral, a la parte central (*Imagen 11-6*).

B.4. Posteriormente se depositará la segunda capa a 2/3 del volumen del cono y nuevamente se varillará 25 veces, penetrando los primeros 2 cm de la parte superior de la primera capa (*Imagen 11-6*).

B.5. Para la tercera y última capa se llenará el cono hasta el desborde, se varilla 25 veces nuevamente con la penetración de 2 cm a la parte superior de la capa anterior. Si con la compactación el nivel de concreto llega a bajar del nivel superior del cono, se agregará concreto para mantener el nivel por encima de la rasante (*Imagen 11-5*)



Imagen 11-5. Desborde del cono estándar de revenimiento.¹¹²

¹¹² IMCYC. (2007). EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO, REVENIMIENTO. México: IMCYC.

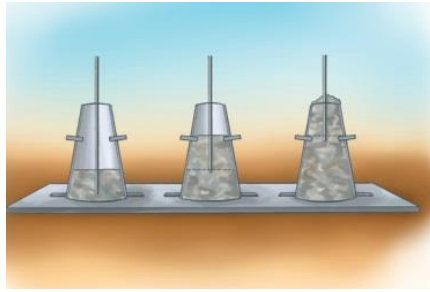


Imagen 11-6. Varillado en 1a., 2da. y 3ra. capa.¹¹³

B.6. Para eliminar el excedente de concreto se enrasará por medio de movimientos de rodamiento con la varilla de compactación, se limpia los restos de concreto que quedan alrededor de la base y de la parte superior del cono. Posteriormente, con las asas, se mantiene fijo el cono y se dejan de pisar los estribos (*Imagen 11-7*).



Imagen 11-7. Enrasado de la mezcla en cono estándar de revenimiento.¹¹⁴

B.7. En un tiempo estimado de 2 a 5 segundos, se levantará el cono con dirección vertical y evitando cualquier otro tipo de movimiento (*Imagen 11-8*).



Imagen 11-8. Levantamiento del cono estándar de revenimiento.¹¹⁵

¹¹³ IMCYC. (2007). EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO, REVENIMIENTO. México: IMCYC.

¹¹⁴ IMCYC. (2007). EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO, REVENIMIENTO. México: IMCYC.

- B.8. Una vez que se ha retirado el cono, se situara a lado de la mezcla y de cabeza. Sobre la parte superior del cono se colocara la varilla horizontalmente, de modo que una parte de la misma sobresalga del lado de la mezcla y pasando por arriba de su cima
- B.9. Reportar el asentamiento de la mezcla medido desde la varilla hasta la cima. Tome varias mediciones y reporte de la distancia promedio entre la varilla y la parte superior de la mezcla. Registre el revenimiento a los 5 mm más próximos (*Imagen 11-9*).



Imagen 11-9. Lectura del revenimiento.¹¹⁶

- B.10. Si los resultados presentados no son los requeridos e incumplen los rangos de tolerancia, deberá tomarse una segunda muestra, si ésta tampoco satisface los requerimientos, la totalidad de la mezcla deberá rechazarse.

Es necesario mencionar que el tiempo máximo de espera para que el concreto sea entregado, deberá ser de 30 minutos a partir del momento que llega a la obra. El revenimiento, 5 minutos después tomada la muestra, deberá cumplir con los límites especificados. Si el resultado de la prueba de revenimiento es inferior a lo solicitado, bajo la responsabilidad del usuario, se podrá descargar la mezcla siempre y cuando no existan dificultades en la colocación.

Son varios los factores que afectan el revenimiento en la mezcla, estos factores van desde las propiedades granulométricas, proporciones de componentes en la mezcla, contenido de aire, temperatura del concreto o aditivos. De la misma manera se debe recordar que, aunque el revenimiento aumente o disminuya con relación a la presencia del agua en la mezcla, esta prueba no mide el contenido de agua.

Las tolerancias respecto al revenimiento nominal se deberán regir bajo las siguientes especificaciones, *Tabla 11-1*.

¹¹⁵ IMCYC. (2007). EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO, REVENIMIENTO. México: IMCYC.

¹¹⁶ IMCYC. (2007). EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO, REVENIMIENTO. México: IMCYC.

Tabla 11-1. Valor nominal del revenimiento y tolerancias.¹¹⁷

Revenimiento nominal (cm)	Tolerancia (cm)
Menor de 5 ^[1]	+ - 1.5
De 5 a 10 ^[2]	+ - 2.5
Mayor de 10 ^[3]	+ - 3.5

[1] Especificado para elementos colados bajo vibración pesada, por ejemplo: pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos; secciones macizas grandes.

[2] Especificado para: losas, cajones de cimentación, cimentaciones, losas de cimentación, muros, columnas, trabes.

[3] Especificado para secciones reducidas, difíciles y congestionadas. Normalmente en estas secciones, el vibrado no se utiliza debido a la complejidad de la sección.

Si el revenimiento del concreto es menor que el solicitado, incluyendo la tolerancia; bajo el consentimiento del usuario se podrá agregar algún aditivo para obtener los resultados deseados. Posterior a la adición, el concreto se re-mezclara hasta obtener un producto homogéneo, para dicho proceso de mezcla, la maquinaria deberá girar 30 revoluciones adicionales como mínimo a la velocidad del mezclado.

11.1.3.PESO VOLUMÉTRICO (MASA UNITARIA)

La definición de masa unitaria se describe como la cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco Kg/m³. Dentro de las propiedades del concreto en estado fresco, la masa unitaria (peso unitario) es un imprescindible indicador del desempeño y calidad del concreto. De acuerdo al proporcionamiento de la mezcla y su impacto en el comportamiento de la masa volumétrica, se podrá identificar algún “sobrerendimiento”; es decir una disminución del contenido de cemento para la producción de un mayor volumen de concreto.

La modificación en: materiales, contenido de agua y contenido de aire; son algunas otras variaciones que podemos percibir a través del peso volumétrico. Las repercusiones en la mezcla, ocasionadas por alteraciones en la densidad ya especificada, van desde afectaciones a la resistencia mecánica hasta la bombeabilidad, colocación, acabado y otras cualidades deseables en el concreto.

Para el concreto estructural (convencional) dicha masa específica comprende desde los 1,900 Kg/m³ hasta los 2,400 Kg/m³.

La metodología para determinar la masa unitaria, se describe a continuación como resumen de la norma ASTM C 138 (American Society of Testing Materials).

A. Equipo

A.1.Martillo o mazo de goma.

A.2.Placa enrasadora.

¹¹⁷ ONNCCE. (2014). NORMA MEXICANA NMX-C-155-ONNCCE-2014 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO HIDRÁULICO-DOSIFICADO EN MASA-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO. México, Ciudad de México: ONNCCE.

A.3. Recipiente de medición (cilíndrico y metálico).

A.4. Varilla de compactación.

A.5. Báscula.

A.6. Material auxiliar (cucharón y franela).

B. Ensaye

B.1. Obtención de la muestra de concreto.

B.2. Determinar el peso del recipiente de medición vacío.

B.3. Colocar la muestra de concreto en el recipiente, se dispondrá en tres capas de igual volumen. Se evitará el derrame en la tercera capa.

B.4. En la totalidad de espesor de cada capa y con la varilla de compactación, realizar un varillado de 25 repeticiones en toda la superficie del cilindro. La segunda y tercera capa deberán penetrar 25 mm a su capa antecesora, *Imagen 11-10*.

B.5. Al final del varillado en cada capa y con el fin de sellar las oquedades ocasionadas por el mismo, se golpeará el exterior del cilindro con el mazo de goma. Se darán de 10 a 15 golpes alrededor del perímetro del recipiente, *Imagen 11-11*.

B.6. Posterior a la compactación de la mezcla, sobre la superficie se añadirán 3 mm de espesor de mezcla.

B.7. Enrasar la superficie del concreto y dar un acabado liso con la placa enrasadora, de manera que la mezcla quede justamente a nivel, *Imagen 11-12* e *Imagen 11-13*.

B.8. Limpiar perfectamente el exterior y base del recipiente.

B.9. Pesar el recipiente lleno y reportar los resultados, *Imagen 11-14*.

B.10. Calcular la masa unitaria restando al peso del recipiente lleno, el peso del recipiente vacío y dividiendo la diferencia entre el volumen del cilindro.



*Imagen 11-10. Varillado.*¹¹⁸

¹¹⁸ IMCYC. (2007). *Determinación de la masa unitaria*. En EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES (5). México: IMCYC.



Imagen 11-11. Compactación.¹¹⁹



Imagen 11-12. Enrasado de la mezcla.¹²⁰



Imagen 11-13. Acabado liso de la mezcla.¹²¹

¹¹⁹ IMCYC. (2007). *Determinación de la masa unitaria*. En EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES (5). México: IMCYC.

¹²⁰ IMCYC. (2007). *Determinación de la masa unitaria*. En EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES (5). México: IMCYC.

¹²¹ IMCYC. (2007). *Determinación de la masa unitaria*. En EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES (5). México: IMCYC.



Imagen 11-14. Determinación de la masa de concreto.¹²²

11.1.4. CONTENIDO DE AIRE

La existencia de aire incluido en el concreto se origina de dos maneras: accidentalmente (aire atrapado) e intencionalmente (aire incluido). La presencia de aire en forma accidental, la mayoría de veces, es generada por causas como: la forma del agregado, la dosis del cemento, la relación cemento-agua y la mala compactación de la mezcla. Debido a la interconexión de posibles oquedades (de gran tamaño y mala distribución) en la mezcla, las consecuencias del aire atrapado concluyen en una calidad deficiente del concreto. El contacto con el agua y escenarios de congelación son ambientes que propician la vulnerabilidad de la mezcla con aire estancado, culminando en concretos porosos y permeables. A través de una buena compactación, el volumen de aire atrapado deberá aproximarse a valores del 1%.

Por el contrario, el diseño de mezclas con aire incluido beneficia el resultado final del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. El aire incorporado intencionalmente, considerado como un componente más en la mezcla, son burbujas (con un tamaño aproximado, aunque variable) de 25 a 250 μm repartidas de manera uniforme en la masa. Dichas burbujas se producen a partir de la disminución en la tensión superficial del agua, causada por la intervención de un agente que además de originar su formación, propicia la estabilidad durante su proceso de producción y el fraguado-endurecimiento de la mezcla. Aunque la elaboración del concreto con y sin aire incluido no difiere mucho la una de la otra, la durabilidad se ve incrementada de manera importante.

Los factores con mayor impacto en la cantidad de aire incorporado a la mezcla de concreto son los que se enlistan a continuación:

- Agente inclusor de aire: Su composición influye en la cantidad a utilizar, el tamaño de las burbujas, su espaciamiento, estabilidad en la masa y su resistencia elástica para permanecer en el concreto. Después de cierto límite en el aumento de dosis del agente, no habrá cambios significativos en la inclusión de aire.

¹²² IMCYC. (2007). *Determinación de la masa unitaria*. En EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES (5). México: IMCYC.

- **Cemento:** La cantidad de aire incluido a utilizar se ve afectada por sus compuestos (sulfatos, álcalis, puzolanas), la finura del polvo (a más finura, menos cantidad de aire), incremento en la dosis de cemento (disminuye la porosidad en la mezcla).
- **Relación agua-cemento:** Interviene de manera significativa en la distribución de burbujas, su tamaño y estabilidad. A mayor relación agua-cemento, mayor contenido de aire incorporado. Las mezclas demasiado secas tienden a propiciar el aire atrapado.
- **Agregados:** Se sabe que la disminución del volumen de pasta por m^3 de concreto, se da gracias al uso de mayores TMA en el agregado grueso; lo que resulta en una mezcla más económica y con mayor volumen compacto. Debido a que el aire incluido se encuentra en la pasta cementante, se entiende que a mayor proporción pasta cementante-aire incluido se tendrán mejores resultados en cuanto a sus beneficios y protección.

El aire incluido que se incorporará a la mezcla se verá influenciado directamente por el TMA del agregado, ya que funge el rol de “desplazador de volumen”. De ahí que la relación TMA-aire incluido se encuentre normada, como se indica en la *Tabla 11-2*.

Tabla 11-2- . Cantidad de aire recomendado según el grado de exposición al congelamiento y deshielo.¹²³

Tamaño máximo del agregado (mm)	Cantidad de aire recomendado, total en %		
	Ligera	Moderada	Severa
75	1.5	3.5	4.5
50	2.0	4.0	5.0
40	2.5	4.5	5.5
25	3.0	4.5	6.0
20	3.5	5.0	6.0
13	4.0	5.5	7.0
10	4.5	6.0	7.5

Cabe mencionar que contenidos de aire menores a los indicados en la Tabla son insuficientes para darle al concreto la resistencia deseada y por el contrario contenidos superiores pueden reducir significativamente la resistencia mecánica sin lograr una protección adicional. También es importante indicar que la resistencia no se verá incrementada si se disminuye el TMA o si se incrementa el contenido de aire de manera general en la mezcla de concreto y no específicamente en la pasta cementante.

- **Mezclado y colocación:** Debido a la aparición de distintas peculiaridades durante el proceso de producción de la mezcla (modo y tiempo de mezclado, energía, tipo de mezcladora, volumen de la mezcla, tiempo de entrega), se requiere tener conocimiento previo de las características físicas del mezclado para una selección óptima de la dosis de aire incluido. Es de vital importancia conocer las condiciones a las que será sometida la mezcla (tiempo entre mezclado y colocación, tiempo de vibrado) ya que la cantidad de aire puede verse afectada por la disolución de burbujas.

¹²³ ONNCCE. (2014). NORMA MEXICANA NMX-C-155-ONNCCE-2014 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO HIDRÁULICO-DOSIFICADO EN MASA-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO. México, Ciudad de México: ONNCCE.

Como se ha expuesto, la durabilidad es uno de los beneficios más sobresalientes al emplear aire incorporado en la mezcla. Utilizando a las burbujas como cámaras de expansión, no solo mejora notablemente el comportamiento frente al congelamiento y deshielo, sino que también favorecen la impermeabilidad del concreto. Por otra parte, la docilidad en el concreto fresco, es otra característica que se fortalece al momento de la inclusión de aire. Esta peculiaridad se debe a que las burbujas se conducen como un “agregado grueso elástico” pudiendo reemplazar parte del agregado fino y fomentando comportamientos como la reducción en la exudación y segregación de la mezcla.

Debido a los óptimos resultados en la mezcla, la inclusión de aire se ha incorporado en la mayoría de las obras civiles (hidráulicas, marítimas, industriales, edificación, vialidades, pavimentación de carreteras y aeropistas). La dosis de aire (tanto preliminar como de rutina) a incluir en la mezcla, será determinada por el estructurista por medio de los ensayos pertinentes. Un concreto con aire incluido podrá ser rechazado si, durante las pruebas, los resultados no cumplen con las tolerancias. Se podrá realizar una segunda prueba, si así lo requiere el usuario, dicha prueba se deberá practicar 5 minutos después y esta será la definitiva.

La metodología para determinar el contenido de aire, se describe a continuación como resumen de la norma ASTM C 231.

Existen distintos tipos de pruebas para la determinación del contenido de aire en la mezcla de concreto. A continuación se describirá uno en específico, el método de presión. Es necesario mencionar que este método se practicará en concretos y morteros elaborados con agregados de masa específica igual o mayor a $2,10 \text{ kg/m}^3$. Dicho método tampoco se ensayará en concretos con agregados ligeros que tengan burbujas de aire en el interior, alta porosidad o bajo revenimiento.

A. Equipo

A.1. Guantes de hule o de carnaza.

A.2. Regla metálica.

A.3. Franela.

A.4. Agua.

A.5. Varilla para compactación.

A.6. Martillo o mazo de goma.

A.7. Medidor de aire por medio de presión (comercialmente conocido como “medidor de aire tipo B”), *Imagen 11-15*.

B. Ensayo

Antes de comenzar con la determinación del contenido del aire, se debe iniciar el proceso con la calibración del equipo. Primeramente, con agua, se llenará a ras el recipiente del medidor. Directamente en parte interior de la tapa, atornillar de forma inclinada (en el orificio de alguna válvula de paso) el tubo recto para calibración del equipo. Colocar la tapa y asegurar la misma con los dispositivos asignados.

Inyectar agua a través de las válvulas de paso para asegurar que el recipiente se encuentra lleno a tope y que se tiene un buen funcionamiento de las válvulas. De manera vertical, pegado a la superficie y con el cierre de la válvula donde se inyecta el agua; el recipiente se gira en medios círculos con el fin de liberar el aire que aún permaneciera atrapado. Se abre nuevamente la válvula, y se vuelve a inyectar agua para poder cubrir cualquier posible pérdida.

Una vez que se aseguró la liberación del aire atrapado y que no existen faltantes ni sobras de agua en el recipiente, se procede a cerrar todas las válvulas. Con el fin de alcanzar el valor inicial de presión (cero), se bombea el aire necesario y se acompaña de pequeños ajustes (golpes en la base del manómetro, dejar escapar sólo un poco de aire por medio la válvula principal).

En el orificio de la válvula de paso, donde anteriormente se atornilló el tubo recto de calibración, conectar el tubo curvado de calibración. Se cerciorará que la boca del tubo curvado quede apuntando dirección hacia abajo, esto para poder llenar el vaso de calibración.

Con la manipulación de la válvula de paso en cuestión y la válvula principal de aire se dejará correr el flujo necesario de agua en el vaso de calibración. El vaso en cuestión será llenado las veces necesarias hasta retirar el volumen deseado (volumen con referencia al aire deseado). Para regresar el flujo de agua atrapado en el tubo curvo de calibración, abrir la válvula a la que está conectado y esperar un momento. Al momento de remover el tubo curvo de calibración se hace la suposición que el volumen de aire ha quedado determinado por el vaso de calibración.

Con todas las válvulas cerradas, nuevamente se bombea y ajusta hasta alcanzar el valor inicial de presión en el manómetro. Al liberar el aire por medio de la válvula principal se esperará y ayudará a que se estabilice el manómetro. Una vez tomada la lectura del manómetro, se comparará con el volumen del vaso de calibración. La suposición anteriormente mencionada se verificará si ambos volúmenes son iguales (se adoptara una tolerancia del 0.1%).

El procedimiento para determinar el contenido de aire se inicia con la toma de la muestra representativa del concreto a ensayar. Dentro del recipiente del medidor, se colocará la muestra de concreto en tres capas del mismo volumen, cada capa deberá ser varillada (25 veces) y golpeada (3 veces por punto, en 4 puntos seleccionados) por el exterior con el martillo/mazo.

Una vez que se llega a la tercera capa, con ayuda de la regla metálica se deberá enrasar la superficie de concreto hasta conseguir un acabado liso. Antes de colocar la tapa y para tener un cierre hermético perfecto, se limpiará a detalle tanto el exterior del recipiente como las orillas dónde encajará la tapa y se afianzará con los seguros (dos seguros a la vez, y seleccionar los opuestos), *Imagen 11-15*.

Teniendo lista la preparación, se procede a la manipulación del equipo. Se da inicio con el cierre de la válvula de purga de aire, posteriormente para asegurar un buen funcionamiento de las válvulas de paso y un recipiente completamente lleno a tope, se inyecta agua por una de las válvulas de paso hasta que el flujo se de salida por la otra válvula. Una vez confirmado el buen comportamiento del sistema, se cierran las válvulas de paso.

Entrando a la recta final del proceso, se comenzará por bombear aire dentro de la cámara hasta llegar al valor de cero (valor inicial de presión). Una vez alcanzado el valor inicial de presión se abre

la válvula principal de aire, se espera hasta que se estabilice el manómetro (pudiendo dar ligeros golpes en la base del mismo) y el valor indicado será el % de aire contenido en la mezcla.

Para un desmonte ideal del equipo, por medio de la válvula principal de aire, se liberará el aire de manera lenta y continua para evitar el descalibrar el manómetro, los seguros se retiraran de la misma manera en que se colocaron (dos seguros a la vez, y seleccionar los opuestos).

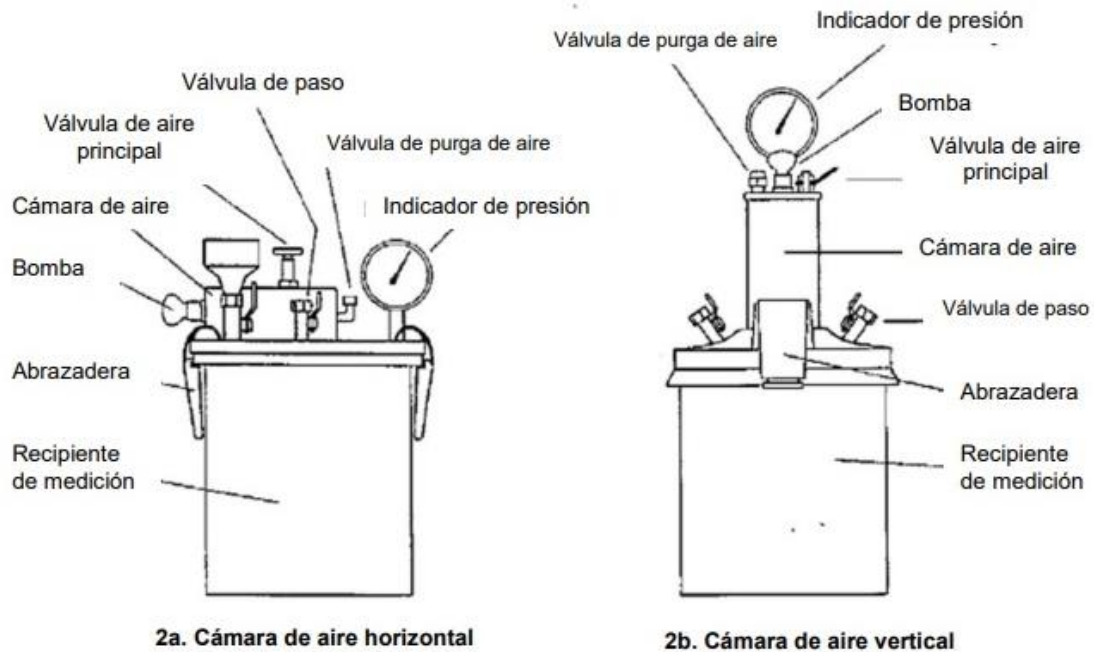


Imagen 11-15. Diagrama esquemático del Medidor tipo B.¹²⁴

11.2. PRUEBAS EN CONCRETO ENDURECIDO

Al igual que las pruebas en concreto fresco, los ensayos para el concreto endurecido se realizan con el fin de evaluar cuantitativamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la mezcla. En los subcapítulos 11.2.1 y 11.2.2 se desarrollan solo algunas dos de las pruebas más importantes realizadas al concreto endurecido: resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

11.2.1.RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se define como el esfuerzo máximo que soporta un determinado material bajo una carga de aplastamiento. Dicha resistencia se obtiene, por medio de ensayos a

¹²⁴ COGUANOR. (2015). NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA NTG 41017 h7. Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión. GUATEMALA: COGUANOR.

compresión en probetas cilíndricas de concreto, dividiendo la carga máxima a la fractura entre el área inicial de la probeta (reportada en Kg/cm²).

La exposición de resultados, para un material que falla a la compresión, se interpreta fácilmente debido a que los datos arrojados indican un valor exacto para la fractura. Por el contrario, para materiales que no fallan a la compresión, los valores obtenidos únicamente indican el esfuerzo necesario para una deformación determinada.

La práctica para dar a conocer del valor de la resistencia a la compresión, surge de la necesidad de comprobar que el concreto cumpla con los requerimientos de resistencia solicitada ($f'c$) en el proyecto. Entre otras utilidades, la resistencia a compresión, emerge como parámetro para fines como el control de calidad, aceptación de la mezcla, programación de obra (retiro de cimbras, curado, etc.). Actualmente, esta medida se emplea como referencia para el diseño de edificaciones y otras estructuras. Se debe reiterar que la calidad del concreto no está ligada exclusivamente a dicha característica mecánica. Ésta misma depende potencialmente de la resistencia individual de los agregados, de la pasta cementante y de la adherencia que se produzca entre ambos.

Todos los procesos relacionados con la obtención de la resistencia a compresión deberán ser normados. Esto con el fin de que métodos como: dimensionamiento de especímenes, elaboración, curado, preparación y ensaye, no influyan como factores de variación.

11.2.1.1. ESPECÍMENES

Son dos los especímenes (elaborados del concreto fresco) que normalmente se emplean para la determinación de la resistencia a la compresión, el cúbico y el cilíndrico. Generalmente el espécimen cúbico es utilizado donde rigen normas europeas y la práctica del espécimen cilíndrico era propia de países como Canadá, EUA y México. Sin embargo en la actualidad, la práctica de especímenes cúbicos se ha extendido hasta el continente americano, y en México muy recientemente se empieza a hacer uso de este tipo de especímenes.

A. Especificaciones

Existen dos procedencias para la obtención de un espécimen cilíndrico. La primera, es de origen en laboratorio, de acuerdo con la NOM-159, para este espécimen las dimensiones se rigen a través del TMA con algunas limitaciones: $d \geq 3TMA$, d mínimo permisible de 51 mm, altura mínima permisible de 102 mm. La segunda, con origen en obra y de acuerdo con la NOM-C-160, establece que las dimensiones correspondientes al cilindro serán las señaladas para el espécimen estándar con $TMA \leq 51 \text{ mm o } 2 \text{ in}$. Las medidas del cilindro estándar quedan determinadas con un diámetro mínimo de 152 mm y una altura mínima de 304 mm. De manera cotidiana se les identifica como cilindros de 15 por 30 cm. Dentro de las especificaciones del espécimen estándar, se menciona que para un concreto con TMA mayor del establecido se cumplirá: $d \geq 3TMA$. El espécimen estándar nace de la necesidad de relacionar los resultados de obra con los de laboratorio.

Los siguientes puntos a tratar en el proceso a para la obtención de la resistencia a la compresión es la fabricación y curado de los especímenes *Tabla 11-3*.

B. Equipo

B.1. Moldes metálicos o de plástico para testigos de 4"x8" o 6"x12".

B.2. Cucharón.

B.3. Martillo de caucho o goma.

B.4. Espátula o plancha para enrasar la superficie.

B.5. Varilla de compactación lisa y punta redondeada de 5/8" para probetas 6"x12" o de 3/8" para probetas de 4"x8".

C. Elaboración

C.1. Depositar la mezcla en los moldes en tres capas de igual volumen para probetas 4"x8" y 2 capas para probetas 6"x12".

C.2. Con la varilla compactadora apisonar cada capa 25 veces, de manera uniforme sobre toda la superficie, se tendrá que cerciorar que se penetre la capa antecesora.

C.3. Compactar, haciendo uso del martillo de caucho, con golpes de 10 a 15 veces sobre el exterior del molde.

C.4. Enrasar los cilindros y dar un acabado liso.

Tabla 11-3- . Resumen de requisitos usuales para la elaboración y curado de especímenes para determinar la resistencia da compresión del concreto (especímenes fabricados en moldes estándar, por muestreo del concreto fresco).¹²⁵

Tipo de especímenes.	Elaboración (Obtención)	Conservación (Curado)
En laboratorio (NOM-C-159)	<ul style="list-style-type: none"> Llenar el molde en capas de igual espesor Compactar con varilla o por vibración, según revenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Primeras 24 horas: Moldes protegidos de la evaporación y a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ Posteriormente: inmersión en agua saturada con cal o ambiente con 95% HR (mínimo), mantener a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
En obra (NOM-C-160)	<ul style="list-style-type: none"> Llenar el molde en capas de igual espesor Compactar con varilla o por vibración, según revenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Primeras 48 horas (como máximo): Moldes protegidos de la evaporación o inmersión en agua saturada con cal, mantener a temperatura entre 16°C y 27°C Posteriormente: inmersión en agua saturada con cal mantener a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

¹²⁵ COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (1997). MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO, SECCION 3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO. MÉXICO: LIMUSA.



Imagen 11-16. Especimen cilíndrico para prueba a compresión.¹²⁶

11.2.1.2. CABECEO

Dentro de la preparación de especímenes, el cabeceo de cilindros es de vital importancia. El proceso consiste en que las cabezas logren un acabado de “planicidad” en las superficies y perpendicularidad con el eje del cilindro. Puesto que, la cabeza del cilindro fungirá como conducto de las cargas de compresión, sus propiedades deberán ser normadas (NOM-C83, NOM-C-109, comité ACI 363) de acuerdo al material de composición (Tabla 11-4). Cabe señalar que las superficies se consideraran aceptables si no presentan desviaciones (en cilindro estándar) mayores a 0.05 *mm* en una distancia de 152 *mm* y que su perpendicularidad no difiera más de 0.5° respecto al ángulo de 90°.

¹²⁶ Estudiantes de Ingeniería Civil (EAFIT) . (2013). NORMAS Y ENSAYOS-William Esteban Escobar-Juan Esteban Duque-David Jaramillo-Esteban Uribe-Mateo Garces. Octubre 24, 2018, de Blogspot Sitio web: <http://proyecto1reciclaje-grupo2.blogspot.com/2013/08/normas-y-ensayos.html>

Tabla 11-4. Métodos de cabeceo en probetas cilíndricas de concreto.

Material de composición	Dimensiones	Especificaciones
Pulido con piedra esmeril	Se deberá respetar la relación $L/D = 2$ y las tolerancias de planicidad y perpendicularidad especificadas anteriormente	<ul style="list-style-type: none"> • Designado para concretos con resistencia superior a los 700 Kg/cm^2
Almohadilla de neopreno	De un espesor de $13 \pm 2 \text{ mm}$ y un diámetro no menor en más de 2 mm al diámetro interior del anillo de retención	<ul style="list-style-type: none"> • Designadas para resistencias desde 102 Kg/cm^2 hasta 510 Kg/cm^2 • Para resistencias de hasta 856 Kg/cm^2 se podrán utilizar bajo calificación previa • Sustituir si presentan desgaste excesivo • Mantener un registro indicando la fecha en que la almohadilla es puesta en servicio, la dureza y el número de usos permitidos. • Las almohadillas podrán ser usadas en una o ambas caras del espécimen
Pasta de Cemento	Realizar capas tan delgadas como sea posible	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación a concreto en estado fresco • Aplicar de 2 a 4 horas después del moldeado

11.2.1.3. CONDICIONES NORMALES DE LA PRUEBA A COMPRESIÓN

Finalizada la preparación de las probetas de concreto se da inicio al ensaye de las mismas. Con el fin de evitar variaciones en los resultados de la práctica, el desarrollo debe marchar bajo la reglamentación correspondiente. Las características de la máquina de ensaye, las condiciones de humedad del espécimen y la velocidad con la que se incrementa la carga, son algunos de los factores que pueden tener mayor impacto en la ejecución del ejercicio.

El diseño y funcionamiento de la máquina de ensaye, son las dos particularidades más significativas a supervisar durante el desempeño de la misma. Las características del diseño propician una adecuada aplicación de cargas, es decir dichas cargas quedaran distribuidas uniformemente sobre toda la superficie de contacto del espécimen y la resultante será colineal con el eje del mismo.

Por su parte, el buen funcionamiento de la máquina promueve la exactitud y la precisión del registro de cargas, así como la velocidad con la que estas mismas serán aplicadas. De este modo se conseguirá una coincidencia de cargas con las reales, con un error máximo permisible del $\pm 1\%$

En seguida se expone en tres etapas el método de ensayo a compresión de un espécimen de concreto, de igual manera se enlistan algunas consideraciones y criterios de aceptación de la resistencia a compresión.

A. Previo al ensaye

- A.1. La máquina a manipular durante el ensaye será la prensa (*Imagen 11-17 e Imagen 11-18*), la misma puede ser mecánica, hidráulica o neumática. La máquina deberá poseer ciertas características como el control de la velocidad de aplicación de cargas, asimismo no deberá producir impactos ni pérdida de cargas, certificado de calibración vigente.
- A.2. La máquina deberá estar propiamente equipada con dos bloques de acero para la aplicación de la carga. Un bloque deberá disponer de un asiento esférico y se fijará en el cabezal de la máquina, mientras que el otro bloque será rígido sencillo y formara la base. Las superficies de apoyo no deberán diferir de un plano en más de 0.025 mm en una longitud de 150 mm.
- A.3. El dispositivo de carátula (*Imagen 11-17*) deberá estar oportunamente graduado, con una división mínima de 2 kN o 204 Kg. La uniformidad de la graduación en la escala de toda la carátula es de crucial importancia. Pueden presentarse dispositivos digitales de medida (*Imagen 11-18*), los cuales deberán registrar apropiadamente la máxima carga aplicada.



Imagen 11-17. Prensa análoga para ensaye a compresión.¹²⁷



Imagen 11-18. Prensa digital para ensaye a compresión.¹²⁸

¹²⁷ E 658 Prensa análoga para ensaye a compresión, alcance de medición 120 toneladas, bomba con válvula regulable de aplicación de carga, manómetro Helicoid (120,000 kgf, resolución 200 kgf. ELEVEC. (2018). E 658. 2018, de ELEVEC Sitio web: <http://www.ellvec.com.mx/pages/concreto.html>

A.4. Los dispositivos de alineamiento en la máquina de ensaye, se presentaran en forma de barras guías o niveles de gota. Dichos dispositivos se encontrarán en unión con las placas de cabeceo para garantizar la perpendicularidad en todo el eje del espécimen

A.5. Previo y posterior al ensaye de la probeta, la máquina deberá ser calibrada.

B. Ejecución del ensaye

B.1. Cabeceo de especímenes.

B.2. Limpiar debidamente las superficies de las placas superior e inferior de la prensa, así como los extremos de los especímenes sometidos a prueba.

B.3. Registrar la masa de la probeta.

B.4. Colocar la probeta a ensayar sobre la placa inferior con cuidado de alinear el eje respecto al centro de la placa con asiento esférico.

B.5. Descender la placa superior de la prensa hasta lograr un contacto suave y uniforme.

B.6. Aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua, sin producir impacto ni pérdida de carga.

B.7. Continuar con la aplicación de la carga hasta alcanzar la máxima permisible. Se podrá conducir al espécimen hasta la ruptura, con el fin de observar el tipo de falla y apariencia de concreto, Imagen 11-19.

B.8. Realizar los registros pertinentes

C. Posterior al ensaye

C.1. Se deberá calcular y reportar la resistencia a compresión soportada por el espécimen. Se utilizara la siguiente expresión

$$R = \frac{10P}{A}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión, (MPa)

P = Carga máxima, (kN)

A = Área promedio de la sección transversal del espécimen, (cm²)

El informe de resultados deberá presentar la siguiente información: Obra y ubicación, clave de identificación del espécimen, edad del espécimen, diámetro y altura en cm con aproximación a 1 mm área de la sección transversal en cm² con aproximación a un décimo, masa del espécimen en kg, carga de ruptura en kN, resistencia a la compresión en MPa **MPa**, descripción de la falla,

¹²⁸ E 659 Prensa digital para ensaye a compresión, con bomba de válvula regulable de aplicación de carga; manómetro Noshok, resolución 10 kgf, unidad de medición kgf, retención de carga máxima, alcance de medición 120 toneladas. ELEVEC. (2018). E 659. 2018, de ELEVEC Sitio web: <http://www.ellvec.com.mx/pages/concreto.html>

defectos observados en el espécimen o en sus cabezas, nombre del operador o laboratorista que ejecuto la prueba, fecha y hora de la prueba.



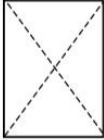
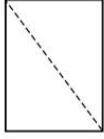


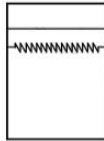
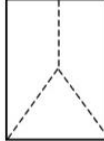

Imagen 11-19. Falla de espécimen sometido a prueba de compresión.¹²⁹

D. Consideraciones

- D.1. Se deberán someter al menos dos especímenes de la misma edad para reportar como resultado la resistencia promedio (aproximar al intervalo 0.1mpa más cercano)
- D.2. Las deficiencias en la elaboración, curado y ensaye normalmente resultan en un valor menor de la resistencia medida.
- D.3. El rango de diferencia de la resistencia promedio entre los cilindros del mismo conjunto de ensaye deberá oscilar entre el 2% y 3%, si dicha diferencia alcanza valores de 8% a 9% se deberán rectificar los procedimientos de ensaye en laboratorio.
- D.4. Si las pruebas se realizan en laboratorios diferentes los resultados no deberán diferir en más de 13% del promedio de los dos resultados de las pruebas
- D.5. Si durante el ensaye, uno o dos de los conjuntos de cilindros, fallan a una resistencia menor a f'_c , los cilindros deberán ser retenidos y examinados
- D.6. Los técnicos del laboratorio que participan en el ensaye del concreto deben estar certificados
- D.7. La esquematización de algunos diagramas de fallas se expone en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

¹²⁹ Estudiantes de Ingeniería Civil (EAFIT) . (2013). NORMAS Y ENSAYOS-William Esteban Escobar-Juan Esteban Duque-David Jaramillo-Esteban Uribe-Mateo Garces. Octubre 24, 2018, de Blogspot Sitio web: <http://proyecto1reciclaje-grupo2.blogspot.com/2013/08/normas-y-ensayos.html>

Tabla 11-5- . Diafragma de fallas en cilindros sometidos a compresión.¹³⁰

	<p>Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado</p>
	<p>Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada</p>
	<p>Se presenta en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de cabeceo; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad de una de las placas de carga</p>
	<p>Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de cabeceo; también por concavidad de una de las placas de carga</p>
	<p>Se presenta cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga y deficiencia del material de cabeceo o por rugosidades en el plato cabeceador o por deformación de la placa de carga.</p>
	<p>Se presenta en especímenes que tienen una cara de aplicación convexa y deficiencias del material de cabeceo o rugosidades del plato cabeceador</p>
	<p>Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina</p>

D.8. Por otra parte, la influencia del incremento de la velocidad en los esfuerzos de compresión, tiene un efecto significativo en la magnitud de la carga máxima que soportara el cilindro de concreto. De manera que si los esfuerzos son aplicados con rapidez, la carga máxima incrementará aparentemente (*Imagen 11-20*). Por esta causa, la velocidad de aplicación queda normada y de acuerdo con la NOM-C-83, para un espécimen estándar el rango de velocidad

comprenderá de $1.5 \frac{kg}{cm^2 \cdot s}$ a $3.5 \frac{kg}{cm^2 \cdot s}$.

¹³⁰ SCT. (2004). 058. Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto. En MMP. MÉTODOS DE MUESTRO Y PRUEBA DE MATERIALES (12). México: SCT.

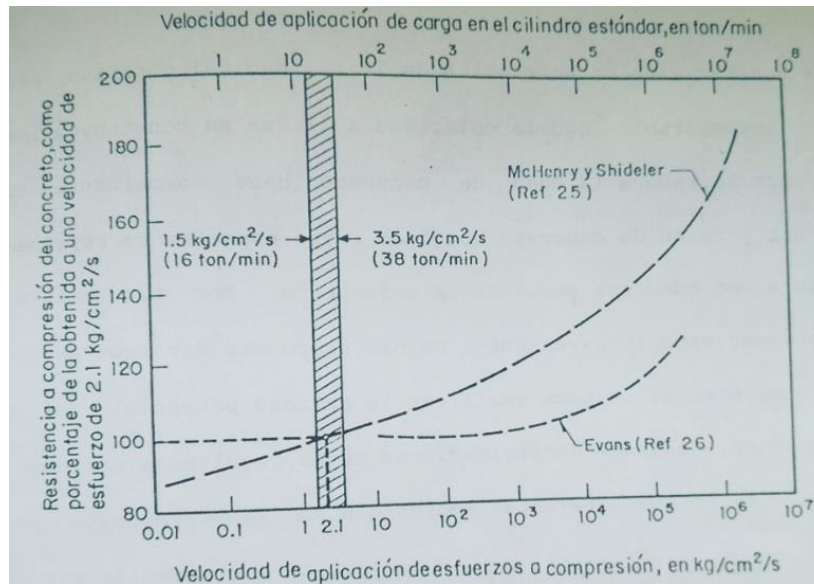


Imagen 11-20. Variación de la resistencia a compresión del concreto de acuerdo con la velocidad de la aplicación de carga.¹³¹

E. Criterios de aceptación de la resistencia a compresión

Se acepta que no más de 10% de los ensayos de resistencia a compresión tenga valores inferiores a la resistencia especificada, $f'c$. Para cumplir con este requisito con un nivel de confianza de 99%, los resultados de los ensayos deben cumplir con las dos condiciones señaladas para cada nivel de resistencia específica.

E.1. Para resistencia especificada, $f'c$, menor o igual a 35 MPa:

- El promedio de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas debe ser igual o mayor que $f'c$
- Ninguna resistencia individual debe ser menor que $f'c - 3.5$ MPa

E.2. Para resistencia especificada, $f'c$, mayor que 35 MPa:

- El promedio de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas debe ser igual o mayor que $f'c$
- Ninguna resistencia individual debe ser menor que $0.9 f'c$.

¹³¹ COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (1997). MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO, SECCION 3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO. MÉXICO: LIMUSA.

11.2.2.RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la tensión se define como el esfuerzo máximo que soporta un determinado material sometido a fuerzas tirantes. Dicho esfuerzo depende, en gran medida, de la resistencia a tensión propia de cada elemento de la mezcla y de su adherencia entre estos.

El diseño de elementos de concreto habitualmente se basa en las cargas de compresión a las cuales estarán expuestos durante su vida útil. Sin embargo, en la práctica, es imposible la ausencia de esfuerzos a tensión; de ahí la necesidad a que el concreto pueda responder de manera conveniente a la tracción. Comúnmente la contracción por secado o temperatura, o las condiciones de carga que involucran flexión y cortante, propician el trabajo a tensión del elemento.

A causa de la mayor exigencia de cuidados en los especímenes de prueba a tensión que los de compresión, se ha dejado de lado la práctica a tracción; ya que esta situación termina reflejada en altos costos de ensaye con mayor variabilidad en la información suministrada (ocasionada por la misma naturaleza de la prueba).

En consecuencia de lo antes mencionado, se ha propuesto una estimación empírica de la resistencia a tensión. Para los concretos de peso ligero a normal, dicha estimación empírica (ACI 363), se encuentra en el intervalo comprendido entre $1.99\sqrt{f_c}$ y $3.18\sqrt{f_c}$ expresado en Kg/cm². Como particularidad, en las normas técnicas complementarias, se recomienda utilizar los valores, *Imagen 11-21*.

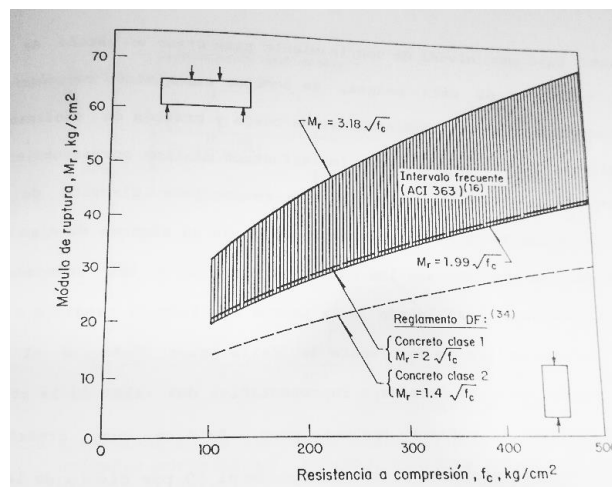


Imagen 11-21. Correlación entre la resistencia a compresión y el módulo de ruptura en concretos con diferentes agregados.¹³²

No obstante, estructuras como presas en arco, aeropuertos y pavimentos de concreto demandan una resolución a tensión, ya que la influencia de dicho esfuerzo es significativa. Dentro de los factores con mayor impacto en la variación de los resultados de la prueba a tensión, se encuentra

¹³² Comisión Federal de Electricidad. (1994). Manual de Tecnología del Concreto, SECCIÓN 3. México: LIMUSA

la selección del método de ensaye. Las pruebas a tensión se clasifican en 3 (Imagen 11-22). La primera y segunda prueba se practica en especímenes cilíndricos, mientras que para la tercera prueba son necesarios especímenes prismáticos (vigas). Cabe recalcar que la prueba opcional por flexión tiene dos variantes.

La complejidad en la sujeción de las vigas de concreto y la flexión de las mismas, durante el ensaye a flexión, presenta dificultades en la aplicación de tensión uniaxial (prueba de tensión directa, Imagen 11-22).

Debido a estas complicaciones, se da prioridad al método indirecto por flexión; haciendo preferencia en el sistema con dos cargas concentradas iguales aplicadas en los tercios del claro, en vista de que los resultados por compresión diametral (prueba brasileña) son menores a esta prueba, Imagen 11-23. Se hace hincapié en el hecho de que estos métodos arrojan valores de resistencia mayores a los obtenidos por carga uniaxial (tracción verdadera).

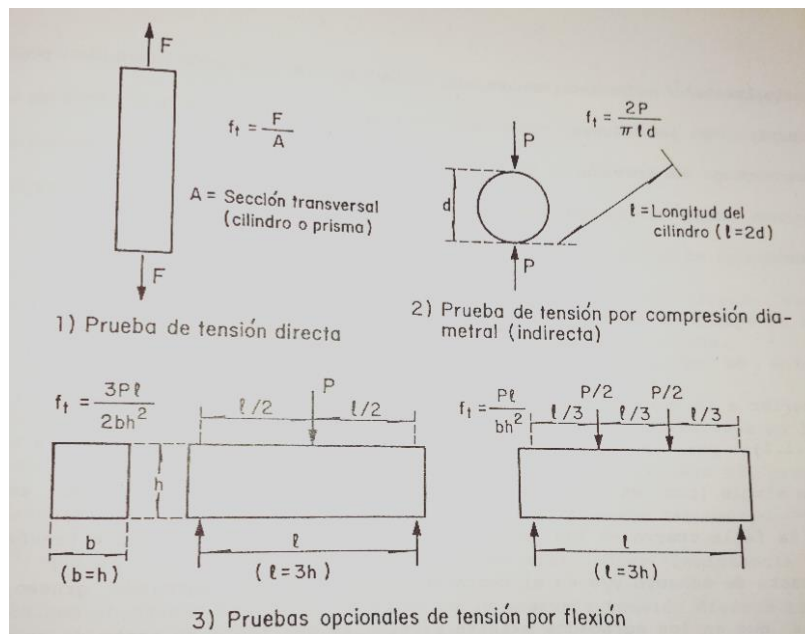


Imagen 11-22. Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto.¹³³

Respecto a la prueba a tensión indirecta, en comparación a la prueba de flexión, los resultados obtenidos son inferiores debido a condiciones como: la distribución no uniforme de los esfuerzos en la sección de falla, la propagación de grietas debido a la naturaleza de la prueba y simplificaciones teóricas para el cálculo del esfuerzo máximo a tensión.

¹³³ Comisión Federal de Electricidad. (1994). Manual de Tecnología del Concreto, SECCIÓN 3. México: LIMUSA

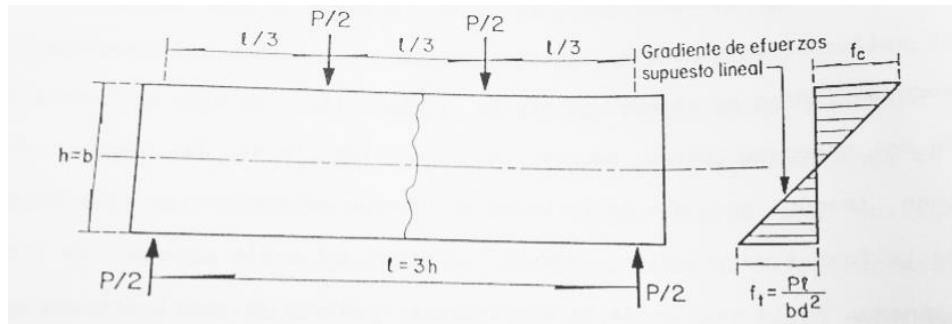


Imagen 11-23. Distribución de esfuerzos en la sección de falla de especímenes de concreto ensayados a tensión por flexión. 2.¹³⁴

La preferencia, entre las dos variantes del ensaye a tensión por flexión, resulta por simples razones de dimensionamiento. El método con carga concentrada en el centro del claro está destinado para ensaye de especímenes pequeños y no deberá emplearse como sustitución del método de dos cargas.

El hecho de que las dimensiones en el espécimen sean menores, da como resultado valores superiores a los del método de dos cargas. Esto se da como consecuencia de que la longitud de la viga, sometida a la tensión máxima, sea menor; por lo que la posibilidad de que se incluya un elemento débil en la región de máximo estrés es menor.

11.2.2.1. MÓDULO DE RUPTURA

Para el sistema de cargas iguales en los tercios del claro, el esfuerzo de tensión máximo alcanzado en la fibra inferior de la viga ensayada es conocido como *módulo de ruptura* (valor indispensable para el diseño a tensión). El valor del módulo de ruptura no solo depende en gran medida de las dimensiones de la viga, sino que también del arreglo de las cargas, *Imagen 11-24*. Las características propias de este sistema generan un momento de flexión constante entre de las dos cargas, propiciando así el máximo esfuerzo en el tercio central del claro; por consiguiente la falla toma lugar en este tramo, *Imagen 11-23*. El módulo de ruptura se reporta en Kg/cm².

Los resultados de este método de prueba se podrán utilizar para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como base para la dosificación, operaciones y colocación de la mezcla.

¹³⁴ Comisión Federal de Electricidad. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto, SECCIÓN 3*. México: LIMUSA.

11.2.2.2. ESPECÍMENES

De acuerdo al ASTM C 78 (American Society of Testing Materials), la prueba normal a flexión se deberá realizar en especímenes prismáticos (vigas) que cumplan con las siguientes características.

A. Especificaciones

A.1. La sección será rectangular o cuadrada; dónde:

- $h = d' = \text{peralte del espécimen}$
- $b = \text{ancho del espécimen}$
- $L = \text{longitud del espécimen}$
- $l = 3h = 3d' = \text{claro de prueba del espécimen}$
- $d = l/3 = \text{tercio del claro de prueba del espécimen}$

A.2. Si la sección es rectangular el peralte $h < 1.5b$

A.3. $l > 3h + 50\text{mm}$. Esto con el fin de que $l = 3h$

A.4. $b \geq 3TMA$

A.5. Los lados de la muestra deben estar en ángulo recto con la parte superior e inferior.

A.6. Todas las superficies deben ser lisas y sin cicatrices, hendiduras, agujeros o marcas de identificación inscritas.

Sin embargo, con el fin de eliminar variables se establece un espécimen estándar (viga de sección cuadrada) con un dimensionamiento fijo: 152 mm * 152 mm **6 in * 6 in** con $L = 508$ mm **L = 20 in**, con la restricción de que el **TMA < 51 mm (2 in)** 51 mm.

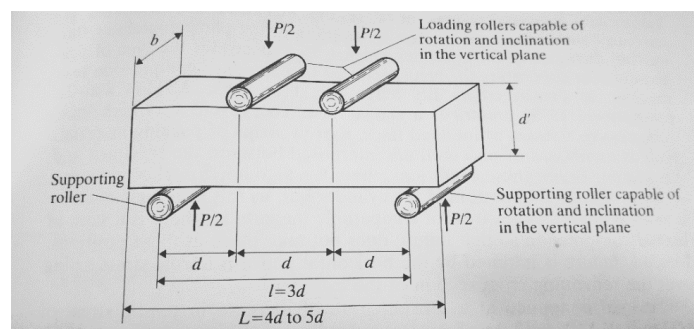


Imagen 11-24. Arreglo de cargas para prueba a flexión de una viga de concreto.¹³⁵

¹³⁵ A.M. Neville & J.J. Brooks. (1987). Concrete Technology. E.U.A: Longman Scientific & Technical.

B. Equipo

- B.1. Moldes metálicos de vigas.
- B.2. Martillo de caucho o goma.
- B.3. Cucharón.
- B.4. Espátula o placa para enrasar la superficie.
- B.5. Varilla de compactación (lisa y punta redondeada).

C. Elaboración

- C.1. Garantizar que el dimensionamiento del molde cumpla la normativa correspondiente, esto con el fin de no alterar los resultados. Los especímenes se deberán elaborar con el eje mayor en posición horizontal.
- C.2. Previo a depositar la mezcla de concreto en el molde, impregne en el interior con un material que evite que el concreto se adhiera a la superficie del molde.
- C.3. El depósito de la mezcla en el molde, se realizará en dos capas del mismo espesor.
- C.4. EL varillado en cada capa deberá seguir la siguiente metodología: una varillada, a cada 14 cm^2 (2 in^2), en la totalidad de la superficie expuesta de la viga.
- C.5. Con golpes (generados con ayuda del martillo de caucho) en repeticiones de 10 a 15, se implementará la compactación de la viga; con el fin de sellar cualquier oquedad producida por el varillado.
- C.6. Enrasar la superficie, brindando un acabado liso, *Imagen 11-25*.
- C.7. Previo al ensaye ($24 \pm 4\text{ h}$), con el fin de garantizar el estado de humedad uniforme en la viga, ésta se deberá sumergir en agua saturada de hidróxido de calcio a una temperatura de $76 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Durante el tiempo de espera entre el curado y la ejecución de la prueba se deberán mantener húmedas las superficies del espécimen, con el objeto de evitar la presencia de zonas secas y la consecuente disminución de la resistencia.

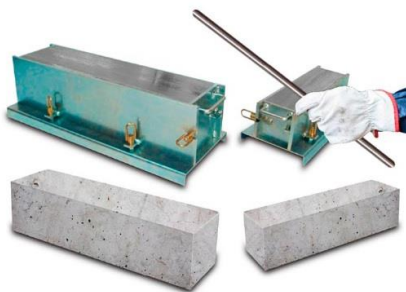


Imagen 11-25. Especímenes prismáticos para prueba de resistencia a flexión (vigas).¹³⁶

¹³⁶ UNICON. *Profesionales en concreto*. (2016). UNICONSEJOS: Elaboración y curado de especímenes de concreto (Vigas). Agosto 29, 2018, de UNICON. *Profesionales en concreto* Sitio web:

11.2.2.3. CONDICIONES NORMALES DE LA PRUEBA A FLEXIÓN

La fuerza determinada variará según las diferencias presentes en el espécimen, es decir: dimensionamiento, preparación, estado de humedad y curado.

A. Previo al ensaye

Se deberá contar con el equipo necesario, debidamente calibrado y en condiciones óptimas.

A.1. Franela o tela de yute.

A.2. Marcadores de tinta indeleble y crayones de cera.

A.3. Tiras de cuero de un espesor uniforme de 5 mm a 7 mm, con un ancho de 25 mm a 50 mm, y que cubren todo lo ancho del espécimen.

A.4. Escuadra y regla.

A.5. Lija de agua de grano fino.

A.6. Dispositivo para la aplicación de carga (*Imagen 11-26*) el cual a su vez deberá estar acondicionado con:

- Bloques de rodamiento, encargados de garantizar que las fuerzas aplicadas al espécimen sean perpendiculares a la cara de la muestra y sin excentricidades.
- Una relación de distancia horizontal de 1 ± 0.03 , entre el punto de aplicación de carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana a la profundidad de la viga.
- Si el dispositivo para la aplicación de carga es sustituido por algún aparato: los bloques de aplicación y soporte de carga no deberían ser superior a (64 mm) (esta medida deberá tomarse desde el centro o el eje de pivote, y debe extenderse por completo o más allá de la ancho de la muestra), el ángulo de la superficie curva de cada bloque debe ser de al menos 45°, la aplicación de carga y los bloques de soporte se mantendrán en posición vertical.

B. Ejecución del ensaye

B.1. Colocar el espécimen de manera horizontal y libremente apoyado en los extremos. Si los especímenes en cuestión son sustraídos directamente del molde, al ensayar se deberá voltear el espécimen sobre un lado respecto a la posición del moldeado. En seguida, centrar la viga en los bloques de apoyo; los cuales a su vez deben estar centrados respecto a la fuerza aplicada.

B.2. Transmitir a lo ancho de la viga y en los tercios del claro, dos cargas de igual magnitud. Situados en los puntos tercios entre los apoyos, los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen. El contacto, entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie del espécimen, deberá ser absoluto.



Imagen 11-26. Máquina automática para pruebas de flexión.¹³⁷

B.3. Si existe la presencia de alguna brecha de separación (mayor a 0.1 mm y menor a 0.5 mm) y dependiendo de las condiciones de cada espécimen, se deberá hacer uso de tiras de cuero o lijar las superficies del mismo. Se deberá tener especial cuidado en mantener el lijado al mínimo, de lo contrario, las repercusiones en las características físicas podrían afectar negativamente los resultados.

B.4. Las reacciones de los apoyos y las cargas deberán actuar de manera vertical. Se permitirá el incremento de velocidad antes de alcanzar la mitad de carga prevista de ruptura, al rebasar este valor, la aplicación de cargas se efectuará con una velocidad constante, de manera tal que el incremento de esfuerzos de las fibras extremas no rebase los 980 KPa/min ($10 \frac{\text{kgf/cm}^2}{\text{min}}$).

B.5. Continuar con la aplicación de la carga a velocidad constante (para viga estándar: 11 Kg/s y 16 Kg/s) hasta provocar la falla de la viga, *Imagen 11-27*.

B.6. Registrar la carga máxima soportada.

C. Posterior al ensaye

C.1. Calcular el esfuerzo máximo de tensión producido por flexión (módulo de ruptura).

$$M_r = \frac{Pl}{bh^2}$$

Donde $P = \text{carga máxima en kg}$

¹³⁷ UTEST Equipo para ensayos en materiales. (2018). Máquinas para Pruebas de Compresión y Flexión. Máquina Automática para Pruebas de Flexión. Agosto 30, 2018, de UTEST Equipo para ensayos en materiales Sitio web: <http://www.utest.com.tr/es/25944/M-quina-Autom-tica-para-Pruebas-de-Flexi-n>



Imagen 11-27. Falla de viga de concreto sometida a flexión.¹³⁸

C.2. En condiciones normales, la falla se encontrará dentro del tercio central del claro de prueba. Si la falla ocurre fuera del tercio central del claro de prueba (sin exceder más del 5%), se recomienda emplear la expresión:

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Donde a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más próximo

C.3. En el caso de que la falla se presente fuera del tercio central del claro de prueba (excediendo el 5%), el ensayo debe desecharse.

C.4. El informe de la prueba deberá incluir: Identificación de la muestra, ancho promedio en *cm*, peralte promedio en *cm*, distancia entre apoyos en *cm*, carga máxima aplicada en *N (kg_f)*, módulo de ruptura, condiciones de curado y humedad del espécimen al momento del ensayo, uso de tiras de cuero o lijado de espécimen, defectos del espécimen y edad del espécimen.

D. Consideraciones

D.1. El técnico que realizará la prueba de resistencia a la flexión deberá estar certificado

D.2. Posterior al curado húmedo, la prueba de flexión de los especímenes se realizarán tan pronto como sea posible. Si el espécimen se ensaya con un secado superficial, la reducción en la fuerza flexible es considerable.

D.3. En términos de precisión se deberán obedecer las siguientes especificaciones:

- Dimensionamiento: 0.1 cm.

¹³⁸ . Arsingnotoria. (2016). Ensayo de Flexión en Viga de Concreto Armado Sobrereforzada / Reinforced Concrete Beam Flexural Test. Agosto 30, 2018, de Arsingnotoria Sitio web: <https://arsingnotoria.wordpress.com/category/concreto-armado-teoria-de-flexion-reinforced-concrete-flexural-theory/>

- Carga máxima aplicada: 0.987 N (1 kg_f).
- MR: 9.8 kPa ($0.1 \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2}$).

12. CONCLUSIÓN

Con el desarrollo de los once capítulos en el presente trabajo se concluye que el objetivo propuesto se cumplió debido a que se expone a detalle la información relacionada con el tema “Procedimientos constructivos de elementos de estructuras”. A lo largo del desarrollo de cada capítulo se opta por desarrollar el tema en cuestión empleando clasificaciones por metodologías, maquinaria o equipo, movimientos, continuidad, entre otras, según se requiera. En la medida de lo posible, se opta por discernir ampliamente cada concepto o metodología para una mejor comprensión por parte de los alumnos.

Se hace uso de una gran cantidad de imágenes, diagramas, graficas, y tablas con el objetivo de ejemplificar a detalle los conceptos descritos teóricamente. De manera indirecta, en el desarrollo de esta tesis se logra actualizar la información respecto a nuevos métodos, tecnologías, materiales, equipos, normativas, etc. con relación al concreto hidráulico y los procedimientos constructivos que lo involucran.

La importancia del cumplimiento de este objetivo secundario no debe subestimarse, ya que para toda investigación científica se solicita que la antigüedad de las referencias no rebasen los 5 años (como máximo), recomendación que en el área de la ingeniería civil se ha dejado de lado. Teniendo en cuenta que es de suma importancia contar con bibliografía actualizada, en cualquier círculo relacionado con la ciencia y el desarrollo derivado de esta misma, en el presente trabajo se recurrió a la recopilación de información actualizada proveniente de distintos medios. Es decir, no sólo se hace uso de la bibliografía sugerida en el plan de estudios, misma que se encuentra en las bibliotecas de la Facultad de Ingeniería y con antigüedades de hasta treinta años, situación que debería ser de interés ya que los cambios presentados en 10, 15, 20 años representan evoluciones importantes, no solo en la vida laboral de un ingeniero, sino también en la formación de nuevas generaciones.

De manera que con el desarrollo de este trabajo también se espera despertar el interés por parte de los docentes en no sólo actualizar los planes de estudios sino también la bibliografía contenida en los mismos, ya que se podría no tener los resultados esperados al realizar cambios en un plan de estudios sin tener una verdadera actualización en las herramientas de apoyo que transmiten el conocimiento.

Teniendo en consideración dicha situación, se espera que con la elaboración de este material el profesorado que imparta la asignatura de “Procedimientos constructivos de elementos de estructuras” cuente ya con una herramienta más de apoyo para la impartición de su doctrina, teniendo la posibilidad de compartir con el alumnado una bibliografía que se encuentre en estado actualizado y de fácil comprensión. Por otra parte también se considera que el apoyo de este material no sólo beneficia a los alumnos que se encuentran cursando un curso presencial. Como también se sabe, dentro del país existe gran cantidad de estudiantes autodidactas que no tienen acceso a los conocimientos impartidos por los docentes. De manera que, la tesis, al encontrarse

abierta al público por distintos medios, sirve como bibliografía de apoyo para estudiantes no sólo de la Facultad de Ingeniería, sino también para estudiantes a distancia, de distintas facultades, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- NEVILLE, A.M. & BROOKS, J.J. (2010). *CONCRETE TECHNOLOGY, SECOND EDITION*. MALAYSIA: PEARSON.
- MAESTRO. (s/f). *Maker - Trompo Mezclador 14HP con Motor Kohler GX270*. septiembre 06, 2018, de MAESTRO Sitio web: <http://www.maestro.com.pe/productos/herramientas-y-maquinarias/trompo-con-motor-13-hp-kohler-11p31>
- PCM/ITOP. (2010). *FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN*. septiembre 06, 2018, de PCM/ITOP Sitio web: ftp://ceres.udc.es/IT_Obras_Publicas/Troncales/Procedimientos_Construccion_Maquinaria/tema_10_10_11.pdf
- MATEST Material Testing Equipment. (s/f). *TURBO FORCED MIXERS, PAN TYPE WITH VERTICAL AXIS*. September 06, 2018, de MATEST Material Testing Equipment Sitio web: <http://matest.com/es/Products/concreto/CONCRETE-MIXERS/turbo-forced-mixers-pan-type-with-vertical-axis>
- Cemex Concretos. (s/f). CEMEX. septiembre 10, 2018 , de Sección amarilla Sitio web: <https://paginas.seccionamarilla.com.mx/cemex-concretos/suministro-de-concreto-premezclado/oaxaca/salina-cruz/-/>
- CASTAÑO, J. & CUARTAS, J.L. (2015). *CONTROL DE COLOCACIÓN DE CONCRETO EN OBRA*. MEDELLÍN: s/e.
- s/a. (s/f). *CAPÍTULO V COLOCACIÓN*. septiembre 12, 2018, de tesis.uson.mx Sitio web: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9071/Capitulo5.pdf>
- Maquinaria PY. (s/f). *CINTA TRANSPORTADORA DE HORMIGÓN*. septiembre 12, 2018, de Maquinaria PY Sitio web: <https://maquinariapy.cl/maquinaria-arriendo/cinta-transportadora-de-hormigon/>
- IMOCOM. (s/f). *Bomba de Concreto City Pump 2112 HP Putzmeister*. septiembre 13, 2018, de IMOCOM Sitio web: <http://www.imocom.com/construccion/concretos/bombeo/bomba-de-concreto-city-pump-2112-hp-putzmeister>
- PLANAR EQUIPAMENTOS. (s/f). *BOMBA LANÇA*. septiembre 13, 2018, de PLANAR EQUIPAMENTOS Sitio web: <http://www.planarequipamentos.com.br/equipamentos/bomba-lanca>
- ALFO. (s/f). *VIBRADOR PARA CONCRETO*. septiembre 13, 2018, de ALFO Sitio web: <http://alfo.com.mx/vibrador-para-concreto/>
- CEMEX. (s/f). *MANUAL DEL USUARIO DE CONCRETO PROFESIONAL*. s/l: CEMEX.
- enarco. (s/f). *Llana Oscilante Blue Glider*. septiembre 16, 2018, de enarco Sitio web: <https://www.enar.es/es-es/products/pav-tl-60111/llana-oscilante-blue-glider>
- Materiales de Occidente. (s/f). *Llana metálica mango madera*. septiembre 16, 2018, de Materiales de Occidente Sitio web: <http://www.materialesdeoccidente.com/tienda/llana-metalica-mango-madera-hopex/>

- CENTRAL DE SUMINISTROS G S. (s/f). Palustre Mango Madera N°8 – Marca Lufkin. septiembre 16, 2018, de Fitos Group Sitio web: <https://www.centraldesuministrosgs.com/producto/palustre-mango-madera-n8-marca-lufkin/>
- IMCYC. (2005). Acabado del concreto. En CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONCRETO (4). México: IMCYC.
- IMCYC. (2005). Acabados en superficies de concreto. En CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONCRETO (5). México: IMCYC.
- ARGOS. (2010). ACABADOS EN CONCRETO ARQUITECTÓNICO. septiembre 17, 2018, de ARGOS Sitio web: http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2016/04/acabados_en_concreto_arquitectonico.pdf
- Mundo concreto. (s/f). Husqvarna PG450 Desbastadora y pulidora planetaria. septiembre 17, 2018, de Mundo concreto Sitio web: <https://www.mundoconcreto.mx/Home/ProductDetails?iProductId=97>
- TROXELL, G., DAVIS, H., & KELLY, J. (1968). *COMPOSITION AND PROPERTIES OF CONCRETE (2ª ed.)*. N.Y., E.U.A.: Mc GRAW HILL.
- MURDOCK, L. J. (1960). *ELABORACIÓN DEL CONCRETO Y SUS APLICACIONES (3ª ed.)*. Londres, Inglaterra: EDWARD ARNOLD (PUBLISHERS) LTD.
- IMCYC. (2008). Concreto premezclado vs concreto hecho en obra. En *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA (4)*. México: IMCYC.
- LOZMAR CONCRETOS. (s/f). *Ventajas de planta dosificadora movil*. Octubre 11, 2018, de Jimdo Sitio web: <https://lozmar.jimdo.com/ventajas/>
- CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE CONCRETO. (s/f). Mezcla en planta.. Octubre 11, 2018, de sites.google Sitio web: <https://sites.google.com/site/construcciondeestructura/unidad-i/1-3-mezcla-en-planta>
- CEMENTECH. (s/f). An Overview Mobile Batch Plants vs. Traditional Batch Plants. Octubre 11, 2018, de CEMENTECH Sitio web: <https://cementech.com/2017/04/18/mobile-batch-plant-vs-traditional-batch-plant/>
- DISMET. (s/f). Plantas dosificadoras de concreto. Octubre 11, 2018, de DISMET Sitio web: <https://www.dismet.com/productos/plantas-dosificadoras-de-concreto/>
- Onlinemanuals. (s/f). *Section 3: Concrete Plant Operation*. Octubre 12, 2018, de Onlinemanuals Sitio web: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/conc_plant_operation.htm
- Bardahl. (s/f). *La Historia de las Mezcladoras de Concreto*. Octubre 12, 2018, de Bardahl Sitio web: <https://www.bardahl.com.mx/la-historia-las-mezcladoras-concreto/>
- IMCYC. (s/f). *De bandas, bombas y tractocamiones*. Octubre 15, 2018, de IMCYC Sitio web: <http://www.imcyc.com/cyt/septiembre02/debandas.htm>
- American Concrete Institute. (2000). *ACI 304R-00. Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*. E.U.A: American Concrete Institute.
- Michigan Concrete Association. (2006). *ASTM C94. Standard Specification for ready mixed Concrete*. -: Michigan Concrete Association.

- IMCYC. (1990). *El concreto en la obra. Tomo II*. México: LIMUSA.
- Unión de Concreteras S.A.. (s/f). Pavimentadoras de Concreto. Octubre 15, 2018, de Unión de Concreteras S.A. Sitio web: <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/pavimentadoras/22/c-22>
- Grúas y Equipos García | Grúas Industriales y Equipo. (s/f). ETIQUETA: GRUAS INDUSTRIALES. Octubre 15, 2018, de Grúas y Equipos García | Grúas Industriales y Equipo Sitio web: <http://www.gruasyequiposgarcia.com/tag/gruas-industriales/>
- Schlumpf, J. & Hofler, J. (2004). *Concreto Proyectoado en la Construcción de Túneles*. -: Putzmeister AG y Sika AG.
- Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. E.U.A.: PCA. Portland Cement Association.
- American Concrete Institute. (2016). ACI 506R-16. *Guide to shotcrete*. E.U.A.: American Concrete Institute.
- ACI . (1996). ACI 309R-96. *Guide for Consolidation of Concrete*. E.U.A.: ACI
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s/f). COGUANOR. (s/f). NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA. Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. Guatemala: COGUANOR.. En COGUANOR. (s/f). NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA. Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. Guatemala: COGUANOR.(6). México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Giraldo, O. (1987). *GUIA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN*. Colombia: s/e.
- <https://www.importancia.org/construccion.php>
- <http://sermanconstrucciones.es/reformas-las-rozas/materiales-de-construccion>
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2145/candelaramirez.pdf?sequence=1>
- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7282/Capitulo1.pdf>
- <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-017-00.pdf>
- <file:///C:/Users/amigi/Downloads/38623-1-133440-1-10-20160121.pdf>
- <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/viewFile/10139/10576>
- *Manual para Supervisar Obras de Concreto ACI-311-92*
- <http://www.imcyc.com/cyt/mayo05/CONCEPTOS.pdf>
- <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/colado.htm>
- <https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/home/16--colocacin-del-concreto-bajo-temperaturas-extremas>
- IMCYC. (2007). Determinación de la masa unitaria. En *EL CONCRETO EN LA OBRA: PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES* (5). México: IMCYC

- Comisión Federal de *Electricidad*. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto*, SECCIÓN 3. México: LIMUSA.
- A.M. Neville & J.J. Brooks. (1987). *Concrete Technology*. E.U.A: Longman Scientific & Technical.
- D.F. Orchard. (1979). *CONCRETE TECHNOLOGY, VOLUME 2, PRACTICE*. Inglaterra: APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD LONDON
- IMCYM. (2008). Determinación de la resistencia a flexión del concreto. En *EL CONCRETO EN LA OBRA. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES* (5). México: IMCYC.
- UNICON. Profesionales en concreto. (2016). *UNICONSEJOS: Elaboración y curado de especímenes de concreto (Vigas)*. agosto 29, 2018, de UNICON. Profesionales en concreto Sitio web: <http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-elaboracion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-vigas/91>
- UTEST Equipo para ensayos en materiales. (2018). Máquinas para Pruebas de Compresión y Flexión. Máquina Automática para Pruebas de Flexión. Agosto 30, 2018, de UTEST Equipo para ensayos en materiales Sitio web: <http://www.utest.com.tr/es/25944/M-quina-Autom-tica-para-Pruebas-de-Flexi-n>
- Arsingnotoria. (2016). Ensayo de Flexión en Viga de Concreto Armado Sobrereforzada / Reinforced Concrete Beam Flexural Test. agosto 30, 2018, de Arsingnotoria Sitio web: <https://arsingnotoria.wordpress.com/category/concreto-armado-teoria-de-flexion-reinforced-concrete-flexural-theory/>
- ASTM International. (s/f). *Designation: C 31/C 31M – 03a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*¹. agosto 30, 2018, de c-s-h.ir Sitio web: <http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-31.pdf>
- ASTM International. (s/f). *Designation: C 192/C 192M – 02 Designation: C 192/C 192M – 02 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. agosto 30, 2018, de c-s-h.ir Sitio web: <http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-192.pdf>
- UNICON Profesionales del concreto. (2016). *UNICONSEJOS: Elaboración y curado de muestras de concreto*. agosto 30, 2018, de UNICON Profesionales del concreto Sitio web: <http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-elaboracion-y-curado-de-muestras-de-concreto/82>