

Elementos de control en la tecnología del concreto (*)

Gladys Maggi V. (**)

(*) Trabajo presentado en las Terceras Jornadas de Investigación del IDEC. Diciembre, 1984.

(**) Investigadora del IDEC-FAU-UCV.

1. INTRODUCCION

Para la producción de componentes y sistemas constructivos de concreto, se requiere el conocimiento de la tecnología del material, en sus aspectos de componentes, propiedades, proceso de producción y control, entre otros, para así poder estimar su comportamiento final, y garantizar los requerimientos de resistencia establecidos en el diseño.

El estudio sobre los elementos de control en la tecnología del concreto tiene como objetivo plantear los lineamientos básicos que deben tenerse en cuenta para la producción y control de calidad del concreto. No se trata de un análisis exhaustivo de todas las variables que influyen en la calidad del producto final, habiéndose intentado ampliar el estudio a todas las consideraciones establecidas en la bibliografía consultada.

El estudio consta de tres secciones:

1. Control de los componentes
2. Control del proceso de producción
3. Control del producto final.

En la primera sección se incluye una descripción de los componentes del concreto: agregados, cemento, agua y aditivos, su influencia en la mezcla, los ensayos requeridos, y los rangos establecidos para la aceptación o rechazo de los materiales. La segunda sección se refiere a las operaciones requeridas para la elaboración del concreto, y al control necesario de los equipos utilizados en la dosificación y mezclado de los componentes. En la última sección se considera el comportamiento estadístico de las variables analizadas, en función de las pruebas de cilindro ensayadas.

2. CONTROL DE LOS COMPONENTES

Las propiedades de los componentes del concreto deben ser conocidas detalladamente, para poder estimar las propiedades del concreto que con ellos se elabore.

Las operaciones requeridas para elaborar el concreto son numerosas: selección de los materiales, diseño y ajuste de mezclas, mezclado, transporte, manejo, colocación, vibrado y curado; y a cada una de ellas debe prestársele la atención adecuada para no dañar la calidad del concreto.

Sin embargo, la selección de los componentes idóneos, y el diseño y preparación de la mezcla constituyen actividades primordiales, por cuanto con la primera garantizamos el control de las propiedades de los materiales que constituyen el concreto. Y con la segunda, garantizamos las proporciones de los componentes en la mezcla, a fin de estimar el comportamiento final del concreto.

Como ya sabemos, los componentes que intervienen en la fabricación del concreto son: agregados, cemento, agua y aditivos.

2.1. Agregados

Los agregados constituyen el mayor componente de la masa de concreto, y su participación es decisiva tanto en la ejecución de la mezcla como en el comportamiento del concreto. Los agregados deben ser inocuos, estar libres de impurezas y tener una granulometría dentro de los límites adecuados; de allí la importancia de que ellos cumplan con un conjunto de propiedades físicas y de exigencias químicas que garanticen la calidad del concreto.

Para el análisis de los agregados podemos considerar diferentes niveles de control:

- **Agregados controlados:** Son aquéllos para los cuales se ha establecido un control riguroso a fin de garantizar su calidad en todos los aspectos; son producidos en plantas destinadas a ese fin específico. Esta es la condición ideal para la producción de agregados, pero no es frecuente.
- **Agregados conocidos no controlados:** Son los agregados, provenientes de zonas de saque, y cuya inocuidad es conocida por haber sido analizada y probada en ocasiones anteriores. Estos agregados requieren ser sometidos a operaciones de limpieza y a una clasificación adecuada, para garantizar la calidad del producto.
- **Agregados nuevos:** Son materiales cuya calidad se desconoce y no existe experiencia de su utilización. En estos casos debe asegurarse cabalmente la calidad del material, mediante los métodos de ensayos normalizados establecidos por las normas.

La evaluación de las condiciones físicas y químicas requeridas para los agregados se realiza mediante ensayos en muestras representativas del material a considerar, y cuyos resultados permiten la comparación con las especificaciones establecidas, para la determinación de la aceptación o rechazo del material.

El conocimiento de las características físicas de los agregados: textura, forma, tamaño máximo, granulometría y otras, permite predecir la calidad del concreto. Y el control de exigencias químicas: presencia de finos, terrones de arcilla y materiales orgánicos, entre otras, permite evitar su reacción en la masa de concreto.

Los ensayos esenciales que deben efectuarse a los agregados son:

- Granulometría (tamaño máximo)
- Presencia de finos: - menor cedazo 74 μ *
- menor cedazo 20 μ **
- Terrones de arcilla y partículas desmenuzables
- Sales solubles: cloruros y sulfatos
- Materia orgánica **
- Reactividad potencial
- Resistencia al desgaste *
- Peso específico y unitario
- Porosidad y absorción.

Nota: (*) Ensayos sólo para agregado grueso

(**) Ensayos para agregados finos solamente.

Seguidamente, la **Tabla N° 1** muestra la interrelación existente entre:

- | | |
|------------------------------------|---|
| a. Exigencia de los agregados; | Conjunto de características, tanto físicas como químicas, a las cuales deben estar sujetos los agregados. |
| b. Influencias sobre el concreto; | Algunos de los efectos producidos sobre la calidad de la pasta y la mezcla de concreto. |
| c. Ensayos; | Métodos de ensayo requeridos para la determinación de las diferentes exigencias de los agregados, así como la norma COVENIN que los establecen (se incluye también la norma equivalente según el Comité Conjunto del Concreto Armado -CCCA-). |
| d. Rangos recomendados del ensayo; | Condiciones de aceptación o rechazo del material. |

■ Tabla Nº 1

Exigencias del agregado	Influencias sobre el concreto	Ensayos	Rangos recomendables del ensayo	Componentes sujetos a ensayos y su periodicidad
Forma y textura	<ul style="list-style-type: none"> * Trabajabilidad del concreto (cantidad de agua requerida en la mezcla). * Las formas alargadas o muy achatadas pueden definir zonas débiles dentro de la masa, en su comportamiento ante los esfuerzos mecánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> * COVENIN Nº 264 (CCCA Ag. 11) "Determinación del cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima en agregados gruesos". 	Partículas alargadas (long \geq 5 ancho) no sobrepasan el 25% en peso del agregado.	
Tamaño máximo y granulometría	<ul style="list-style-type: none"> * Trabajabilidad del concreto. * Se relaciona con las resistencias mecánicas a través de las diferentes posibilidades de densidad. * Mezclas de gradación discontinua, pero bien estudiadas, ofrecen elevadas resistencias. * Mezcla con exceso de retención en uno o varios tamices, producen mezclas áridas. * Granulometría continua tendiendo a finos \Rightarrow mayor contenido de agua y cemento. * Granulometría continua tendiendo a gruesos \Rightarrow inclinación a la segregación. 	<ul style="list-style-type: none"> * COVENIN Nº 225 (CCCA Ay. 2) "Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados gruesos y finos" 	% retenido en cualquier tamiz $<$ 40%	<p>Ensayo a efectuarse a los agregados finos y gruesos, al inicio de cada obra y cuando se varíe la fuente de suministro.</p> <p>Se recomienda establecer una periodicidad en este ensayo, con la finalidad de prever variaciones en las características de la fuente.</p>
Dureza	La dureza del agregado grueso resulta decisiva en el caso de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión.	<ul style="list-style-type: none"> * COVENIN Nº 265 (CCCA Ag 12) "Método de ensayo para determinar la dureza al rayado de partículas de agregados gruesos". -Ensayo directo- 	Máximo de 5% en peso, de partículas blandas.	<ul style="list-style-type: none"> - Agregados desconocidos - Ensayo obligatorio cuando el concreto vaya a estar sometido a sollicitaciones de desgaste.

Exigencias del agregado	Influencias sobre el concreto	Ensayos	Rangos recomendables del ensayo	Componentes sujetos a ensayos y su periodicidad
Dureza (cont.)		<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 267 y 266 (CCCA Ag 13 - Ag 14) "Método de ensayo para determinar la resistencia del desgaste mecánico". (Ensayo de los Angeles) -Ensayo Indirecto. 	<p>Desgaste \leq 50% en peso</p> <p>Obras especiales \leq 40%</p>	
Presencia de finos	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de finos plantea una mayor avidez de agua: → produce pasta fina que envuelve a los granos de agregado, dañando la condición de adherencia entre estos y la pasta. → puede afectar las condiciones de trabajabilidad. • Disminuye la resistencia al desgaste por abrasión del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 258 (CCCA Ag 5) "Determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo de 74 micras (N° 200) en agregados minerales". • COVENIN N° 259 (CCCA Ag 6) "Determinación por suspensión de partículas menores de 20 micras, en agregados finos". 	<p>Concretos con elevado índice de desgaste:</p> <p>< 3% en peso de finos.</p> <p>Concretos normales: < 5% en peso de finos.</p>	Agregados gruesos naturales y arenas.
Terrones de arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • La característica de plasticidad de la arcilla al mezclarla con agua: → produce masas blandas que afectan la resistencia del concreto o la adherencia entre las fases de agregado y de pasta. • La arcilla y granos de material deleznable representan puntos débiles en la masa de concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 257 (CCCA Ag 4) "Contenido de partículas desmenuzables en los agregados". • COVENIN N° 260 (CCCA Ag 7) "Determinación del contenido de partículas livianas en los agregados". 	<p>< 1%</p> <p>Concretos normales: 1% en peso.</p> <p>Concretos en obra limpia: 0,5% en peso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Agregados finos y gruesos, desconocidos. - Se recomiendan los ensayos cuando se detecten cantidades menores de terrones de arcilla y partículas desmenuzables. - Ensayo se realizará en caso de sospecha de partículas perjudiciales de material carbonoso.

Exigencias del agregado	Influencias sobre el concreto	Ensayos	Rangos recomendables del ensayo	Componentes sujetos a ensayos y su periodicidad
Peso específico	Característica poco variable en el tiempo y en el espacio geográfico. Propiedad intrínseca del material que debe conocerse para los efectos de la aplicación en algunos métodos de diseño de mezclas.	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 269 (CCCA Ag. 16) "Determinación del peso específico y la absorción del agregado grueso". • COVENIN N° 268 (CCCA Ag. 15) "Determinación del peso específico y la absorción del agregado fino". 	<p>Los resultados de este ensayo no constituyen aceptación o rechazo del material.</p> <p>Densidad promedio 2.65 (en Venezuela).</p>	Agregados finos y gruesos.
Pesos unitarios	Es la relación entre el peso del material que cabe en un recipiente y el volumen de ese recipiente. Se puede obtener: Peso unitario suelto Peso unitario compacto	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 263 (CCCA Ag. 10) "Determinación del peso unitario del agregado". <p>Ensayos no obligatorios.</p>	Agregados finos y gruesos.	
Porosidad y absorción	Características de suma importancia en la etapa de ajustes del diseño, a las condiciones reales de los materiales ⇒ Correcciones de la cantidad de agua a incorporar en la mezcla.	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 272 (CCCA Ag. 19) "Determinación de la humedad superficial del agregado fino". 		
Reactividad potencial	Las reacciones químicas del álcalis del cemento con el agregado pueden producir productos expansivos que conducen al deterioro progresivo del cemento.	<ul style="list-style-type: none"> • COVENIN N° 262 (CCCA Ag. 9) "Determinación de la reactividad potencial del agregado" (Método químico). • COVENIN N° 276 (CCCA Ag. 23) "Determinación de la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento-agregado". (Método de la barra de mortero). 	En agregados desconocidos o donde hay duda de su inocuidad.	

Exigencias del agregado	Influencias sobre el concreto	Ensayos	Rangos recomendables del ensayo	Componentes sujetos a ensayos y su periodicidad
Materias orgánicas	Las materias orgánicas no visibles que impregnan o se adhieren a los granos del agregado pueden resultar de peligro, ya que afectan la velocidad de reacción del cemento, retrasando considerablemente el tiempo normal de fraguado.	<ul style="list-style-type: none"> * COVENIN N° 256 (CCCA Ag 3) "Determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto" (Ensayo colorimétrico) 	Color comparado con patrones de aceptación o rechazo.	<ul style="list-style-type: none"> - Arenas donde se detectan impurezas orgánicas. - Es recomendable control periódico de las arenas, aunque no hayan antecedentes.
Sales solubles	<ul style="list-style-type: none"> * El alto contenido de sulfatos o de cloruros adheridos a las superficies de las arenas constituye un peligro para el concreto. * Los sulfatos atacan al cemento produciendo reacciones expansivas que agrietan y desmoronan la masa de concreto. * Los cloruros corroen el acero del concreto armado, perdiendo sus condiciones resistentes, aumentando el volumen y agrietando las secciones de concreto. Producen alteraciones en el tiempo de fraguado y en la velocidad de endurecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> * COVENIN N° 275 (CCCA Ag 22) "Método de ensayo para determinar el efecto de impurezas orgánicas en el agregado fino de la resistencia de morteros". 	<ul style="list-style-type: none"> Sulfatos ≤ 1% en peso Cloruros ≤ 0,1% en peso 	<ul style="list-style-type: none"> - Arenas localizadas en zonas costeras, deberán ensayarse periódicamente. - Arenas desconocidas.

2.2. Cemento

El cemento es el componente activo del concreto, y por ende influye en todas las características de ese material. Como es sabido, el cemento constituye solamente un 10 a 20% del peso del concreto, siendo el porcentaje de materiales restantes lo que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del cemento. La calidad de los agregados y las proporciones de mezcla entre los componentes son primordiales en la calidad del producto final.

El control estricto en la obtención del cemento en plantas de gran capacidad, determina su calidad y la confiabilidad del usuario en el producto. Los tipos de cemento portland considerados por las normas A.S.T.M. y sus características, se indican en la Tabla N° 2.

TABLA N°2 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Tipo	Características	Límites de la composición usual promedio, %			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ FA
I	Uso general	40-55	25-30	8-15	5-10
II	Resistente a los sulfatos y bajo calor de hidratación	40-50	25-35	<8	10-15
III	Altas resistencias iniciales	50-63	15-20	3-15	8-12
IV	Muy bajo calor de hidratación	25-35	40-50	<7	10-15
V	Muy alta resistencia a los sulfatos	32-42	38-48	<5	<10

Fuente: "Manual del concreto Fresco" 1975.

En Venezuela, el cemento más utilizado y el de mayor producción es el Tipo I; el Tipo II, tiene producción limitada y el Tipo III se produce ocasionalmente.

Los índices principales para determinar la calidad del cemento, son el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión.

El control de calidad del cemento se basa en la determinación de la finura y en el comportamiento estadístico de los resultados de ensayos de compresión. Con ellos se puede prever la resistencia del cemento y de la mezcla.

Las resistencias mecánicas del concreto se deben al cemento, pero están condicionadas por la calidad y proporciones de los otros materiales que constituyen la mezcla.

Para comparar la calidad resistente del cemento en pruebas de concreto, es necesario mantener constantes los componentes de la mezcla con excepción del cemento, y las mezclas deben ser iguales en todos los aspectos al igual que las condiciones de ensayo. Este procedimiento resulta muy costoso y constituye un método poco sensible. Por ello, para detectar las resistencias mecánicas del cemento, se recurre al ensayo de morteros.

Actualmente existen dos métodos de ensayos: el de la A.S.T.M. (en Venezuela CCCA: Ce 100) y el de RILEN-CEMBUREAU (en Venezuela CCCA: Ce 15 16). Con ambos se obtiene un coeficiente de variación del 2%. Sin embargo, no debe olvidarse que las resistencias obtenidas por cualquiera de los métodos no serán las resistencias definitivas que se obtendrá en concretos, ya que éstas últimas dependen de la calidad de los agregados y de las proporciones de los componentes.

El cemento es un polvo demasiado fino para poder hacerle un análisis granulométrico por medio del tamizado. Por ello para la determinación de la finura se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Turbidímetro Wagner
- Permeabilímetro Blaine

Este último es el más frecuente, y consiste en determinar la velocidad de paso de una corriente de aire a través de un bloque de polvo de cemento compactado; velocidad ésta que se relaciona con la geometría de las partículas.

Los cementos usuales se muelen a finuras Blaine entre 2.800 y 3.500 cm²/grs. Cuando este valor es mayor a 4.000 cm²/grs., y tomando en cuenta la composición del cemento, se pueden presentar problemas de retracción en el cemento o dificultades en el mezclado.

En resumen, algunos de los factores a considerar en el control del cemento al llegar a la obra son:

- Verificación de la temperatura de llegada
- Toma de muestras representativas
- Ensayos de laboratorio para la determinación del tiempo de fraguado, finura y resistencia a la compresión.

2.3. Agua

Las características del agua, cantidad y calidad, influyen de una manera determinante en las propiedades del concreto endurecido. El agua es el componente que inicia las reacciones que permitirán al cemento adquirir las propiedades requeridas por la mezcla de concreto.

Para la hidratación del cemento se requiere de la proporción adecuada de agua de calidad aceptable, dentro de la pasta.

El agua deberá estar libre de impurezas -materia orgánica, sales disueltas, álcalis, sólidos en suspensión y otros-, ya que ciertas proporciones de estas sustancias pueden afectar la resistencia del concreto, producir alteraciones en el tiempo y proceso de fraguado, así como corrosión del refuerzo metálico, para el caso de concreto armado.

Si se tienen dudas sobre la calidad del agua a utilizar en el mezclado, es necesario realizar algunos ensayos de control, entre ellos:

- Análisis químico
- Morteros de prueba

En la **Tabla N° 3** se indican valores máximos permitidos de sustancias, en el agua de mezclado.

Tabla N° 3: SUSTANCIAS EN EL AGUA DE MEZCLADO DEL CONCRETO

Sustancias	Contenido máximo (ppm ó ml/l)
Carbonato y bicarbonato de sodio	1.000
Carbonatos de calcio y magnesio	400
Sulfato de magnesio y cloruro	40.000
Cloruro de sodio	20.000
Sulfato de sodio	10.000
Ácidos	10.000
Sales de hierro	40.000
Limos o partículas en suspensión	2.000
Agua de mar	35.000
Desechos industriales	4.000
Desechos sanitarios	400
Azúcar	500
Algas	1.000
Hidróxido de potasio y sodio	0,5-1% por peso de cem.
Aceites	2 % por peso de cem.

FUENTE: P.C.A. Principles Of Quality Concrete

Para la evaluación de los morteros de prueba, se recomienda tener un mortero patrón que permita evaluar, por comparación, la influencia del agua de mezclado. La única variable en las probetas que se sometan a ensayos deberá ser el agua cuya calidad se trata de comprobar. En los resultados del ensayo de comprensión a los 7 días se verificará el aumento de la resistencia con el tiempo; y los valores obtenidos de los ensayos a los 28 días no deberán diferir en más de un 10% por debajo del valor obtenido con la probeta patrón.

En la **Tabla N° 4** se indican los efectos producidos por las sustancias presentes en el agua.

Tabla N° 4: EFECTOS SOBRE LA MEZCLA DE LAS SUSTANCIAS PRESENTES EN EL AGUA.

Sustancias	Efectos sobre la mezcla
Agua de mar	Aumento de la resistencia a edades tempranas y reducción a edades mayores.
Ácidos o Alcalis	En general no afectan la resistencia del concreto, a excepción de la presencia de ácido sulfúrico.
Sulfato y Cloruro de Sodio	Reducción de la resistencia.
Carbonatos y Bicarbonatos	Efectos en el tiempo de fraguado.
Desechos o sustancias industriales	Pueden modificar el tiempo de fraguado o reducir la resistencia.
Azúcar	Concentración entre 0,03 y 0,15% retarda fraguado, concentración sobre 0,20% aceleran el fraguado.
Aceites	Causan disminución de la resistencia.
Algas	Pueden producir disminuir resistencia, al interferir en la adherencia entre pastas y agregados, o por incorporar aire en la mezcla.

2.4. Aditivos

La utilización de los aditivos químicos en la producción del concreto para modificar las propiedades del mismo, con el fin de obtener mejores condiciones de trabajabilidad o de economía, ha aumentado considerablemente en los últimos años. De allí la importancia de establecer un control estricto de su uso durante la fabricación del concreto.

Las especificaciones ASTM clasifican los aditivos químicos en términos de su función, a saber:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua
- Tipo B: Aditivos retardantes
- Tipo C: Aditivos acelerantes
- Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardantes
- Tipo E: Aditivos reductores de agua y acelerantes
- Los aditivos incorporadores de aire están referidos en un grupo aparte.

Entre los factores a considerar en el control de los aditivos, podemos mencionar:

- Verificación de las especificaciones establecidas por el fabricante.
- Es recomendable realizar los ensayos necesarios para comprobar la efectividad de los aditivos con los materiales que se van a utilizar en la ejecución de la obra.
- Almacenaje apropiado para evitar su contaminación o deterioro.
- Determinación de la uniformidad entre lotes de productos suministrados en diferentes fechas.
- Control en la correcta dosificación del aditivo apropiado, así como en el proceso de incorporación a la mezcla.
- Comprobación del efecto producido por el aditivo en las mezclas de concreto, con respecto al determinado en los ensayos preliminares. La uniformidad de estos resultados puede considerarse más importante que el promedio de resultados aceptables.

En el uso de un aditivo debe considerarse la variación en el costo unitario del concreto (comparación del costo de los componentes de la mezcla con aditivos, y el costo de los mismos sin aditivos) así como su influencia en el costo de mezclado, transporte, colocación, acabado y curado del concreto. El empleo de aditivos influye en la determinación del método constructivo.

Otras características de importancia en la selección del aditivo adecuado y su dosificación son trabajabilidad, velocidad de incremento de la resistencia, textura de las superficies, variación del tiempo de fraguado y otros.

2.5. Diseño de Mezclas

Con el diseño de mezclas se trata de establecer un método para determinar las proporciones en que se deben mezclar los componentes, partiendo de las características exigidas para el concreto.

Las propiedades del agregado y del cemento tienen marcados efectos sobre la resistencia y durabilidad del concreto, así como el contenido de agua requerido para su colocación.

Se podría afirmar que si las fuentes de suministro de los componentes del concreto son uniformes y se mantienen constantes (pequeña variación en la granulometría y en el tamaño máximo, así como en el contenido de cemento y en la trabajabilidad del concreto), la resistencia del cemento no se afectará en forma apreciable, siempre y cuando la calidad de la pasta de cemento, definida por la relación agua/cemento, se mantenga constante.

Sin embargo, si las fuentes de suministro varían, podrían producirse alteraciones de importancia en la resistencia del cemento, aun cuando la relación agua/cemento se mantuviera constante.

Es por ello que, para obras donde se empleen cantidades importantes de concreto, se recomienda un control sistemático de los suministros, en base a ensayos de laboratorio.

En términos generales puede establecerse que el concreto debe ser vaciado con el menor contenido de agua que garantice una trabajabilidad adecuada, con la finalidad de garantizar su resistencia, durabilidad y estabilidad ante los agentes agresivos externos. Por otra parte, el diseño de la mezcla debe enfocarse en términos de economía.

Para el control de la fabricación del concreto debe conocerse la siguiente información:

- Resistencia especificada a la compresión
- Tamaño máximo del agregado
- Trabajabilidad
- Tipo de cemento
- Relación agua/cemento
- Aditivos
- Método de colocación.

Mezclas de Prueba: La determinación definitiva de las proporciones de la mezcla de concreto debe basarse en las mezclas de prueba de laboratorio o en la experiencia de campo con los materiales que se van a utilizar. Es difícil establecer proporciones promedio que produzcan el mejor concreto, para un lugar u obra determinada, sin experiencia previa o pruebas con los materiales disponibles.

3. CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCION

En el proceso de producción del concreto se deben verificar todas las operaciones que intervienen en la fabricación de la mezcla de cemento, así como el control de los equipos requeridos para la dosificación y mezclado de los componentes.

3.1. Mezclado de Concreto

Mediante el mezclado se debe garantizar la adecuada distribución de los componentes del concreto con el fin de obtener una mezcla homogénea.

Todas las operaciones que intervienen en el proceso de mezclado pueden realizarse en forma manual o mecánicamente con la ayuda de aparatos mezcladores; este último procedimiento es el más utilizado. Se recomiendan las mezcladoras de eje horizontal y la de eje inclinado para mezclas plásticas, y las mezcladoras de eje vertical para mezclas secas.

En la práctica se tiende a disminuir el tiempo de mezclado a un mínimo, con el fin de aumentar el rendi-

miento en la producción de concreto. En la Tabla N° 5 se indican los tiempos mínimos recomendables, para mezcladoras de eje horizontal y las de eje inclinado.

Los tiempos de mezclado deben medirse a partir del momento en que todos los componentes están colocados en la mezcladora. Los tiempos de mezclado demasiado cortos pueden afectar la uniformidad del cemento, así como su resistencia; y tiempos de mezclado excesivo pueden incidir en la facilidad de evaporación del agua de mezclado, disminuyendo la trabajabilidad.

Tabla N° 5 TIEMPOS MINIMOS DE MEZCLADO

Capacidad (lts)	Tiempo de mezclado (Minutos)
Hasta 700	1
1500	1 1/4
2000	1 1/2
3000	1 3/4
3500	2
4300	2 1/4

Fuente: "Manual del concreto fresco" 1975. p. 102

- Debe tenerse en cuenta que los valores numéricos de la variación dependerán del tipo de mezcladora y de las características de la mezcla de concreto.

Para la colocación de los componentes en la mezcladora, debe tenerse en cuenta que un porcentaje del agua es el primer material que se coloca. Luego se añadirán, de la manera más uniforme posible, los agregados y el cemento. Los aditivos se incorporarán a la mezcla con los materiales sólidos o con el agua, según las especificaciones dadas por el fabricante.

La norma COVENIN 633, "Especificaciones para concretos premezclados", establece los requerimientos para evaluar la uniformidad del concreto, en función de la máxima diferencia permisible en los resultados de los ensayos realizados a dos muestras de la mezcla, a saber:

- Peso por metro cúbico: 16 kg/m³
- Contenido de aire: 1%
- Asentamiento:
 - Si el asentamiento es menos de 10 cm (4"), la diferencia no debe exceder de 2,5 cm (1")
 - Si el asentamiento está comprendido entre 10 y 12 cm (4" a 6"), la diferencia no debe exceder 4 cm (1,5").
- Contenido de agregado grueso entre muestras, no diferirá en más de un 6%.

- Peso unitario de mortero libre de aire, no diferirá en más de un 1,6%
- Resistencia promedio a la compresión a los 7 días para cada muestra, no diferirá en más de 7,5% de la resistencia promedio de las probetas comparativas.

Los resultados de los ensayos deben cumplir 5 de estos 6 requisitos, para que el concreto se considere uniforme.

3.2. Control de los Equipos

En el control de calidad de la mezcla de concreto cabe considerarse también la calidad y precisión de los equipos de pesada, la forma y secuencia de descarga de los componentes, así como la uniformidad en el mezclado; de allí la importancia del control de los equipos que intervienen en todas estas fases.

Dosificadoras: Se debe disponer de tolvas de compartimiento independientes tanto para el agregado fino como para cada uno de los tamaños requeridos de agregado grueso.

Debe garantizarse que el proceso de descarga de la tolva pesadora sea eficiente y libre.

Las balanzas deben estar debidamente calibradas y presentar una tolerancia de $\pm 0,4\%$ de su capacidad total, cuando se prueban bajo carga estática.

Los sistemas de dosificación utilizados para determinar las proporciones de los componentes de la mezcla son muy variados -dosificación manual, dosificación parcialmente automática, dosificación automática-, pero para obtener la precisión requerida es fundamental que todos los equipos se encuentren en perfectas condiciones técnicas y que las balanzas tengan la graduación adecuada para evitar errores en las lecturas.

Mezcladoras estacionarias y de camión: deben ser capaces de combinar los ingredientes hasta obtener una masa uniforme de concreto, y con ello determinar la eficiencia del equipo mezclador.

Para una comprobación rápida del grado de uniformidad, se realizan ensayos de asentamientos a dos muestras.

La primera se toma, al descargar entre el 10 y el 20% de la mezcla. La segunda se toma al descargar entre el 60 y 90% del volumen total de la mezcla. Estas dos mezclas deben tomarse dentro de un período de tiempo no mayor a 15 minutos.

4. CONTROL DEL PRODUCTO FINAL

Todas las operaciones requeridas para la determinación de las proporciones de los componentes de la mezcla, su elaboración y colocación, deben asegurar la resistencia a la compresión promedio requerida y minimizar la frecuencia de los resultados de prueba de resistencia por debajo del valor de resistencia a la compresión especificada del concreto ($f'c$).

La posibilidad de reducir esas variaciones al mínimo es utilizando métodos de muestreo y control de calidad del concreto y sus componentes, con el fin de obtener los requerimientos establecidos, así como ventajas económicas.

Podemos considerar que el adecuado control de calidad del concreto comprende: técnicas de muestreo probabilístico, manejo eficiente y adecuado del material, correcta colocación y curado, y evaluación estadística e interpretación de los resultados de los ensayos.

A través de este análisis se pueden obtener datos relativos al comportamiento del concreto, que permitan establecer normas de calidad, métodos de muestreo y ensayos adecuados.

Los requisitos de $f'c$ deben basarse en pruebas de cilindros, elaborados y ensayados de acuerdo a los métodos establecidos de la ASTM.

Las muestras para las pruebas de resistencia deberán tomarse en una forma estrictamente aleatoria. La elección de las horas de hacer el muestreo de la mezcla de concreto debe hacerse al azar dentro del período de vaciado, con el objeto de que sea representativa. Cada resultado de prueba de resistencia deberá ser el promedio de dos cilindros de la misma muestra probados a 28 días.

Las muestras para las pruebas de resistencias de cada clase de concreto deberán tomarse: una muestra como mínimo por cada día de vaciado, o una cada 120 m³ de concreto, o una cada 450 m² de superficie.

Según la norma ASTM se establecen los siguientes métodos de ensayo:

- "Método de muestreo de concreto fresco" (ASTM C172) para las muestras que se utilicen para las pruebas de resistencia.
- "Método de fabricación y curado en campo de especímenes de concreto para pruebas de compresión y flexión" (ASTM C31), para el moldeo y curado en el laboratorio.
- "Métodos de pruebas para determinar la resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto" (ASTM C39).

El profesional responsable de la construcción debe solicitar pruebas de resistencia de especímenes curados en condiciones de campo, a fin de comprobar el apropiado curado y protección del concreto en la estructura. Cuando la resistencia de los cilindros curados en campo, a la edad de prueba designada para medir $f'c$, sea menor que el 85% de los cilindros de prueba curados en el laboratorio, deberán mejorarse los procedimientos y curado del concreto.

La resistencia del concreto puede considerarse adecuada cuando la probabilidad de los valores de la resistencia de los cilindros de concreto inferiores a $f'c$ sea menor del 9%.

4.1. Métodos para medir la variabilidad

En la producción de concreto, los resultados de ensayos realizados con probetas del material producido en diferentes períodos, tendrán variaciones. Si de un mismo mezclado se ensayan cierto número de cilindros, los resultados variarán en un rango de 20 a 30 kg/cm².

El valor medio de cierto número de probetas ensayadas a la misma edad nos da el primer índice de la resistencia a la compresión de un concreto. (Resistencia media a compresión, \bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Sin embargo, ese valor medio aislado no suministra información acerca de la dispersión de los resultados. Comúnmente se admite la hipótesis de que la variabilidad de los resultados en el concreto pueden ser representadas, para fines prácticos, por la distribución probabilística correspondiente a una curva normal. Esta distribución normal puede interpretarse como la forma límite de un histograma de frecuencia construido a partir de un cierto número de ensayos para cada rango de resistencia. La forma de la curva normal, es acampanada y simétrica respecto a \bar{X} .

La desviación estándar σ es una medida de la dispersión de los resultados de los ensayos, y viene expresada en las mismas unidades que X_i

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Si se calculan los porcentajes del total de los ensayos y su rango de variación, y se presentan en un gráfico cuya escala de ordenadas según la ley normal de probabilidades,

se obtiene una línea recta, cuya intersección con el 50% será la resistencia media (\bar{X}).

Coefficiente de variación: es la relación porcentual de la desviación estandar respecto a la media aritmética (V). Muestra el grado de dispersión en términos de la media.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$$

Para fines de evaluación y control es importante analizar no sólo la variación de los resultados provenientes de las propiedades de mezclas sucesivas, sino también las variaciones que se derivan del ensayo. Estas últimas se evalúan mediante lo que se denomina rango de variación (r).

Y la desviación estandar propia de los ensayos puede calcularse en base al valor medio de varios rangos de variación.

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad \sigma_1 = \frac{\bar{r}}{d_2}$$

d_2 depende del número de cilindros de cada grupo, y se dan en la Tabla N°6

TABLA N° 6

Número de Probetas	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

FUENTE; A.S.T.M. 15-C

4.2. Limitaciones de los Métodos Estadísticos

Las ventajas de los métodos estadísticos son aplicables cuando se dispone de un número elevado de resultados de ensayos, lo cual es posible en obras donde se produce volúmenes grandes de concreto, plantas de premezclados y laboratorios de investigación (experimentos controlados).

Para que un análisis estadístico no conduzca a errores, es aconsejable basarse en no menos de 30 ensayos. La ACI establece que, cuando no se dispongan suficientes resultados para calcular de σ , la dosificación de la mezcla se hará para una resistencia media que supere a $f'c$ en 34 kg/cm².

En una obra, cuanto menor sea el número de ensayos, la dispersión será mayor, dando como resultado resistencias más bajas que tengan implicaciones graves en la seguridad de la estructura.

Mientras menor sea el grado de control de una obra, la resistencia a emplear en el diseño será mayor.

Los registros periódicos de la calidad de concreto producidos en una planta constituyen una valiosa fuente de información que servirá de referencia para mostrar la variabilidad del producto así como para establecer el control del proceso de producción. Esta evaluación estadística es muy superior a la selección de valores teóricos promedios.

5. BIBLIOGRAFIA

- ACI JOURNAL - COMMITTEE REPORT "Guide for use of normal weight aggregates in concrete" Report ACI 221R March - April 1984
- Asociación Venezolana de Productores de Cementos "Controles en Obras de Concreto" Caracas, Noviembre 1981.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. "Control de Calidad del Concreto" (ACI - 704) México 1974.
- Jornadas del Concreto Premezclado 2. V. II. Caracas 1980. Areyan, Jesuado y de González, Roselia Cordero "Elementos Básicos en un Sistema de Control de Calidad en Concreto Premezclado".
- Jornadas del Concreto Premezclado 2. V. II. Caracas 1980. Covenin 633-79 "Especificaciones para Concreto Premezclado".
- Jornadas del Cemento Premezclado 2. V. IV. Caracas 1980. Fulcao Bayer, Luis "Control Tecnológico del Concreto Producido en Planta Dosificadora Fija-estacionaria"

- Jornadas de Concreto Premezclado 2. V. III. Caracas 1980.
Fernández F., Gabriel R.
"Control de Calidad de las Dosificaciones".
- Porrero, Joaquín; Ramos, Carlos y Grases, José
"Manual del Concreto Fresco"
Comité Conjunto del Concreto Armado
Caracas 1975.
- Ramos, Carlos
"Agregados para Concreto. Significado de los Ensayos de Control"
Caracas, Septiembre 1980.
- Rosario, Roberto
"La Estadística y Control de Calidad del Concreto"
Asociación Venezolana de Productores de Cementos
Caracas 1978.
- Salas Jiménez, Rafael
"Los Agregados para Concreto y su Control"
Asociación Venezolana de Productores de Cementos
Caracas 1981.