



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Apoyo en la producción del concreto premezclado en la planta del
Grupo San Pío S.A.S**

**Autor
John Alejandro Úsuga García**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil
Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020**



Apoyo en la producción del concreto premezclado en la planta del Grupo San Pío S.A.S

John Alejandro Úsuga García

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero civil

Asesores

Karen Vanessa Henao Garcés – Ingeniera civil
Edwin Fabián García Aristizábal – Ingeniero civil, PhD

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Responsabilidades como practicante.....	3
4. Fundamentación teórica	4
4.1. Concreto	4
4.2. Cemento	5
4.3. Agregados pétreos.....	6
4.4. Agua	7
4.5. Aditivos químicos	8
4.6. Materiales cementantes suplementarios u adiciones	9
4.7. Curado del concreto	10
4.8. Mixer o camión mezclador.....	11
4.9. Ensayos de laboratorio	12
4.10. Diseño de mezclas de concreto	13
5. Ejecución del proyecto	14
5.1. Producción del concreto, NTC 3318, 2008.....	14
5.2. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, NTC 77, 2018.....	17
5.3. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC 396, 1992.....	21
5.4. Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto, NTC 1926, 2007	24
5.5. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión, NTC 1032, 2013	27
5.6. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, NTC 1377, 2010.....	32
5.7. Otros ensayos	37
6. Resultados de la práctica	38
6.1. Ensayos	38
6.2. Tipos de concreto	38
6.3. Caso de estudio	39
6.3.1. Características del concreto de muestreo	39
6.4. Resultados del caso de estudio.....	40
6.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto.....	40
6.4.2. Registros de carga	41
6.5. Análisis de resultados.....	43
Referencias bibliográficas	45

1. Introducción

El Grupo San Pío S.A.S es una empresa antioqueña dedicada a la comercialización, distribución y producción de materiales para la construcción, con más de 30 años de experiencia en este mercado. Dicho grupo incursiona en diferentes unidades de negocio. Dichas unidades de negocio se constituyen por: comercialización y distribución de materiales para la construcción, producción de prefabricados en concreto de pequeño formato, figuración de acero, producción y comercialización de concretos y comercialización de agregados.

Grupo San Pío S.A.S cuenta con una planta de producción de concreto premezclado localizada en el municipio de Itagüí, Antioquia; en la cual se produce dicho material bajo los estándares de calidad establecidos en la normativa técnica colombiana vigente.

El objetivo principal del presente trabajo es exponer de forma somera el desarrollo de los procesos de calidad en la producción del concreto premezclado en una planta que está organizada estructuralmente, para llevar a cabo la actividad económica de la producción y comercialización de este producto en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y sus alrededores donde sea económicamente factible, en cumplimiento de las leyes y normas colombianas.

Ha de aclararse que no se describen todas las actividades que allí se llevan a cabo, dado que las funciones como practicante de laboratorio no abarcan todos los procesos que se desarrollan, sin embargo en área de laboratorio, mediante la elaboración de ensayos de calidad, es el eslabón más importante para dar cumplimiento con las especificaciones y los estándares calidad.

El cumplimiento de la normatividad, sumado con el personal idóneo, debidamente capacitado teórica y prácticamente, es el índice que finalmente denotará si el proceso de la producción de concreto se está llevando de manera correcta; es decir, cumplir con las pruebas de calidad a las materias primas, al proceso productivo de la bachada de concreto y, los procesos de control y evaluación de las pruebas de resistencia darán resultados satisfactorios para el cliente según las solicitudes dadas.

Realizar las funciones de laboratorista de concreto, incluye el “conocimiento” de ciertos fundamentos teóricos en los cuales se basa la producción del concreto premezclado en una planta; es decir, para ejecutar actividades de los ensayos, es necesario conocer previamente que es y como está compuesto una mezcla de concreto, las normas que rigen el proceso productivo (normas NTC), las metodologías básicas para el diseño de mezclas de concreto, entre otras definiciones básicas que están explicadas en el presente trabajo.

Servir de apoyo en la producción del concreto premezclado implica el desarrollo de diversas tareas, para lo cual, la entidad encargada de promulgar los requisitos de calidad para los ensayos de los materiales y del concreto es el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Las pruebas a seguir para la producción del concreto, están especificadas en la NTC

3318. Son varias las actividades que se realizan, sin embargo, entre los ensayos que se destacan se encuentran la prueba de asentamiento al concreto (NTC 396), la masa unitaria y rendimiento volumétrico del concreto (NTC 1926), el contenido de aire del concreto (NTC 1032) y la elaboración de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 1377).

Durante el tiempo de las prácticas académicas las labores consistieron en realizar las pruebas mencionadas anteriormente y las cuales se describen en el presente trabajo; a cada 40 m³ de concreto despachado. Para realizar los ensayos se eligen aleatoriamente los vehículos a los cuales se les desea sacar las muestras. Es así, como las pruebas de calidad conllevan a realizar otras actividades simultáneas entre las que se encuentran el desencofrado diario de las muestras realizadas el día anterior, curado de las muestras y limpieza de los tanques, el lavado de las herramientas de trabajo de cada ensayo, la limpieza con ACPM de los moldes cilíndricos y rectangulares para realizar los especímenes de concreto, entre otras actividades menores.

Finalmente, se realiza el procedimiento final de verificación de las muestras de concreto mediante los ensayos de resistencia a la compresión y flexión a edades determinadas, tanto para especímenes cilíndricos como para vigas rectangulares¹. Los análisis de las muestras se llevan a cabo mediante las variables que se obtienen de los ensayos al concreto en estado fresco y los resultados finales de resistencia al concreto en estado sólido, mediante estas características se puede definir a ciencia cierta la calidad final obtenida en el proceso de producción del concreto, conforme a las solicitudes dadas por los clientes.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Apoyar el proceso de toma de muestra y ensayos del concreto en estado fresco, como parámetros de liberación de producto, de acuerdo con la normativa colombiana vigente.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar ensayos para la caracterización de agregados pétreos según la NTC 77, 2018.
- Realizar muestreo de agregados pétreos para concreto según la NTC 129, 1995.
- Realizar ensayos para determinar el asentamiento del concreto en estado fresco según la NTC 396, 1992.
- Realizar ensayos para determinar el contenido volumétrico del concreto según la NTC 1028, 1994.
- Realizar ensayos para determinar el contenido de aire en el concreto fresco, mediante el método de presión según la NTC 1032, 2013.

¹ Estos ensayos se realizan por personal debidamente certificado.

- Elaborar especímenes de concreto para ensayos de laboratorio según la NTC 1377, 2010.
- Realizar ensayos de calidad según la norma técnica colombiana NTC 3318, 2008.
- Evaluar resistencias a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7 y 28 días.
- Realizar un análisis de las pruebas realizadas a diferentes tipos de concreto.

3. Responsabilidades como practicante

Para desarrollar el marco principal en el cual está fundamentado las prácticas académicas, correspondiente al apoyo en la producción de concreto, más específicamente, en la elaboración de pruebas de laboratorio a los diseños del concreto elaborado en planta y el cual los clientes han solicitado, se debe de tener presente la normatividad colombiana sobre los procesos de calidad para llevar a buen término el desarrollo de la actividad económica que realiza la empresa. Por este motivo, se mencionan las normas NTC, creadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, los cuales aplican para materias primas, para el proceso productivo y los procesos de control y evaluación, en la producción del concreto premezclado.

La producción del concreto premezclado esta normalizado bajo la norma técnica colombiana, NTC 3318 (NTC 3318, 2008), que a su vez está basada en la norma ASTM C94 (ASTM C94, 2004, Standard specification for ready-mixed concrete). Según aquella norma, se establecen las especificaciones para la producción del concreto, considerando que el concreto se entrega en obra en estado fresco y que es un producto que se entrega en semi elaboración.

De igual forma, se elaboran otras pruebas de calidad para dar con el cumplimiento con los estándares de calidad que exige la norma, para ello, se hace necesario realizar lecturas previas a las normas técnicas colombianas, avaladas por el ICONTEC, como lo son: las pruebas a los agregados pétreos que incluye el tamizado de los agregados finos y gruesos (NTC 77, 2018); el asentamiento al concreto (NTC 396, 1992), las pruebas de masa unitaria y rendimiento volumétrico del concreto (NTC 1926, 2007), el contenido de aire del concreto fresco elaborado (NTC 1032, 2013) y la elaboración y el curado de especímenes cilíndricos de concreto (1377, 2010); de igual forma, se debe tener presente los apartados del título C, en la norma colombiana sismo resistente, NSR-10, que tratan sobre las especificaciones y consideraciones del concreto estructural.

En consecuencia, llevar a la práctica estos ensayos de laboratorio es la labor que, realizada en el día a día de forma rigurosa, con el fin de determinar las principales características del concreto puesto en obra y garantizar tanto los requisitos solicitados por el cliente como el cumplimiento de la normatividad colombiana sobre la producción del concreto premezclado.

4. Fundamentación teórica

A continuación, se explican algunos conceptos fundamentales y necesarios de los principales elementos que se utilizan para el proceso de producción de concreto premezclado.

4.1. Concreto

El concreto es una mezcla de diversos materiales que, combinados entre sí, generan un material sólido de consistencia pétreo que alcanza resistencias altas en términos de compresión y flexión, según las especificaciones de diseño establecido para la mezcla. El concreto está conformado por cemento Portland u otro cemento hidráulico, agua, arena, grava y en algunos casos aditivos.

Una mezcla de concreto debe proveer ciertas características con el fin de garantizar la calidad del mismo, es por esto, que el concreto debe ser previamente dosificado para lograr la resistencia promedio a la compresión, f'_c , y los criterios de durabilidad según lo establecido en el capítulo C, de la norma NSR-10 y NTC 5551 para Colombia. Las proporciones de la mezcla deben ser tal que prevean al concreto las cualidades de; manejabilidad y consistencia que permitan la colocación del mismo dentro de las formaleas y alrededor del acero de refuerzo, incluyendo todas las metodologías de vaciado y/o colocación existentes; resistencia y durabilidad necesarias y suficientes para las condiciones de carga y resistencias especiales a las cuales estará sometida dicha mezcla, incluyendo condiciones naturales adversas que pudiesen afectar el funcionamiento adecuado del concreto.

Existen varios tipos de mezclas que se pueden realizar para las diversas condiciones que el cliente lo requiera. Los materiales utilizados en la mezcla representan una condición importante para definir la calidad del concreto, las propiedades físicas, químicas, mecánicas de dichos materiales repercutirán en un concreto de buena calidad, sin embargo, las proporciones adecuadas son las que finalmente darán ese criterio último para el diseño de las mezclas de concreto, la dosificación incluye la combinación más económica y práctica de los materiales a fin de lograr un concreto con las propiedades de manejabilidad y resistencias adecuadas.

Por consiguiente, como lo establece, Olguín de la Mora, 2016, la importancia del uso del tipo y de la calidad correcta de los agregados no se puede subestimar. Los agregados finos y gruesos ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto². En la Ilustración 1 se muestran las variaciones de las proporciones de agregados usadas en la producción de concreto.

² Olguín de la Mora (2016), Proceso de producción de agregados pétreos y su control de calidad.

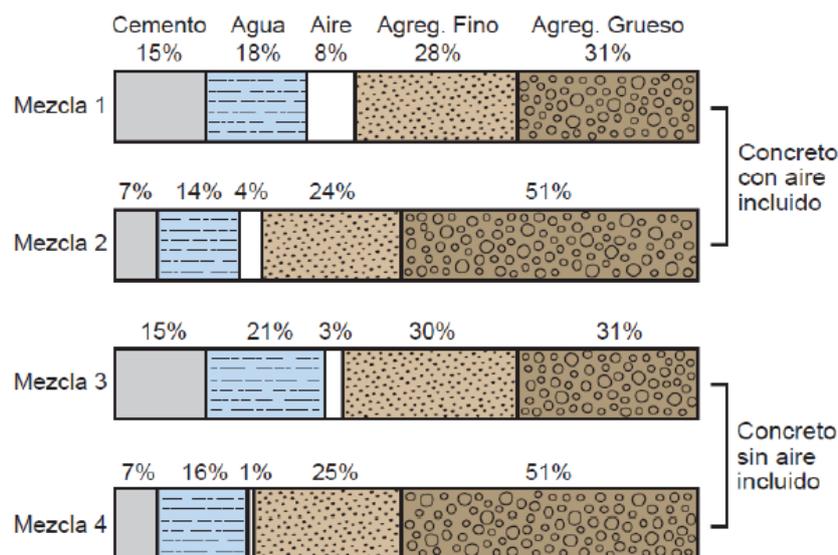


Ilustración 1. Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto. Fuente: Olguín de la Mora, 2016.

Las proporciones de los componentes de las mezclas mostradas en la Ilustración 1, son valores estimativos que representan para muchos casos una mezcla de buena calidad y económicamente factible, sin embargo, el personal encargado de realizar los diseños del concreto en planta o en obra, se basa primeramente en criterios de experiencia como el conocimiento de las propiedades de los materiales, el comportamiento de la mezcla según las condiciones climáticas, los aditivos utilizados en la mezcla, la metodología de colocación del concreto y otros criterios que el profesional conoce de antemano.

4.2. Cemento

El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker - principal ingrediente del cemento - que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento³. Una interpretación más sencilla y práctica del cemento, se define como aquel material que al mezclarse con agua reacciona y produce un aglutinante con propiedades de cohesión y adherencia. El cemento es el material primordial en el diseño de las mezclas de hormigón, pega, mortero, pañete y acabados en las obras de infraestructura y en general, en el sector de la construcción.

Existen diferentes fabricantes de cementos los cuales varían en sus especificaciones, por esto, utilizar un tipo de cemento para el diseño de una mezcla de concreto, hace variar las proporciones de la dosificación de la mezcla, si se usara otra marca diferente, por ello, se debe de especificar el tipo de cemento utilizado.

³ Definición propuesta por Cemex. Fuente: <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>

Según la norma de producción del concreto, NTC 3318, 2008, el cemento debe de cumplir con las especificaciones de las normas NTC 121 y NTC 321, o en su defecto las normas ASTM C595 y ASTM C1157.

Para efectos de uso en la producción del concreto premezclado, la planta del Grupo San Pío, tiene convenio de compra del material cementante con una empresa debidamente certificada en el cumplimiento de las normas anteriormente citadas.

4.3. Agregados pétreos

Los agregados pétreos son aquellos materiales granulares (arena, grava, piedra triturada o escoria) rocosos fundamentalmente utilizados para el concreto hidráulico, el concreto asfáltico y las bases granulares. Estos materiales se encuentran en macizos rocosos y en depósitos no consolidados, que se obtienen mediante la explotación de bancos de material, también pueden ser obtenidos de las fuentes hídricas como los ríos.

Según Olguin de la mora, 2016, los agregados pétreos se pueden clasificar de acuerdo con diferentes características, entre las que se encuentran:

1. Por su tamaño

- **Arenas:** Material fino granular que pasa el tamiz No. 4 (4,75 mm) y se retiene en el tamiz No. 200 (75 μ m).
- **Gravas:** Material granular que pasa la malla de 3" (75 mm) y se retiene en el tamiz No. 4 (4,75 mm).

2. Por su masa unitaria

- **Agregados ligeros:** Agregados que producen concretos de peso unitario menores de 1900 kgf/m³.
- **Agregados masa volumétrica normal:** Agregados que producen concretos de peso unitario entre 1900 kgf/m³ y 2400 kgf/m³.
- **Agregados pesados:** Agregados que producen concretos de peso unitario mayores de 2400 kgf/m³.

3. Por su modo de fragmentación

- **Naturales:** Se encuentran en yacimientos naturales o depósitos no consolidados, solamente se seleccionan, refinan y se clasifican según su tamaño.
- **Artificiales o manufacturados:** Se encuentran en macizos rocosos, se obtienen por medio de voladuras con explosivos, luego se limpian, trituran y se clasifican.

- **Industriales:** Son aquellos que ya han pasado un proceso previo de “fabricación” o manufacturación, se obtienen de desechos, demoliciones y materiales calcinados.

El color es otra clasificación, sin embargo, esta característica no representa un desempeño importante en las propiedades mecánicas de las mezclas de concreto, su utilización puede verse influenciada en el diseño de obras de construcción, donde el componente estético y arquitectónico signifique un factor importante para el acabado final.

Las características de los diferentes tipos de agregados, finos o gruesos, influyen de manera significativa en el comportamiento hidráulico del concreto, ya sea en su estado fresco y o en su estado sólido. Determinar la influencia de las particularidades de los agregados como la forma y textura, la gradación, la absorción, la resistencia y módulo de elasticidad, la gravedad específica, la resistencia al ataque de sulfatos y la dureza, permitirán realizar el diseño de las mezclas de concreto de forma más eficiente en términos de resistencia y economía.

En el diseño de las mezclas de concreto, existe un límite del uso de agregados gruesos, debido a su manejabilidad en el campo, el uso excesivo de material grueso conlleva a que la mezcla no abarque todos los espacios del encofrado, dejando vacíos enormes que en últimas afecta la resistencia del sistema estructural, de igual forma puede presentarse el fenómeno llamado *segregación*⁴. Similarmente, debe de existir una buena dosificación de los agregados finos, tal que, permitan una trabajabilidad y cohesión adecuada en el concreto.

Los agregados representan un papel importante en la economía y resistencia para la producción del concreto, es decir, la comparación en precios con el resto de materiales que componen una mezcla de concreto es significativamente menor ya que reducen los costos de producción, en consecuencia, el volumen que ocupan los agregados varían entre un 60 a 80 % del total de la mezcla, que en peso puede representar hasta un 85 % de una mezcla de concreto, reduciendo de esta forma el contenido de pasta cementante por metro cúbico. Tanto factores de optimización de costos y desempeño mecánico de los agregados en el hormigón, influyen en la elección del proveedor de estos materiales.

Los agregados se rigen bajo los criterios de la norma NTC 174, o en su defecto la norma NTC 4045, en caso que el cliente solicite un concreto más liviano. Sumado a lo anterior se permite el uso de agregados que por experiencia y ensayos de laboratorio producen concretos de buena resistencia y durabilidad, siempre y cuando sean aprobados por el supervisor técnico.

4.4. Agua

El agua es uno de los componentes de la mezcla de concreto con el cual el cemento presenta reacciones químicas posibilitando el fraguado y endurecido, formando un sólido único con los agregados.

⁴ La segregación del concreto ocurre cuando los agregados gruesos y finos, se “separan” de la pasta de cemento. Es hace que la mezcla sea más débil, poco durable y hay un acabado pobre.

Tener control de la cantidad de agua que se utiliza para preparar la mezcla de concreto, es un factor importante, debido a los resultados que conlleva adicionar más o, menos agua de lo que se definió en el diseño de la mezcla previamente. La cantidad de agua incide directamente en la relación de resistencia del concreto (relación agua/cemento), controla la hidratación y la manejabilidad la mezcla. En consecuencia, a menor cantidad de agua se adquiere mayor resistencia, y a mayor agua se pierde resistencia.

El agua utilizada para la fabricación de concretos debe de ser limpia y libre de impurezas, que no afecten el comportamiento mecánico normal del concreto, de igual forma que no sea perjudicial cuando entre en contacto con el acero de refuerzo.

El control de la calidad del agua y su utilización en las mezclas de concreto está regulado bajo la norma NTC 3459.

4.5. Aditivos químicos

De acuerdo con el ACI (American Concrete Institute) un aditivo es una sustancia diferente al cemento, adiciones minerales, agregados y fibras, que se incluye en el concreto o mortero en un volumen inferior al 5 % del peso del cementante, con el fin de modificar las propiedades de los mismos.

Existen numerosas clasificaciones de los aditivos (Silva, Omar Javier, 2016), entre los cuales se distinguen los siguientes tipos de aditivos empleados en las mezclas de concreto hidráulico:

- a) **Reductores de agua (plastificantes):** Aditivo que disminuye la cantidad de agua en la mezcla, necesaria para la producción de concreto en una consistencia dada.
- b) **Retardantes:** Aditivo que prolonga el inicio de fraguado del concreto.
- c) **Acelerantes:** Aditivo que acelera el proceso de fraguado del concreto o el desarrollo de la resistencia a edad temprana del concreto.
- d) **Reductores de agua y acelerantes:** Aditivo que permite disminuir la cantidad de agua de una mezcla para una consistencia determinada y acelera el proceso de fraguado, así como su resistencia a edades tempranas.
- e) **Reductores de agua y retardantes:** Aditivo que permite disminuir la cantidad de agua de una mezcla para una consistencia dada y retarda el proceso de fraguado.
- f) **Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes:** Aditivo que permite la reducción de la cantidad de agua en más de un 12 % para una consistencia en la mezcla de concreto.

- g) Reductores de agua de alto rango y retardantes o superfluidificantes y retardantes:**
Aditivo que permite la reducción de la cantidad de agua en más de un 12 % para una consistencia en la mezcla de concreto y además retardar el proceso de fraguado.
- h) Reductores de agua de alto rango y acelerantes o superfluidificantes y acelerantes:**
Aditivo que permite la reducción de la cantidad de agua en más de un 12 % para una consistencia en la mezcla de concreto y acelera el proceso de fraguado, así como su resistencia a edades tempranas.

El propósito de los aditivos químicos es modificar las propiedades del hormigón o mortero, con el fin de cumplir ciertas exigencias según el trabajo final de disposición de la mezcla de concreto. La metodología de colocación y transporte, son las variables que mayor relevancia presentan a la hora de controlar los requisitos y especificaciones solicitadas por el tipo de estructura a vaciar o de acuerdo con las peticiones solicitadas por el cliente. Las características que se destacan con el uso de aditivos, se basan en la mejora del desempeño de la mezcla de concreto frente a determinadas solicitudes y asegurar la calidad del concreto en condiciones ambientales adversas en las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado de la mezcla.

Los aditivos químicos están regulados bajo las pautas establecidas en la norma NTC 385, los aditivos para la reducción de agua y modificación del tiempo de fraguado deben de cumplir con las especificaciones de la NTC 1299, los aditivos para la producción de concretos fluidos se rigen por la NTC 4023, los aditivos incorporadores de aire deben cumplir con la norma NTC 3502 y los aditivos que no se basan en los principios anteriores se dejan a criterio del supervisor técnico.

4.6. Materiales cementantes suplementarios u adiciones

Los materiales cementantes suplementarios u adiciones diferentes al cemento Portland o cemento hidráulico tradicional, son aquellos materiales utilizados en concreto que tienen la finalidad de aportar ciertas propiedades especiales a la mezcla. Entre las adiciones se pueden encontrar materiales como las cenizas volantes, las puzolanas naturales o artificiales, la escoria granulada de alto horno y el humo de sílice.

La cantidad de uso de estos materiales suplementarios se da normalmente en pequeños porcentajes en comparación con el cemento, con el fin de complementar y/o aumentar las propiedades del concreto como lo es mejorar la cohesividad, trabajabilidad, durabilidad, aumento de resistencia a edades posteriores, disminución de poros de la mezcla, entre otras propiedades importantes que repercuten finalmente en la calidad del concreto.

Los materiales cementantes suplementarios u adiciones según lo indicado en la norma NTC 385, deben de cumplir las especificaciones de acuerdo con la adición que corresponda. Para el caso de adiciones con ceniza volante y puzolana natural o calcinada deben de satisfacer los requisitos de la NTC 3493, para el uso de escoria de alto horno granulada y triturada deben de

seguir los lineamientos de la NTC 4018. En caso de utilizar microsíllica las especificaciones deben de cumplir la NTC 4637 y el cemento blanco con la NTC 1362.

Se permite la utilización de otros materiales como los colorantes, fibras sintéticas y de acero, icopor, entre otros; siempre que estos no afecten la calidad del concreto y estén certificados en su desempeño.

4.7. Curado del concreto

El curado del concreto es el proceso mediante el cual se controla la pérdida de agua de la masa de concreto como consecuencia de efectos ambientales como la temperatura, el sol, el viento y la humedad relativa, con el fin de garantizar la completa hidratación de las partículas de cemento y, por tanto, garantizar la resistencia mecánica final del concreto. El objetivo del curado es mantener tan saturado como sea posible el concreto para permitir la total hidratación del cemento; pues si este proceso no se lleva a cabo, puede presentarse fisuración, desprendimientos y ataques por agentes externos que inciden directamente en la reducción de la resistencia final del concreto.

El curado se lleva a cabo cuando el concreto ya ha endurecido y según lo establece la norma NTC 1377, se procede al retiro del concreto de los moldes en 24 ± 8 horas para iniciar dicho proceso.

Los especímenes de concreto se deben curar a una temperatura de $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ en un tanque u otro sistema de almacenamiento húmedo que involucre la inmersión de toda el área superficial del espécimen en agua saturada con cal y que cumpla con los requisitos de la NTC 3512 (ver Ilustración 2). Los especímenes no deben estar expuestos durante las primeras 48 horas a la vibración, tampoco al goteo o corriente continua de agua y, en ningún momento, deben de estar sometidos a cargas por mínimas que sean, sobre dichas muestras.

Para el caso de los especímenes de concreto elaborados en laboratorio estos se mantienen en el proceso de curado durante todo el tiempo necesario y justo antes de llevarlos a la falla. Es decir, normalmente se curan por tiempos de 3, 7, 28 y 90 días con el fin de conocer el comportamiento mecánico de la bachada de concreto del cual se obtuvo la muestra que fue puesta en el elemento estructural.



Ilustración 2. Curado de especímenes cilíndricos de concreto.

4.8. Mixer o camión mezclador

La Mixer o camión mezclador es un camión utilizado para la elaboración y transporte del concreto equipado con una hormigonera o tambor mezclador montado sobre el bastidor del camión (ver Ilustración 3). Este camión salió como alternativa de ahorro del esfuerzo manual en la preparación del concreto e igualmente supone un ahorro de tiempo y costo, en los procesos constructivos de las obras de ingeniería.

Los camiones mezcladores poseen dos funciones: el amasado y agitado del concreto, que se utilizan dependiendo del tipo de la planta de concreto desde la cual se despacha dicho material. Si la planta de concreto es amasadora, la mixer sólo realiza la función de agitado de la mezcla para que no se separe y así, se mantenga homogenizada durante el transporte hasta el lugar de colocación. Si la planta de concreto es dosificadora, la mixer además amasa la mezcla durante el tiempo de carga, y posteriormente realiza la misma función de agitado y transporte hasta el sitio de disposición final.



Ilustración 3. Mixer o camión mezclador.

El principio de funcionamiento de la mixer es un mecanismo de fácil entendimiento, se trata de mantener el concreto en movimiento con la finalidad de retrasar su fraguado y lograr homogeneidad en la mezcla. Para ello, el camión está dotado de un motor auxiliar o por transmisión del propio motor del camión de forma mecánica o hidráulica.

4.9. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio que se le realizan al concreto, son los procesos normativos y operacionales que se deben cumplir, según lo establece la normatividad colombiana bajo las normas técnicas colombianas, NTC, y de esta forma, cumplir los estándares de calidad y seguridad que requieren las obras construidas a partir de este material. Cuando se le da la importancia suficiente y necesaria que corresponde, es posible determinar puntos de inflexión que ayuden en la optimización del comportamiento mecánico del material, de recursos y buenas prácticas en los procesos constructivos.

Para la producción del concreto premezclado se llevan a cabo controles de calidad con base al reglamento de construcción sismo resistente NSR-10 y las diferentes normas técnicas colombiana NTC; que se derivan de este, tanto para los materiales que componen el conglomerado del hormigón o concreto, así como también a la mezcla final de concreto elaborada. Los ensayos de laboratorio se llevan a cabo de acuerdo con las normas estipuladas a continuación⁵:

- Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, NTC 77.
- Concreto fresco, toma de muestras, NTC 454.
- Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC 396.
- Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto, NTC 1926.
- Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión, NTC 1032.
- Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, NTC 1377.

⁵ Estos ensayos son los que habitualmente se realizan dentro las funciones asignadas como practicante.

Las pruebas de laboratorio que se desarrollen deben de ser realizadas por personal que evidencie conocimiento sobre el tema y de igual forma, deben de ser competentes para realizar los diferentes ensayos a los materiales que conforman la muestra y a la mezcla de concreto, ya que si se realiza de forma errónea los resultados finales pueden verse afectados y generar interpretaciones inadecuadas que no van acorde a la realidad, lo que implica pérdida de credibilidad, tiempo y dinero que equivale a sobrecostos.

4.10. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto, también denotado como el procedimiento práctico para dosificar mezclas de concreto, es un proceso empírico⁶ mediante el cual se llevan a cabo una serie una de pasos para determinar las dosificaciones de los materiales del concreto, con el fin de lograr una resistencia a la compresión promedio para una edad definida, así como también una manejabilidad adecuada para un tiempo determinado.

Existen diferentes metodologías que se emplean para el diseño de mezclas de concreto, sin embargo, el método comúnmente utilizado es el propuesto por la ACI (American Concrete Institute). Este método se basa en determinar las cantidades absolutas de cada material que componen la mezcla de concreto. Se debe lograr un equilibrio entre una economía razonable y requisitos de calidad necesarios, acorde a las aplicaciones particulares.

Para lograr una mezcla de concreto optima se consideran diferentes factores que determinan la dosificación ideal de materiales (Love, 2006), para esto, se pretende controlar las siguientes características:

- **Manejabilidad:** La manejabilidad se define como la capacidad que posee el concreto de “moldearse” para cumplir las necesidades de mezclado, transporte y colocación en el sitio de trabajo, sin presentar segregación. La manejabilidad de la mezcla también se puede denotar como la plasticidad del concreto.
- **Durabilidad:** La durabilidad es la capacidad que adquiere el concreto una vez se encuentra en estado sólido de resistir ataques ambientales adversos como el viento, la nieve, la abrasión, el calor, las reacciones químicas del suelo, entre otras.
- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión promedio, f'_c , es la capacidad que posee el concreto de resistir esfuerzos a compresión, flexión y cizalladura. Se diseña con el fin de lograr una resistencia en un tiempo determinado. La variable que controla la resistencia del concreto es la relación agua/cemento.

⁶ Existen diferentes procedimientos basados en trabajos teóricos para calcular el diseño de mezclas de concreto, la mayoría se basan en determinar la resistencia a la compresión para una edad determinada.

5. Ejecución del proyecto

El desarrollo de la práctica académica comprende la ejecución de diversos ensayos de laboratorio con el fin de cumplir la normatividad colombiana para la calidad en la producción del concreto premezclado. Bajo estos estándares se describen a continuación algunos ensayos de laboratorio que se realizan en la planta del Grupo San Pío S.A.S, de acuerdo con las normas técnicas colombianas, NTC, establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC⁷.

5.1. Producción del concreto, NTC 3318, 2008

Objeto

La producción del concreto premezclado en planta, sigue las especificaciones y requerimientos estipulados en el desarrollo de la presente norma, sumado con las consideraciones que el cliente solicite. Para cumplir con los requisitos especificados por desempeño y durabilidad; con la finalidad de garantizar estos parámetros se llevan a cabo diversos ensayos de laboratorio para determinar las principales características del concreto fabricado en planta y asegurar que este proceso cumpla con las especificaciones del proyecto y de la normatividad colombiana.

Especificaciones de producción

Las siguientes especificaciones son aplicables al proceso de producción de concreto:

1. Especificaciones del cliente

En ausencia de especificaciones generales el cliente debe especificar:

- El tamaño del agregado grueso.
- El asentamiento deseado en el sitio de entrega.
- El contenido de aire de la mezcla en el sitio de entrega.
- La alternativa para determinar la dosificación adecuada.
- La masa unitaria ya sea seca al aire, húmeda o seca al horno.

2. Diseño de mezcla realizada por el productor

- El productor asume toda la responsabilidad sobre la dosificación de los materiales del concreto.
- El cliente debe especificar los requisitos de resistencia del concreto en condiciones normales de curado.
- Antes de la entrega del concreto, el cliente puede solicitar al productor, comportamientos estadísticos del concreto producido, los materiales que se van a utilizar, la procedencia y propiedades de estos.

⁷ Para este trabajo se especifica de forma clara y somera el desarrollo de normas aquí trabajadas, por tal motivo, para mayor información sobre el contenido, materiales y procedimientos de ejecución de las mismas, se deja al lector la consulta de las NTC directamente de la fuente original. Las normas están sujetas a actualizaciones.

Nota: Las siguientes especificaciones no se explican, ya que no se realizaron durante el tiempo de ejecución de las prácticas académicas, sin embargo, se mencionan y se dejan a criterio del lector su consulta y entendimiento.

3. Diseño de mezcla suministrada por el cliente

4. Diseño de mezcla realizado por el productor con el contenido mínimo de cemento especificado por el cliente

5. El dueño asume la responsabilidad de la producción del concreto

Materiales

- Cemento.
- Agregados (grava y arena).
- Agua.
- Aditivos.
- Adiciones.
- Otros materiales.

Nota: Estos materiales ya fueron explicados en la sección de “fundamentos teóricos” al igual que se menciona bajo que norma está regulado el uso de cada uno.

Sistemas de dosificación

- **Planta dosificadora:** Las plantas dosificadoras deben de estar dotadas de compartimentos que permitan la separación del agregado fino y para cada tamaño de los agregados gruesos. Los compartimentos deben de diseñarse de tal manera que la descarga sea eficiente y ágil, e igualmente que se pueda interrumpir el sistema de vaciado en el momento que se desee. Para el caso del operario de planta, este debe de tener absoluto control de los mecanismos de funcionamiento.

Las basculas deben tener una precisión de $\pm 0,2$ % de la capacidad total de la tolva cuando se calibran o verifican con carga estática.

Nota: Los agregados de especificaciones diferentes deben de estar en cajones separados, con el fin de que no se mezclen, al igual que deben de estar protegidos ante agentes externos contaminantes. El lugar de almacenamiento debe garantizar el drenaje para asegurar la humedad uniforme en los agregados.

Mezcladores y agitadores

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o camiones mezcladores. Los agitadores pueden ser camiones mezcladores o camiones agitadores. Generalmente se utilizan para el transporte de concreto de la planta de producción hasta el lugar de colocación del concreto, camiones mezcladores o mixer.

Los camiones mezcladores o agitadores deben de tener un lugar que señale la capacidad de volumen de concreto mezclado y un dispositivo (manómetro) que mida la mínima y máxima velocidad de rotación del equipo mezclador.

Mezclado y entrega

El concreto se debe mezclar y entregar en el lugar que el cliente solicite de acuerdo con una de las combinaciones siguientes:

- Concreto proveniente de planta.
- Concreto parcialmente mezclado en planta.
- **Concreto mezclado en camión o equipos móviles:** Concreto que se mezcla completamente en el camión, las oscilaciones de mezclado varían entre 70 y 100 revoluciones según a la velocidad que establezca el productor con el fin de garantizar una mezcla homogénea.
- Concreto mezclado en obra.

Métodos de muestreo e informes

Los ensayos aplicables al concreto se realizan de acuerdo con las especificaciones dadas en las siguientes normas:

- Cilindros de concreto tomados en las obras para ensayos de compresión. Elaboración y curado, NTC 550.
- Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto, NTC 673.
- Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de cemento y aire, NTC 1926.
- Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método volumétrico, NTC 1028.
- Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión, NTC 1032.
- Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC 396.
- Concreto fresco. Toma de muestras, NTC 454.
- Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, NTC 1377.
- Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto, NTC 3357.
- Método de ensayo para determinar el esfuerzo a flexión del concreto, NTC 2871.
- Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto, NTC 5551.

Documento que avale la entrega la fabricación del concreto

El productor debe de entregar al cliente el comprobante de fabricación del concreto, un papel que contenga cierta datos básicos de la mezcla a transportar. Para saber exactamente que conlleva el documento, remitirse a la norma.

Inspección en planta o en obra

El productor le debe garantizar al cliente, sin costo adicional, los medios para que éste realice los controles de ser necesario para la verificación de los procedimientos de la producción del concreto que están descritos en la presente norma.

Muestreo

El constructor debe proporcionar al cliente o su representante, el acceso a la mezcla en el momento de la colocación para realizar el debido muestreo al concreto en estado fresco, cuando así lo requiera.

Las personas a cargo de la realización de los ensayos de laboratorio y aquellas que se encargan de los análisis de los resultados, deben poseer conocimientos en las normas aplicables y evidenciar competencias para realizar las pruebas.

Los ensayos de asentamiento, contenido de aire y temperatura de deben de realizar en el momento de la colocación del concreto y a juicio del cliente cuando sea necesario. Estos ensayos se realizan cuando se especifique y siempre que se planee realizar especímenes para evaluar resistencia.

Existen otras características en la producción del concreto premezclado, que se salen del objeto de estudio del presente trabajo, se deja al lector la consulta de los ítems restantes y estudio a profundidad de esta norma.

5.2. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, NTC 77, 2018

Objeto

El objeto de esta norma es determinar la distribución del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos, mediante un proceso de tamizado.

Materiales

- **Tamices:** Los tamices son herramientas que permiten separar las partículas de diferentes tamaños de una mezcla a través de una malla metálica, vegetales – tejidos – o de nylon que está sujeta a un aro, también conocido por cedazo o criba. Los tamices deben cumplir los requisitos establecidos en la norma NTC 32 (ASTM E11). En la Tabla 1, se muestra la designación de los tamices de ensayo estándar utilizados para la gradación de partículas.

Designación del tamiz		Abertura de tamiz nominal, pulgadas ^A	Variación permisible de abertura promedio a partir de la designación de tamiz estándar	Dimensión de abertura excedida por máximo el 6% de las aberturas	Abertura máxima individual	Diámetro nominal del alambre, mm ^B
E estándar ^C	Alternativa					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
125 mm	5 pulgadas	5	± 3,70 mm	130,0 mm	130,9 mm	8,00
106 mm	4,24 pulgadas	4,24	± 3,20 mm	110,1 mm	111,0 mm	6,30
100 mm ^D	4 pulgadas ^D	4	± 3,00 mm	104,0 mm	104,8 mm	6,30
90 mm	3 1/2 de pulgada	3,5	± 2,70 mm	93,6 mm	94,4 mm	6,30
75 mm	3 pulgadas	3	± 2,20 mm	78,1 mm	78,7 mm	6,30
63 mm	2 1/2 de pulgada	2,5	± 1,90 mm	65,6 mm	66,2 mm	5,60
53 mm	2,12 pulgadas	2,12	± 1,60 mm	55,2 mm	55,7 mm	5,00
50 mm ^D	2 pulgadas ^D	2	± 1,50 mm	52,1 mm	52,6 mm	5,00
45 mm	1 3/4 de pulgada	1,75	± 1,40 mm	46,9 mm	47,4 mm	4,50
37,5 mm	1 1/2 de pulgada	1,5	± 1,10 mm	39,1 mm	39,5 mm	4,50
31,5 mm	1 1/4 de pulgada	1,25	± 1,00 mm	32,9 mm	33,2 mm	4,00
26,5 mm	1,06 pulgadas	1,06	± .800 mm	27,7 mm	28,0 mm	3,55
25,00 mm ^D	1,00 pulgada ^D	1	± .800 mm	26,1 mm	26,4 mm	3,55
22,4 mm	7/8 de pulgada	0,875	± .700 mm	23,4 mm	23,7 mm	3,55
19,0 mm	3/4 de pulgada	0,750	± .600 mm	19,9 mm	20,1 mm	3,15
16,0 mm	5/8 de pulgada	0,625	± .500 mm	16,7 mm	17,0 mm	3,15
13,2 mm	0,530 pulgadas	0,530	± .410 mm	13,83 mm	14,05 mm	2,80
12,5 mm ^D	1/2 de pulgada ^D	0,500	± .390 mm	13,10 mm	13,31 mm	2,50
11,2 mm	7/16 de pulgada	0,438	± .350 mm	11,75 mm	11,94 mm	2,50
9,5 mm	3/8 de pulgada	0,375	± .300 mm	9,97 mm	10,16 mm	2,24
8,0 mm	5/16 de pulgada	0,312	± .250 mm	8,41 mm	8,58 mm	2,00
6,7 mm	0,265 pulgadas	0,265	± .210 mm	7,05 mm	7,20 mm	1,80
6,3 mm ^D	1/4 de pulgada ^D	0,250	± .200 mm	6,64 mm	6,78 mm	1,80
5,6 mm	No.3 1/2 ^E	0,223	± .180 mm	5,90 mm	6,04 mm	1,60
4,75 mm	No. 4	0,187	± .150 mm	5,02 mm	5,14 mm	1,60
4,00 mm	No. 5	0,157	± .130 mm	4,23 mm	4,35 mm	1,40
3,35 mm	No. 6	0,132	± .110 mm	3,55 mm	3,66 mm	1,25
2,80 mm	No. 7	0,110	± .095 mm	2,975 mm	3,070 mm	1,12
2,36 mm	No.8	0,0937	± .080 mm	2,515 mm	2,600 mm	1,00
2,00 mm	No. 10	0,0787	± .070 mm	2,135 mm	2,215 mm	0,900
1,7 mm	No. 12	0,0661	± .060 mm	1,820 mm	1,890 mm	0,800
1,4 mm	No.14	0,0555	± .050 mm	1,505 mm	1,565 mm	0,710
1,18 mm	No. 16	0,0469	± .045 mm	1,270 mm	1,330 mm	0,630
1,00 mm ^F	No. 18	0,0394	± .040 mm	1,080 mm	1,135 mm	0,560
850 µm ^F	No. 20	0,0331	± 35 µm	925 µm	970 µm	0,500
710 µm	No. 25	0,0278	± 30 µm	775 µm	815 µm	0,450
600 µm	No. 30	0,0234	± 25 µm	660 µm	695 µm	0,400
500 µm	No. 35	0,0197	± 20 µm	550 µm	585 µm	0,315
425 µm	No. 40	0,0165	± 19 µm	471 µm	502 µm	0,280
355 µm	No. 45	0,0139	± 16 µm	396 µm	426 µm	0,224
300 µm	No. 50	0,0117	± 14 µm	337 µm	363 µm	0,200
250 µm	No. 60	0,0098	± 12 µm	283 µm	306 µm	0,160
212 µm	No. 70	0,0083	± 10 µm	242 µm	263 µm	0,140
180 µm	No. 80	0,0070	± 9 µm	207 µm	227 µm	0,125
150 µm	No. 100	0,0059	± 8 µm	174 µm	192 µm	0,100
125 µm	No. 120	0,0049	± 7 µm	147 µm	163 µm	0,090
106 µm	No. 140	0,0041	± 6 µm	126 µm	141 µm	0,071
90 µm	No. 170	0,0035	± 5 µm	108 µm	122 µm	0,063
75 µm	No. 200	0,0029	± 5 µm	91 µm	103 µm	0,050
63 µm	No. 230	0,0025	± 4 µm	77 µm	89 µm	0,045
53 µm	No. 270	0,0021	± 4 µm	66 µm	76 µm	0,036
45 µm	No. 325	0,0017	± 3 µm	57 µm	66 µm	0,032
38 µm	No. 400	0,0015	± 3 µm	48 µm	57 µm	0,030
32 µm	No. 450	0,0012	± 3 µm	42 µm	50 µm	0,028
25 µm ^D	No. 500	0,0010	± 3 µm	34 µm	41 µm	0,025
20 µm ^D	No. 635	0,0008	± 3 µm	29 µm	35 µm	0,020

Tabla 1. Dimensiones nominales variaciones permisibles para tejido de alambre de tamices de ensayo estándar. Serie Estándar (EEUU). Fuente NTC 32, 2002.

- **Tamizadora mecánica:** Como su nombre lo indica, es una herramienta que permite realizar el tamizado del material de forma mecánica realizando movimientos laterales o una combinación de movimientos laterales y verticales a los tamices preparados para el

ensayo, de tal forma que las partículas presenten diferentes orientaciones; esta acción se debe realizar en un tiempo razonable.

- **Balanza:** Balanza o bascula con una precisión de $\pm 0,1$ g para agregados finos y 0,5 g para agregados gruesos; o 0,1% de la carga de ensayo.
- **Horno:** Se recomienda horno de un tamaño adecuado para almacenar las muestras y capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- **Herramientas menores:** Se puede utilizar otras herramientas menores que permiten realizar el proceso de tamizado de una forma más ágil, como lo son: taras, brocha, cepillo metálico.

Muestreo

- **Agregado fino:** El tamaño de la muestra después del secado debe ser mínimo de 300 g.
- **Agregado grueso:** El tamaño de la muestra de ensayo después del secado debe ser conforme a lo establecido en la Tabla 2.

Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas (mm)	Masa mínima Muestra de ensayo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

Tabla 2. Masa de ensayo a partir del tamaño máximo nominal de aberturas del tamiz.

Fuente: NTC 77, 2007.

- **Mezclas de agregados finos y gruesos:** El tamaño de la muestra corresponde a los mismos criterios descritos para agregados gruesos.

Procedimiento⁸

1. Se seca la muestra en el horno a una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante.

Nota: De requerirse los resultados rápidos no es necesario el secado, excepto que, a) el tamaño máximo nominal sea menor a 12,5 mm, b) el agregado grueso contenga

⁸ El procedimiento se explica teniendo presente que se realiza el tamizado manual de los agregados.

una cantidad apreciable de material fino menor a 4,75 mm, o c) el agregado grueso sea altamente absorbente.

2. Seleccionar los tamaños adecuados de tamices a los que se pretende conocer la información de las especificaciones que cubren el material ensayado (ver Ilustración 4, fotografía a). Si se desea, se pueden agregar tamices para conocer información adicional como el módulo de finura o para regular la cantidad de material pasante por cada tamiz. El encaje de los tamices se realiza de acuerdo con el tamaño de las aberturas, superponiendo el de mayor abertura en la parte superior y se continúa de forma decreciente hasta el tamiz de menor abertura.

Nota: En la parte inferior se debe colocar un recipiente del mismo tamaño de área superficial de los tamices, pero sin aberturas, a fin de que retenga el material pasante del tamiz de menor tamaño.

3. Se vacía la muestra seca en el tamiz de mayor abertura y se procede a realizar el tamizado manual o mecánico de la muestra (ver Ilustración 4, fotografía b).

Nota: No se debe forzar manualmente el paso de las partículas a través de las aberturas de los tamices.

4. Se debe limitar la cantidad de material a tamizar, permitiendo de esta forma que todas las partículas tengan la oportunidad de pasar la misma cantidad de veces por las aberturas de los tamices.
5. Una vez realizado el proceso de tamizado se procede a determinar la masa retenida en cada tamiz. Se debe tener cuidado en el proceso de tamizado dado que, la masa total después del tamizado en comparación con la masa total de la muestra seca inicial, no debe ser superior al 0,3 %, ya que en caso de suceder esto, los resultados no son válidos para propósitos de decisión.
6. Finalmente, se determina mediante cálculos básicos las cantidades de material pasante y retenido en cada tamiz, para proceder a realizar los demás procedimientos y análisis⁹ pertinentes a la muestra según los propósitos iniciales.

La Ilustración 4, fotografía b, muestra la distribución de partículas finas y gruesas de la gradación de una muestra de arena.

⁹ Los procedimientos y análisis finales del tamizado están fuera del alcance de este trabajo.



Ilustración 4. Gradación de agregados finos y gruesos. a) tamices b) ensayo de gradación c) gradación arena.

5.3. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC 396, 1992

Objeto

Esta norma permite establecer los lineamientos para determinar el asentamiento del concreto fresco en obra y en laboratorio.

Materiales

- **Molde (cono de asentamiento):** El ensayo debe elaborarse en un molde resistente a la pasta del concreto y liso en la parte interior del mismo; en forma de cono con aberturas en ambos extremos, el diámetro correspondiente a la abertura mayor es de $203 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ y $102 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ el de la abertura menor. La altura del cono de asentamiento es de $305 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$. El molde debe estar provisto de agarraderas y elementos para sujetarlo con los pies.
- **Varilla compactadora:** La varilla debe ser de acero liso, de 16 mm diámetro y de longitud 600 mm. La punta compactadora deber ser hemisférica.

Procedimiento

Una vez se dispone del concreto fresco obtenido de la Mixer, mezcladora o herramienta de mezclado utilizado, se procede a realizar los siguientes pasos para determinar el asentamiento de la muestra de concreto.

1. Homogenizar la mezcla de concreto.
2. Humedecer el cono de asentamiento y la superficie, cerciorándose que el ensayo se realice sobre una superficie horizontal, rígida y no absorbente.
3. Sujetar con los pies el cono y empezar a llenarlo.

Nota: El llenado se realiza en 3 capas, cada una de ellas con un tercio del volumen del molde. La primera capa alcanza aproximadamente los 67 mm, la segunda capa abarca hasta los 155 mm y la última, el volumen restante.

4. Compactar cada capa con la varilla a una misma velocidad y de forma constante, ejecutando 25 “chuzones” por capa, realizados de forma homogénea sobre su sección transversal (ver Ilustración 5, fotografía a).

Nota: Se debe inclinar levemente la varilla para la primera capa, para asegurar impactar todo el área y espesor de la capa de concreto y, avanzar en forma de espiral sobre la sección transversal. Para la segunda y tercera capa se debe compactar todo su espesor y adicional penetrar levemente la capa inmediatamente anterior.

5. Una vez finalizada la compactación de la tercera capa se debe nivelar la capa de concreto con la cara superior del cono, enrazando con la misma varilla compactadora (ver Ilustración 5, fotografía b).
6. Retirar el molde de las agarraderas laterales que posee el mismo de forma vertical (ver Ilustración 5, fotografía c).

Nota: Antes de retirar el molde, se debe de realizar limpieza de la superficie externa que esta alrededor del mismo, para asegurar el libre desplazamiento de la muestra (ver Ilustración 5, fotografía d).

Al levantar el molde debe asegurarse de ejecutar esta operación en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$, de forma homogénea sin producir movimientos laterales.

El proceso desde el llenado del molde hasta el levantamiento del mismo debe ejecutarse en un tiempo no mayor a 2,5 min.

7. Una vez terminado el proceso anterior se mide el asentamiento del concreto. Esta acción se realiza invirtiendo el molde y colocando la varilla compactadora encima de la cara de mayor abertura del cono. La medida del asentamiento es la longitud vertical desde el centro de la cara superior desplazada hasta la parte inferior de la varilla (ver Ilustración 5, fotografías e y f).

Nota: En caso de que ocurra un derrumbamiento hacia un lado de la muestra, el ensayo se rechaza y debe ejecutarse de nuevo con otra porción la muestra de concreto.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Ilustración 5. Ensayo del asentamiento del concreto. a) compactación b) enrase c) levantamiento d) limpieza de material adyacente e y f) medición del asentamiento.

La longitud del asentamiento varía de acuerdo con la solicitud del cliente o específicamente de los requerimientos de la obra en construcción. La planta de producción de Concretos San Pío, generalmente distribuye concretos bombeables que oscilan un valor de asentamiento de $178 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$. Adicional a este tipo de concretos, se encuentran los concretos no bombeables con un asentamiento permitido de $127 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$. De esta forma, el concreto se envía al cliente de manera tal, que se logre el asentamiento solicitado en la obra.

5.4. Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto, NTC 1926, 2007

Objeto

Esta norma permite determinar la masa unitaria (masa por unidad de volumen) del concreto fresco, el rendimiento volumétrico del concreto y proporciona fórmulas para calcular el contenido de cemento y aire de la mezcla.

Materiales

- **Recipiente:** El molde para este ensayo corresponde a un recipiente cilíndrico de acero u otro material resistente a la pasta de concreto. La capacidad mínima del recipiente se obtiene de la Tabla 3, basada en el tamaño máximo nominal del agregado del concreto a ensayar.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (mm)	Capacidad del recipiente ^(A) Litros (L)
25,0	6
37,5	11
50,0	14
75,0	28
112,0	70
150,0	100

^A De acuerdo con el tamaño máximo nominal, el recipiente por usar debe ser de igual o mayor capacidad que la indicada. El volumen real del recipiente debe ser al menos el 95 % del volumen nominal de la lista.

Tabla 3. Capacidad de los recipientes. Tomado de la tabla 1 de la NTC 1926, 2007.

Nota: Todos los recipientes deben cumplir los requisitos de la norma NTC 92.

- **Varilla de compactación:** Varilla de acero lisa de longitud 600 mm y de diámetro 16 mm con la punta compactadora semiesférica.
- **Mazo:** Martillo de goma o caucho (chipote) con una masa aproximada de $0,60 \text{ kg} \pm 0,20 \text{ kg}$ para recipientes de 14 L o menos y un mazo de peso $1 \text{ kg} \pm 0,20 \text{ kg}$ para recipientes mayores de 14 L.
- **Lámina de enrasado:** Lámina rectangular metálica de espesor mínimo de 6 mm o de vidrio o acrílico de espesor mínimo de 12 mm y, con una longitud y ancho mínimo de

50 mm más que el diámetro del recipiente. Los bordes de la lámina deben ser rectos y lisos.

- **Balanza:** Balanza o báscula con una precisión de 45 g o dentro del 0,3 % de la carga de ensayo, el que sea mayor. La balanza debe ser tal que soporte el peso de la olla más el contenido del concreto.

Procedimiento

Una vez se dispone del concreto fresco obtenido de la Mixer, mezcladora o herramienta de mezclado utilizado, se procede a realizar los siguientes pasos para determinar la masa unitaria, rendimiento volumétrico y el contenido de aire de la muestra de concreto.

1. Homogenizar la muestra de concreto.
2. Humedecer levemente el recipiente y ejecutar el ensayo sobre una superficie rígida y horizontal.

Nota: Existen dos métodos de compactación de la mezcla de concreto, el apisonado con la varilla de compactación y la vibración interna.

- Se compacta por vibración si el asentamiento es inferior a 25 mm.
- Se apisona si el asentamiento es mayor a 75 mm.
- Se apisona o se compacta por vibración si el asentamiento esta entre 25 mm y 75 mm.

Para la explicación del procedimiento de ejecución del presente ensayo, se utiliza como elemento de apisonado la varilla de compactación.

3. El concreto se deposita en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen; para recipientes de 14 L o menores, se apisona cada capa con 25 golpes con la varilla de forma homogénea y en forma de espiral sobre toda la sección transversal (ver Ilustración 6, fotografía a); para recipientes nominales de 28 L se apisona con 50 golpes y para recipientes mayores se compacta con un golpe por cada 20 cm² de superficie. La primera capa se compacta todo su espesor, pero sin chocar muy fuerte el fondo del recipiente, las demás capas se compactan de igual forma penetrando cerca de 25 mm la capa inmediatamente anterior. Cada capa se golpea con el martillo de goma de 10 a 15 veces (ver Ilustración 5, fotografía b).

Nota: Después de la compactación lo óptimo es un exceso de concreto que sobresalga 3 mm arriba del tope del recipiente y, en caso de ser necesario, se puede agregar concreto para dar el acabado final.

4. Se enraza la superficie superior del concreto con la lámina de enrasado, garantizando de dejar lleno el recipiente y un terminado liso de la superficie (ver Ilustración 6, fotografía c).

Nota: El enrase se realiza mejor, ejecutando esta acción con la lámina acostada y en forma de aserrado abarcando toda el área superficial del recipiente y; luego de desprender gran parte de la mezcla sobrante, se pasa en repetidas ocasiones la lámina de forma inclinada, para dar el terminado liso.

5. Finalmente se retira el material de mezcla adherida al recipiente y se procede a pesar el recipiente con la mezcla de concreto.

Nota: Al peso final arrojado por la balanza se le resta el peso de la olla vacía.

Con el avance de la tecnología, existen balanzas que taran el peso del recipiente y luego el resultado final, es la masa del concreto.



Ilustración 6. Ensayo de rendimiento volumétrico del concreto. a) compactación b) chipoteado c) enrase.

Cálculos

- **Masa unitaria, M_U**

La masa unitaria del concreto se calcula dividiendo la masa del concreto entre el volumen del recipiente.

$$M_U \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{M_{concreto}}{V_{recipiente}} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde,

$M_{concreto}$ = Masa neta del concreto

$V_{recipiente}$ = Volumen del recipiente

- **Rendimiento, R**

$$R[m^3] = \frac{M}{M_U} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde,

M = Masa total de los materiales en la tanda o “bachada”

M_U = Masa unitaria del concreto

- **Contenido de aire, A**

$$A = \left(\frac{T - M_U}{T} \right) \times 100 \quad \text{o} \quad A = \left(\frac{R - V}{R} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Donde,

T = Masa unitaria teórica del concreto, asumiéndola en ausencia de aire, $T = M / V$

V = Volumen total absoluto de los componentes en la tanda o “bachada” (rendimiento)

Consideraciones

La presente norma no aplica para concretos no plásticos, es decir, concretos comúnmente utilizados en las unidades de mampostería y la fabricación de tuberías.

Para obtener más información respecto al procedimiento de ejecución y cálculos sobre este ensayo, consultar la norma técnica colombiana, NTC 1926.

5.5. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión, NTC 1032, 2013

Objeto

Esta norma establece los lineamientos para determinar el contenido de aire de una muestra de concreto en estado fresco, a partir de un cambio en el volumen de concreto, con un cambio de presión en el mismo.

Nota: El procedimiento de ensayo de esta norma solo es aplicable para concretos y morteros hechos con agregados relativamente densos, por ello, no aplica para concreto realizados con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada al aire y materiales de alta porosidad¹⁰; de igual forma no aplica para concretos no plásticos como los utilizados comúnmente para la fabricación de tubos o unidades de mampostería.

¹⁰ Para estos casos se emplea la norma NTC 1028, 1994.

Materiales

- **Medidor de aire:** Se disponen de dos aparatos básicos para la ejecución del ensayo, con fines de distinción práctica se utilizan las nomenclaturas de; medidor tipo A y medidor tipo B, que se basan en el principio de la ley de Boyle¹¹.
 - **Medidor tipo B:** El principio de este aparato consiste en igualar un volumen de aire conocido, con una presión igualmente conocida en una cámara de aire que está sellada, con un volumen de aire desconocido en una muestra de concreto fresco. El manómetro del aparato está debidamente calibrado en términos de porcentaje de aire para la presión observada (ver Ilustración 7).
- **Recipiente:** El recipiente debe ser de forma cilíndrica de acero u otro material resistente a la pasta cementante, su diámetro deber ser tal que no sea inferior a 0,75 o 1,25 veces su altura y con una capacidad mínima de 0,006 m³. Las paredes del recipiente deben ser ligeramente lisas y lo suficientemente resistentes que soporten la expansión del aparato o cubierta selladora. Los bordes superiores del recipiente deben ser pulidos y nivelados a manera de obtener una presión de ajuste adecuada entre el recipiente y la cubierta ensamblada. La parte superior del recipiente debe tener “aspas” salientes, con el fin de generar la superficie de agarre de las abrazaderas y evitar el escape de aire (ver Ilustración 7).
- **Cubierta:** La cubierta debe ser de acero u otro material adecuado que resiste el ataque constante de la pasta de cemento. La cubierta debe estar equipada con los siguientes componentes; válvulas de aire, válvulas de purga de aire y válvulas de paso mediante las cuales se le puede introducir agua para el diseño del medidor en particular, también incluye una bomba manual apropiada para el bombeo de aire. Está cubierta debe proveer los mecanismos necesarios como bridas para el empalme con el recipiente de medición a fin evitar el escape de aire una vez se realiza el bombeo y se finaliza el ensayo (ver Ilustración 7).

¹¹ Se mencionan las características y el procedimiento de acuerdo con el medidor tipo B, se deja al lector la consulta del funcionamiento del medidor tipo A.

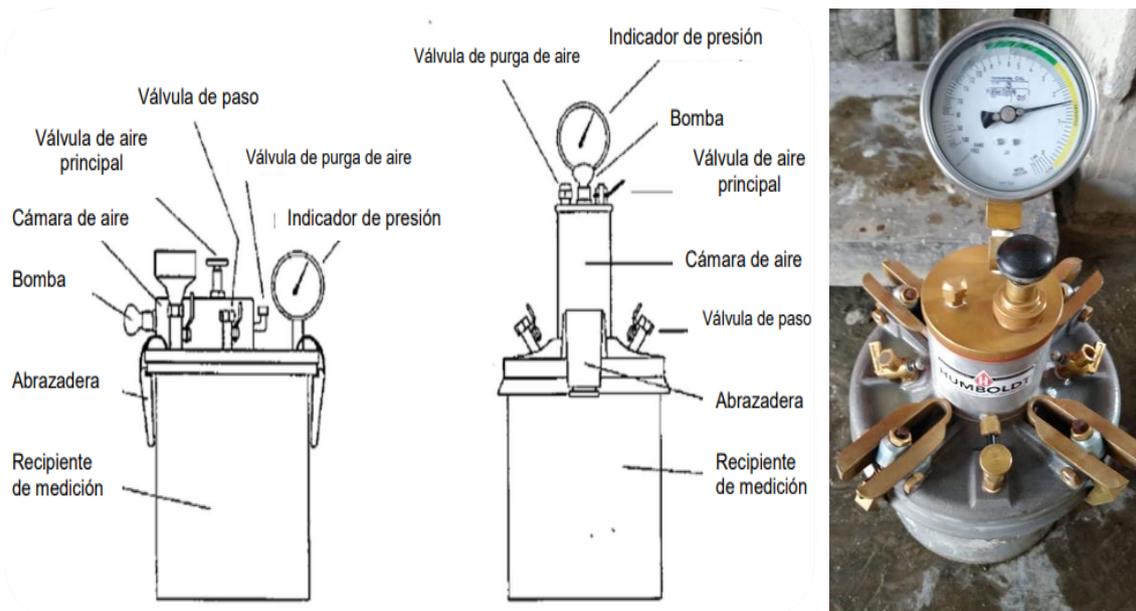


Ilustración 7. Medidor de presión tipo B y partes componentes del sistema. Fuente: Norma INVIAS, INV E - 406 - 13, 2013.

- **Varilla de compactación:** Varilla de acero recta y lisa de longitud no menor de 400 mm y de diámetro 16 mm con ambas puntas compactadoras semiesféricas.
- **Mazo:** Martillo de goma o caucho (chipote) con una masa aproximada de $0,57 \text{ kg} \pm 0,23 \text{ kg}$ para medidores de 14 dm^3 o menores, y un chipote de $1,02 \text{ kg} \pm 0,23 \text{ kg}$ para medidores mayores de 14 dm^3 .
- **Regla de enrace:** Barra plana de enrace de acero u otro material adecuado, de un espesor aproximado de 3 mm, con un ancho mínimo de 20 mm y una longitud de 300 mm.
- **Recipiente de agua con embudo:** Es un recipiente adecuado con embudo delgado de tal forma que encaje en el tubo de rocío.
- **Herramientas menores:** Se utilizan otras herramientas como la cuchara o palustre, trapo.

Procedimiento

Nota: Se describe el procedimiento de ensayo para la determinación del porcentaje de aire en una mezcla de concreto fresco, de acuerdo con lo que se realiza en la planta de concreto del Grupo San Pío.

El procedimiento de apisonado es el mismo descrito anteriormente para el ensayo de determinación la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto, NTC 1926, 2007. Se describen a continuación:

1. Humedecer todas las herramientas de trabajo para el ensayo que van a estar expuestas al contacto con el concreto.
2. Homogenizar la muestra de concreto.
3. La superficie donde se va a realizar el ensayo debe ser rígida y horizontal.

Nota: Existen dos métodos de compactación de la mezcla de concreto, el apisonado con la varilla de compactación y la vibración interna.

- Se compacta por vibración si el asentamiento es inferior a 25 mm.
- Se apisona si el asentamiento es mayor a 75 mm.
- Se apisona o se compacta por vibración si el asentamiento esta entre 25 mm y 75 mm.

Para la explicación del procedimiento de ejecución del presente ensayo, se utiliza como elemento de apisonado la varilla de compactación.

4. El concreto se deposita en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen; se apisona cada capa con 25 golpes con la varilla de forma homogénea y en forma de espiral sobre toda la sección transversal (ver Ilustración 8, fotografía a). La primera capa se compacta todo su espesor, pero sin chocar muy fuerte el fondo del recipiente, las demás capas se compactan de igual forma penetrando cerca de 25 mm la capa inmediatamente anterior. Cada capa se golpea con el martillo de goma de 10 a 15 veces evitando así, que queden espacios con aire en el proceso de compactación (ver Ilustración 8, fotografía b).

Nota: Después de la compactación lo óptimo es un exceso de concreto que sobresalga 3 mm arriba del tope del recipiente y, en caso de ser necesario, se puede agregar concreto para dar el acabado final.

5. Se enraza la superficie superior del concreto con la lámina de enrasado, garantizando de dejar lleno el recipiente y un terminado liso de la superficie (ver Ilustración 8, fotografía c).

Nota: El enrase se realiza mejor, ejecutando esta acción con la regla de enrase levemente inclinada y en forma de “vaivén” abarcando toda el área superficial del recipiente (se pasa en repetidas ocasiones la regla de forma inclinada, para dar el terminado liso), y luego se limpia con un trapo los bordes del recipiente (ver Ilustración 9, fotografía a).

6. Se procede a colocar la cubierta (tipo B para este caso) asegurando con las abrazaderas un sellado hermético con el recipiente (ver Ilustración 9, fotografía b). Se cierra la válvula de aire principal y se abren las válvulas de paso, acto seguido, se rocía agua a

través de cualquiera de las válvulas de paso, una vez haya un paso continuo de agua a través de la válvula restante, se cierran ambas válvulas.

7. El paso siguiente consiste en bombear aire por medio del mecanismo dispuesto para ello en el mismo sistema, con el fin llevar la manecilla del manómetro hasta el punto cero en el indicador, posterior a esto, se abre la válvula principal de aire, así la manecilla dará un valor para el contenido de aire de la mezcla de concreto, en porcentaje (ver Ilustración 9, fotografía c).

Nota: Se pueden dar golpes leves al manómetro cuando la línea del indicador este a ras con la presión inicial. De igual forma, una vez abierta la válvula de aire principal, se golpea suavemente con el mazo los alrededores del recipiente, para quitar las restricciones locales.



a)

b)

c)

Ilustración 8. Ensayo del contenido de aire del concreto, método de presión. a) compactación b) chipoteado c) enlace.



Ilustración 9. Características del ensayo del contenido de aire del concreto, método de presión. a) Planeidad y bordes limpios b) sellado hermético c) Manómetro.

Consideraciones

- **Calibración del equipo:** La calibración del equipo de ensayo se debe realizar por el personal adecuado y certificado. Se realiza periódicamente en un tiempo prudente o en casos, donde el equipo ya presente variaciones en sus mediciones.
- Para efectos prácticos de rendimiento en el laboratorio del Grupo San Pío, es posible según la norma NTC 1926, realizar ambos ensayos (rendimiento volumétrico y contenido de aire) en el mismo recipiente utilizado para el presente ensayo (verificar igualdad en los pasos de llenado, compactación y enrase de las normas NTC 1032 y NTC 1926).

5.6. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, NTC 1377, 2010

Objeto

Esta norma establece los lineamientos para la elaboración y curado de los especímenes de concreto en el laboratorio para las pruebas de resistencia.

Materiales

- **Moldes cilíndricos:** Los moldes que contendrán el concreto deben ser de acero, hierro fundido u otro material resistente y no absorbente. Los moldes deben ser tal que

mantengan sus dimensiones y formas debido al constante uso. Cuando se utilicen los moldes estos se deben de impregnar de ligeramente de aceite mineral u otro material no reactivo. Los cilindros para ensayos de compresión deben ser de 100 mm × 200 mm o 150 mm × 300 mm.

- **Moldes en forma de vigas y prismas:** Los moldes deben ser rectangulares y las dimensiones necesarias para producir el elemento deseado. Las superficies internas de los moldes deben ser lisas y sin hendiduras. Los moldes para el ensayo de flexión no deben ser más cortos de 1,6 m de la longitud requerida, pero si pueden ser más largos que esta cantidad.
- **Varilla de compactación**
 - **Varilla compactadora larga:** Varilla de acero lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud con la punta compactadora hemisférica.
 - **Varilla compactadora corta:** Varilla de acero lisa de 16 mm de diámetro y 300 mm de longitud con la punta compactadora hemisférica.
- **Mazo:** Martillo de goma o cuero (chipote) de masa 0,60 kg ± 0,20 kg.
- **Vibradores:** Los vibradores pueden ser de eje rígido o flexible, accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm o mayor mientras se utilizan.
- **Recipiente de mezclado y muestreo:** El recipiente debe ser plano, de alta dureza, impermeable y de capacidad razonable para realizar el mezclado adecuado con palustre, cuchara o pala según el caso, y además lograr realizar la cantidad de muestras requeridas. Normalmente se utiliza el coche de una rueda.
- **Herramientas pequeñas:** Consisten en herramientas tales como cucharas, palas, palustres, llanas, baldes, guantes, reglas y demás elementos necesarios para ejecutar el ensayo.

Tamaño de la muestra

El número de muestras es determinado según el volumen de producción, de acuerdo a la frecuencia establecida en la NSR-10 C.5.6.2. Cada muestra es constituida por 11 especímenes de 100 mm × 200 mm (compresión) y de 150 mm × 150 mm × 500 (flexión) para evaluaciones de 3 especímenes a una edad de 3 días, 3 especímenes a una edad de 7 días, 3 especímenes a una edad de 28 días y 2 especímenes como garantía y para casos que se requiera la validación de datos a 90 días.

Preparación de los materiales

Los materiales que componen la mezcla de concreto deben estar debidamente almacenados en lugares adecuados para su conservación y disposición rápida para la preparación del concreto. Y si no se especifica algo diferente, los materiales deben mantenerse a temperaturas que oscilen entre los 20 °C y 30 °C.

Procedimiento

Una vez se dispone del concreto fresco obtenido de la Mixer, mezcladora o herramienta de mezclado utilizado, se procede a realizar los siguientes pasos para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.

Antes de empezar con la realización de los cilindros de concreto, como buena práctica, las herramientas de trabajo deben estar levemente humedecidas, los moldes deben de estar dispuestos en una superficie rígida, horizontal, libre de vibraciones y tan cerca como sea posible del lugar donde van a estar almacenadas las primeras 24 horas. Además, las formaletas deben de estar impregnadas de aceite mineral u otro material no reactivo.

Nota: El procedimiento a continuación se explica con moldes de PVC¹² que cumplen con los requisitos de la presente norma y se obvia el proceso con el equipo de vibrado.

1. Homogenizar la mezcla de concreto.
2. Llenar los moldes con una cuchara o palustre¹³, en tres capas de aproximadamente igual volumen.

Nota: Los moldes se llenan un poco más arriba de la mitad de estos, de tal forma que al realizar el apisonado y chipoteado, el material adicional ocupe estos espacios. El número de capas que se deben aplicar a las muestras varía de acuerdo con su altura (ver Tabla 4).

3. Apisonar con la punta redondeada de la varilla de compactación corta, cada capa con 25 golpes de forma homogénea y en forma de espiral sobre toda la sección transversal (ver Ilustración 10, fotografía a). La primera capa se compacta todo su espesor, pero sin chocar muy fuerte el fondo del recipiente, y las demás capas se compactan de igual forma penetrando cerca de 12 mm la capa inmediatamente anterior si el espesor es inferior a 100 mm o cerca de 25 mm se el espesor de la capa es superior a 100 mm. Cada capa se golpea con el martillo de goma de 10 a 15 veces para cerrar los espacios dejados por el apisonado y para sacar las burbujas que pudiesen haber quedado atrapadas (ver Ilustración 10, fotografía b).

¹² Los moldes de PVC son los más utilizados, ya que proporcionan una mayor manejabilidad, rendimiento para el desencofrado y limpieza de las mismas formaletas.

¹³ Se permite el uso de palas, sin embargo, estas se suelen utilizar usualmente para el llenado en moldes grandes como el de las viguetas.

Nota: En las Tablas 4 y 5 se muestran el número de capas, el diámetro de la varilla y el número de golpes que se deben utilizar para la toma de muestras de concreto de acuerdo con el tipo y tamaño de las formaletas de trabajo.

Tipo y tamaño de la muestra. Altura (mm)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa (mm)
Cilindros			
Hasta 300	Apisonado	3 iguales	100
Mayor que 300	Apisonado	Las requeridas	
Hasta 460	Vibración	2 iguales	200
Mayor que 460	Vibración	3 ó más	
PRISMAS Y CILINDROS HORIZONTALES PARA FLUENCIA			
Hasta 200	Apisonado	2 iguales	
Mayor que 200	Apisonado	3 ó más	100
Hasta 200	Vibración	1	
Mayor que 200	Vibración	2 ó más	200

Tabla 4. Numero de capas requeridas para las muestras. Tomado de la tabla 1 de la NTC 1377, 1994.

Cilindros		
Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de golpes por capa
50 a 150	10	25
150	16	25
200	16	50
250	16	75
Vigas y prismas		
Área de la superficie superior de la muestra (cm ²)	Diámetro de varilla (mm)	Número de golpes por capa
160 ó menores	10	25
165 a 310	10	1 por cada 7 cm ² de área
320 ó más	16	1 por cada 14 cm ² de área
Cilindros horizontales para fluencia		
Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de golpes por capa
150	16	50 total. 25 a lo largo de los lados del eje

Tabla 5. Diámetro de la varilla y numero de golpes requeridas para el moldeo de muestras de concreto. Tomado de la tabla 2 de la NTC 1377, 1994.

- Una vez finalizado la compactación y golpeteo de la última capa se procede a dar el acabado final a los especímenes de concreto. El enrasado se realiza con una llana¹⁴, con un mínimo de manipulación para generar una superficie lisa uniforme con los bordes de los moldes y de tal forma que no tenga depresiones o protuberancias superiores de 3,2 mm (ver Ilustración 10, fotografía c).

¹⁴ También puede realizarse con el palustre, sin embargo, no da un buen acabado liso y bien definido en comparación con la llana.

5. Finalmente, se limpian los bordes de las formaletas lo más cuidadosamente posible quitando los excesos de mezcla, y de ser probable no se deben mover hasta el desencofrado. Sin embargo, por cuestiones de trabajo en los laboratorios de producción de concreto premezclado, se es necesario mover estas muestras, ya que el lugar de trabajo debe ser desocupado para ejecutar más ensayos sobre la misma mesa de trabajo.



Ilustración 10. Elaboración de especímenes de concreto. a) compactación b) chipoteado c) enrase.

Consideraciones

- **Fraguado:** El fraguado de los especímenes de concreto generalmente está comprendido entre 16 a 32 horas. Sin embargo, este tiempo puede variar acorde al tipo de concreto producido, si se trata de mezclas de fraguado retardado, los tiempos pueden incrementar 20 ± 4 horas adicionales.
- **Curado:** El procedimiento de curado de los especímenes de concreto tanto para cilindros como para vigas, se realiza en tanques que contienen controladores de temperatura y la adición de cal según lo establecido en la normatividad.
- **Pruebas de resistencia:** La realización tanto de especímenes cilíndricos de concreto como de vigas de concreto (sin refuerzo), en la planta del Grupo San Pío, comprende la elaboración de 11 cilindros o vigas por cada 40 m^3 de un tipo de concreto, distribuidos de la siguiente manera; 3 ejemplares para fallar a tres días, 3 para fallar a 7 días, 3 para fallar a 28 días y 2 especímenes para 90 días, sujeto a cambios según lo establezca el supervisor técnico.



Ilustración 11. Máquinas de compresión axial y flexión de especímenes cilíndricos y vigas rectangulares respectivamente.

5.7. Otros ensayos

El plan de calidad de producción del concreto premezclado incluye otras normas técnicas que se salen del alcance del estudio de este trabajo, debido a que estos ensayos son realizados por otro personal de laboratorio, sin embargo, se listan las normas técnicas que se desarrollan en la planta de concreto con el fin de dar cumplimiento a la normatividad colombiana para la ejecución de la actividad económica. Estas normas son las siguientes:

- NTC 78, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 μm en agregados minerales.
- NTC 92, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- NTC 127, 2000. Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
- NTC 129, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la toma de muestras de agregados.
- NTC 174, 2000. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto.
- NTC 176, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- NTC 237, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

- NTC 673, 2010. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- NTC 2871, 2018. Concretos. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión utilizando una viga simple con carga en los tercios medios.
- Y las demás señaladas en la NTC 3318, 2018.

6. Resultados de la práctica

6.1. Ensayos

El desarrollo de práctica consiste en realizar ensayos a las muestras que servirán de criterio de calidad de la producción despachada a los lugares de colocación de la mezcla, de acuerdo con las especificaciones solicitadas por el cliente previamente y los estándares de calidad certificados bajo las normas técnicas colombianas, las pruebas son las siguientes:

1. Tamizado de agregados finos y gruesos para concreto, NTC 77.
2. Toma de muestras, NTC 454.
3. Asentamiento al concreto, NTC 396.
4. Toma de temperatura, NTC 3357.
5. Masa unitaria y rendimiento volumétrico del concreto, NTC 1926.
6. Contenido de aire del concreto, NTC 1032.
7. Especímenes cilíndricos y rectangulares de concreto, NTC 1377.

6.2. Tipos de concreto

La ejecución de las obras de construcción, se basan en los lineamientos especificados en los planos y dados por los especialistas, dentro de los cuales se encuentran los planos de resistencia a compresión axial, por corte y por torsión, de los elementos de soporte de la estructura, es debido a esto, que las especificaciones del concreto varían constantemente según el elemento a vaciar, lo cual conlleva a diseñar y enviar desde la planta de producción a las obras, diferentes tipos de concretos, entre la variedad existente, la planta del Grupo San Pío maneja las siguientes tipos:

1. Concreto simple o plástico de resistencias que varían desde 17 MPa hasta 48 MPa, bombeables y no bombeables, siendo la resistencia de 21 MPa la más habitual.
2. Concreto acelerado a 3 o 7 días, a diferentes resistencias.
3. Concreto fraguado retardado.
4. Concreto fraguado acelerado.
5. Concreto de baja permeabilidad.
6. Concreto baja permeabilidad más fibra.
7. Concreto autocompactante.
8. Grout.

9. Concreto antideslave.

10. MR, módulos de resistencias altas, generalmente para pavimentos de concreto.

A cada tipo de concreto se le hacen las mismas pruebas y la misma cantidad de cilindros, o según lo establezca el supervisor técnico.

6.3. Caso de estudio

Los siguientes datos corresponden a la información primaria que se obtiene de la muestra de concreto obtenida de una Mixer, dicha muestra se obtiene aleatoriamente dentro de la programación de viajes y dentro de los 40 m³ de tipo de concreto, que establece la NSR-10 en el Capítulo C.5.6, a fin de obtener parámetros que caractericen la referencia de concreto.

Los datos listados a continuación, son de una muestra elegida aleatoriamente y solo son usados para fines de estudio del presente informe.

6.3.1. Características del concreto de muestreo

I. Información primaria (aval de la producción del concreto)

Remisión del concreto	
Obra	Sin información
Dirección de obra	Sin información
Referencia concreto	C-28-19MM-7-B-MRS
Asentamiento requerido en obra (pulg)	7 ± 1
Conductor	Sin información
Hora de cargue del concreto	Sin información

Tabla 6. Información básica de despacho del concreto.

II. Información secundaria¹⁵ (ensayos de laboratorio)

Una vez se dispone de la mezcla de concreto en la zona adecuada del laboratorio, se procede inmediatamente a realizar los ensayos pertinentes, donde se obtiene la información secundaria de cada prueba -NTC 396, NTC 1926, NTC 1032 y NTC 1377- (ver Tabla 7).

Datos de los ensayos de la muestra de concreto	
Temperatura (°C)	28,50
Asentamiento en planta (cm)	21,00
Peso (kgf)	24,43
Contenido de aire (%)	2,00
Cilindros (Quien los hace)	Sin información
Hora cilindros (Hora)	Sin información
Cantidad de cilindros	11

Tabla 7. Datos de los ensayos de laboratorio.

¹⁵ Estos datos se refieren a la información recolectada de cada ensayo realizado una vez se dispone de la mezcla.

Finalmente, se procede a la obtención de los datos de todos los cilindros una vez se ha finalizado el tiempo de curado requerido; para luego proceder con la falla de los especímenes mediante la aplicación de la norma NTC 1377 y determinar la resistencia a la compresión axial, con el objetivo de realizar los análisis pertinentes sobre el concreto puesto en la obra a la cual se le saco muestra del camión y de igual forma estimar de forma aproximada características de resistencia dentro del rango de bachada en la cual se obtuvo la muestra.

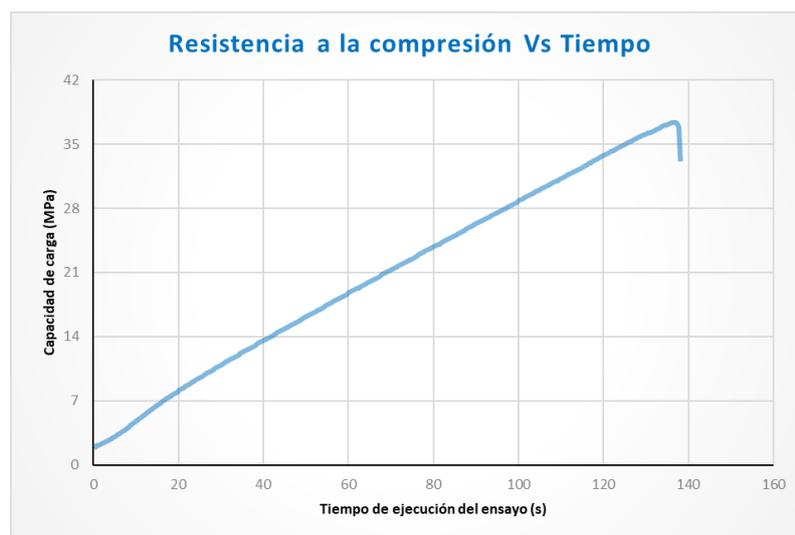
6.4. Resultados del caso de estudio

6.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto

I. Información del espécimen 3 fallado a 7 días

Ítem	Especificación	Comentarios
Tipo de mezcla	C-28-19MM-7-B-MRS	Concreto de resistencia a la compresión de 28 MPa a 7 días
Edad cilindro (días)	7	Estos datos corresponden al cilindro 3
Altura cilindro (mm)	202,23	
Diám. Cilindro (mm)	101,83	
Masa (kg)	3986,00	
Vel. Máquina (MPa/s)	0,20	
Carga final de falla (kN)	304,40	
Carga especifica (MPa)	37,38	

Tabla 8. Resultados ensayo de compresión axial del cilindro 3.



Gráfica 1. Resistencia a la compresión axial Vs Tiempo, cilindro 3.

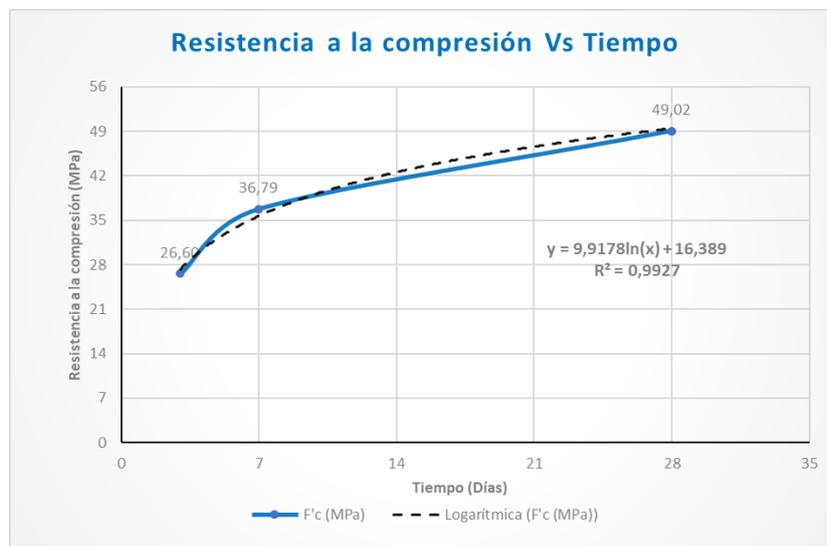
La Gráfica 1 muestra el comportamiento lineal durante el proceso de falla del espécimen 3, a la edad de curado de 7 días de una muestra de concreto aleatoria. Nótese que la capacidad de carga

máxima del espécimen fue de 37,38 MPa, lo que significa un incremento adicional del 33 % en su desempeño mecánico sometido a carga axial.

II. Prueba 1, registro de fallo

Registro de fallo - C-280-19MM-7-B-MRS						
Cilindro	Resistencia 3 días		Resistencia 07 días		Resistencia 28 días	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
1	26,8	95,6%	36,4	130,2%	49,2	175,6%
2	26,3	93,9%	36,3	129,6%	49,5	176,7%
3	26,7	95,5%	37,6	134,3%	48,4	172,9%
Promedio	26,6	95,0%	36,8	131,4%	49,0	175,1%

Tabla 9. Registro general de fallo a compresión axial de la prueba 1.



Gráfica 2. Resistencia a la compresión Vs tiempo de la prueba 1.

La Gráfica 2 muestra el comportamiento exponencial del registro de falla de los especímenes de concreto, de esta gráfica se obtienen las proyecciones para determinar las resistencias a la compresión de la muestra según se desee. Además, se puede decir que incluso el concreto puede alcanzar mejores desempeños, inclusive cuando se posee teóricamente el valor máximo (28 días) de resistencia.

6.4.2. Registros de carga

Los registros de carga como su nombre lo indica, son las cantidades de cada material despachado para producir una resistencia y cantidad de concreto determinada. Estas cantidades varían de acuerdo con las proporciones de diseño previamente calculadas.

Los siguientes datos de registro de carga, representan información de dos muestras elegidas aleatoriamente y solo se usan con fines de carácter académico.

I. Registro de carga 1

Concreto (MPa) = 21

Descripción = C-21-25-28-B-EMAX

Metros (m³) = 7,5

Registro de carga						
	Valor teórico	Valor real	Diferencia	Diferencia (%)	Humedad (%)	Absorción (%)
Grava 3/4 " (kg)	7345	7345	0	0	0,9	0,92
Arena concreto (kg)	7297	7305	8	0,11	8	2,19
Arena fina (kg)	779	780	1	0,13	6,5	2,6
Cemento (kg)	1995	1997	2	0,1	-	-
Cenizas (kg)	173	173	0	0	-	-
Agua (lt)	809,05	813	3,95	0,49	-	-
Sikaplast 5500 (lt)	0	0	0	0	-	-
Plastiment AD40 (lt)	0	0	0	0	-	-
Dynamon SR100 (lt)	10,35	10,35	0	0	-	-
Mapeplas SR18 (lt)	3,825	3,86	0,035	0,92	-	-

Tabla 10. Registro de carga de 7,5 m³ para un concreto de 21 MPa.

De las Tablas 10 y 11 se puede observar que las mezclas de concreto estándar premezclado en planta se componen de dos aditivos químicos, retardantes y plastificantes, esenciales para cumplir las funciones de ahorro en la cantidad de agua y, que la mezcla no pierda manejabilidad durante el tiempo de viaje.

II. Registro de carga 2

Concreto (MPa) = 21

Descripción = C-21-25-28-B-EMAX

Metros (m³) = 6

Registro de carga						
	Valor teórico	Valor real	Diferencia	Diferencia (%)	Humedad (%)	Absorción (%)
Grava 3/4 " (kg)	5876	5885	9	0,15	0,9	0,92
Arena concreto (kg)	5734	5725	9	0,16	6	2,06
Arena fina (kg)	623	630	7	1,12	6,5	2,6
Cemento (kg)	1596	1595	1	0,06	-	-
Cenizas (kg)	138	152	14	10,14	-	-
Agua (lt)	750,41	754	3,59	0,48	-	-
Sikaplast 5500 (lt)	0	0	0	0	-	-
Plastiment AD40 (lt)	0	0	0	0	-	-
Dynamon SR100 (lt)	8,28	8,27	0,01	0,12	-	-
Mapeplas SR18 (lt)	3,06	3	0,06	1,96	-	-

Tabla 11. Registro de carga de 6 m³ para un concreto de 21 MPa.

6.5. Análisis de resultados

Una vez realizado los ensayos al concreto, y obtenido la información secundaria de dichas pruebas, los valores intuitivamente proporcionan una idea de la calidad del concreto, es decir, de los resultados mostrados en la Tabla 7, todos los datos representan “estadísticamente” signos positivos para el productor, siendo 28 °C una temperatura adecuada y que no se sale de los rangos establecidos en la norma para la producción del concreto, un asentamiento de 21 cm (8,2 pulg) que igualmente está comprendido dentro de la desviación estándar normalizada y perfecto para las condiciones de bombeo solicitadas por el cliente, un contenido de aire de la mezcla del 2 % implica que la porosidad o contenido de vacíos del concreto es bajo, también a partir del valor del peso de 24,43 kg obtenido mediante el correspondiente ensayo, lo que significa un peso específico superior a los 2,4 kg/m³, o sea un concreto pesado. Todas las variables anteriores pueden dar evidencias para suponer en primera instancia, que el concreto preparado posee buenas características mecánicas. No obstante, si los especímenes de concreto no se culminan con el procedimiento de curado adecuado y demás técnicas de calidad las resistencias de diseño pueden verse afectadas.

De acuerdo con la Tabla 9, del registro de falla a la compresión a la edad de 3, 7 y 28 días de los especímenes cilíndricos, tres para cada edad, se pueden inferir varias características importantes, en primer lugar, se puede evidenciar el potencial crecimiento en la resistencia a la compresión axial de las dichas muestras. En segundo lugar, se aprecia con facilidad la rapidez con la cual la mezcla adquirió la resistencia deseada, es decir, a la edad de 3 días los cilindros ya se encontraban en casi el 100 % de la resistencia de diseño, para la edad de 7 días ya superaban en más de 1,3 veces la resistencia solicitada y para la edad de 28 días, los especímenes alcanzaron un 175 % más del desempeño requerido por el cliente. En tercer lugar, los datos dan a entender la uniformidad con la cual fueron realizados cada uno de los cilindros de concreto, lo que significa en otras palabras, el buen desempeño que posee la persona que realizó las muestras, realizando el mismo número de golpes, la compactación al mismo ritmo y el mismo número de chipotazos a todos los cilindros. En cuarto lugar, de los resultados se puede especular que las muestras pasaron por un proceso de curado. Y finalmente, de los desempeños de resistencia a la compresión se puede decir que posiblemente se presentó un sobre diseño de la mezcla de concreto, sin embargo, esta deducción queda a criterio de la experiencia del personal que constantemente está revisando los registros de falla de otras muestras y, además del conocimiento que se tenga sobre el comportamiento de la calidad de los agregados del concreto con los cuales se trabaja constantemente.

De los registros de carga de las Tablas 10 y 11 es posible observar una mínima diferencia porcentual en los valores de carga teóricos y reales de cada material que componen la mezcla de concreto. De esto es posible aseverar que, el sistema de dosificación con el cual cuenta la planta y a su vez, el operador que controla la misma, están cumpliendo la labor de propiciar las cantidades adecuadas, lo que indica que no se están generando sobrecargas o en su defecto deficiencias de los materiales que conforman la mezcla solicitada por el cliente. Además, se puede observar que sumando las cantidades de los materiales que componen cada mezcla, estas

superan los 2400 kg/m^3 , tratándose de concretos pesados que pueden aportar a la resistencia nominal de la bachada puesta en obra.

Comparando las columnas de humedad en las tablas de registro de carga, es importante resaltar la variación que se presenta para el material de arena de concreto, esta variable debe de estar siempre controlándose debido al constante cambio en las condiciones climáticas que se presentan durante el día, mediante ensayos de humedad y en ocasiones por experiencia del supervisor a cargo. Nótese adicional, el porcentaje que representan los aditivos químicos en la dosificación, el plastificante y retardante representan 0,5 % y 0,2 % respectivamente, es decir, las mezclas para los diseños dados, representan una dosis mínima, pero efectiva en el concreto.

Referencias bibliográficas

Normas técnicas

- NTC 77, 2018. Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
- NTC 78, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 μm en agregados minerales.
- NTC 92, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- NTC 127, 2000. Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
- NTC 129, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la toma de muestras de agregados.
- NTC 174, 2000. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto.
- NTC 176, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- NTC 237, 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
- NTC 396, 1992. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
- NTC 673, 2010. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- NTC 1032, 2013. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión.
- NTC 1377, 2010. Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.
- NTC 1926, 2007. Concretos. Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto.
- NTC 2871, 2018. Concretos. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión utilizando una viga simple con carga en los tercios medios.
- NTC 3318, 2008. Producción de concreto.
- Norma INVIAS, INV 410 – 13, 2013. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayo de materiales para carreteras. Ministerio de transporte. Bogotá, Colombia.
- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10 (Enero, 2010). Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Bogotá, Colombia.

Autores individuales

- Love, T (2006). El concreto en la construcción. México. Trillas.

- Olguin de la Mora, Diego Fernando (2016). Proceso de producción de agregados pétreos y su control de calidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, DF.
- Moreno, Juan Diego (2018). Materiales cementantes suplementarios y sus efectos en el concreto. Blog “360enconcreto”. Tomado desde: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/efectos-de-cementantes-suplementarios>
- Silva, Omar Javier (Marzo, 2016). Generalidades y tipos de aditivos para el concreto según la NTC 1299. Blog “360enconcreto”. Tomado desde: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto>