



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Apoyo en el plan de calidad en la producción de
concreto**

Autor

Jarib López Corrales

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2019



Apoyo en el plan de calidad en la producción de concreto

Realizado por:

Jarib Eliasaf López Corrales

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil.

Asesores

Edwin Fabián García Aristizábal

Ingeniero Civil

Karen Vanessa Henao Garcés

Ingeniera Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental.

Medellín, Colombia

2019

RESUMEN

Este informe pretende presentar las actividades realizadas en la práctica académica, la cual, se desarrolló en la planta de concretos del Grupo San Pío S.A.S. entre los meses de abril y octubre del 2019. Así mismo, se describen las labores realizadas, las cuales, en su mayoría consistieron en la realización de ensayos de laboratorio a muestras representativas de la producción diaria de concreto, cada una de estas basadas en la metodología descritas en las respectivas normas que las rigen. Es necesario mencionar que para algunos ensayos sus respectivas normas describen alternativas en las metodologías e instrumentos a utilizar, sin embargo, este informe se limita a explicar únicamente los métodos utilizados sin abordar las otras metodologías.

Los conceptos aquí definidos fueron descritos de una manera práctica, sin entrar en tecnicismos o profundizar en las bases teóricas de los mismo, sino más bien descritos de acuerdo con lo que se pudo observar en el trabajo diario y el conocimiento práctico logrado con la realización de cada una de las labores durante el proceso de prácticas.

Por último, sin bien no hacía parte de las labores de la práctica, se presentan unos cálculos con base en los resultados obtenidos de los ensayos realizados y un análisis de estos resultados, con la finalidad de dar un enfoque y presentar la utilidad de los mismos.

ÍNDICE

| | |
|----------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| OBJETIVOS | 5 |
| MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| METODOLOGÍA..... | 15 |
| CÁLCULOS | 28 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS | 29 |
| CONCLUSIONES..... | 34 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

INTRODUCCIÓN

En las obras civiles, los materiales de construcción tienen un papel crucial para el cumplimiento de los objetivos planeados, ya que, son los elementos que componen cada actividad constructiva. De la calidad de los materiales, así como de su disposición y viabilidad económica depende gran parte del éxito de la obra.

El Grupo San Pío es una empresa Antioqueña con más de 57 años de experiencia en el mercado, su origen fue encaminado a la distribución y comercialización de materiales para la construcción. La empresa, con los años fue diversificando su actividad económica y profundizando cada vez más en las necesidades del sector de la construcción. En la actualidad, Grupo San Pío además de ser distribuidor y comercializador de materiales para la construcción, es productor de concretos, prefabricados de pequeño formato, venta de agregados y figuración de hierro.

En el caso de la producción de concretos, el proceso productivo, de control y calidad están establecidos bajo los lineamientos de la NSR-10 en el Capítulo C y bajo las NTC (Norma Técnica Colombiana) a las que está remite. Además, todas las materias primas son adquiridas de fuentes confiables y de procesos productivos estandarizados, todo lo anterior permite la producción de concretos de alta calidad. Antes del despacho del concreto a este se le realizan los ensayos requeridos por la norma, como lo son:

- Toma de muestras (NTC 1377)
- Asentamiento (NTC 396)
- Rendimiento Volumétrico (NTC 1926)
- Aire (NTC 1032)
- Ensayo de Temperatura (NTC 3357)
- Elaboración y curado de especímenes de Concreto (NTC 1377)

De esta manera, el semestre de industria (práctica académica) al que este informe hace referencia, consiste en la realización de los ensayos antes mencionados, los cuales, se realizan diariamente a cada tipo de concreto, cuantas veces sea necesario de acuerdo con el volumen de producción tal como se describe en la metodología; convirtiéndose de esta manera en el primer filtro para la verificación de la calidad de la producción diaria de concreto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Apoyar en la realización de los ensayos necesarios para la liberación del concreto hidráulico producido, de acuerdo con la normativa vigente y según la frecuencia de ensayos establecidos en esta y en el plan de calidad de Grupo San pío S.A.S.

Objetivos Específicos

- Realizar a cada tipo de mezcla (con base en la norma que los rige) los ensayos de asentamiento (Norma NTC 396), rendimiento volumétrico (Norma NTC 1926), contenido de aire (Norma NTC 1032) y control de temperatura (Norma NTC 3357)
- Presentar el significado y uso de los resultados obtenidos de la realización de los ensayos
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos, a fin de presentar la importancia de los mismos

MARCO TEÓRICO

El concreto es un material compuesto utilizado ampliamente en el mundo de la construcción; este se compone principalmente de agua, cemento, agregados (grava y arena) y aditivos según el tipo de mezcla y sus especificaciones. Cuando estos elementos se combinan forman una mezcla uniforme, maleable y plástica. Las características principales que debe cumplir un concreto son las de durabilidad, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. Cabe mencionar que en cuestión de resistencia la principal característica estructural del concreto es la resistencia a esfuerzos de compresión, sin embargo, su comportamiento no es adecuado frente a esfuerzos de tracción, flexión y cortante, por lo cual, se complementan con refuerzo de acero, recibiendo en este caso el nombre de concreto reforzado.

En la mayoría de los casos el aglomerante usado en las mezclas es cemento portland, el cual, surge de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y molidas; de esta mezcla resultan partículas de entre 3 y 30 mm llamadas Clínger. Finalmente, de la molienda de estas partículas resulta el cemento, al cual, se le agrega una pequeña cantidad de yeso, este, es útil para disminuir la contracción en el fraguado de la mezcla y regular el fraguado inicial del cemento portland.

LA norma NTC 30 establece para Colombia la clasificación de los cementos portland de acuerdo con sus cualidades, sus usos y la dosificación de los componentes, de la siguiente manera:

- Tipo 1: Obras de concreto en general
- Tipo 1M:Obras de concreto en general con resistencia superior que el tipo 1
- Tipo 2: Obras expuestas a la acción moderada de sulfatos
- Tipo 3: Alta resistencias iniciales
- Tipo 4: Bajo calor de hidratación
- Tipo 5: Alta resistencia a la acción de los sulfatos

Además, los cementos tipo 1, 1M, 2 y 3 se les puede adicionar material incorporado de aire durante la pulverización. Sin embargo, para efectos de este informe se utilizarán concretos producidos con cemento Tipo 2.

Al mezclarse el cemento Portland con el agua, se genera inicialmente un producto con propiedades plásticas, sin embargo, con el transcurrir de tiempo este se va solidificando por un proceso conocido como fraguado; este sucede a causa de un fenómeno químico llamado hidratación mineral. Inicialmente en el fraguado inicial la mezcla pierde plasticidad y se convierte en una pasta semisólida, esto, sucede alrededor de las primeras 10 horas, sin embargo, este tiempo puede llegar a ser mayor o menor de acuerdo con la influencia de los aditivos, cantidad de agua, finura del cemento y temperatura de los materiales que la componen . El fraguado

final es un proceso en el que el concreto se endurece progresivamente hasta alcanzar su resistencia total.

La relación agua cemento [A/C], que relaciona la cantidad de agua vs la cantidad de cemento en la mezcla, es la condición que va a controlar algunos de las principales características de esta, por ejemplo, en una mezcla con una relación agua cemento baja, es decir en donde se incrementa la cantidad de cemento o se reduce la cantidad de agua, produce entre otras las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Menores cambios de volumen por los cambios de temperatura
- Mayor cohesión en la mezcla y mejor adhesión en los elementos de concreto reforzado
- Disminución en la contracción y fisuramiento
- Disminución en la permeabilidad
- Incremento en la resistencia a la compresión y a la flexión

Desventajas:

- Incremento del costo de producción (Valor del cemento)
- Pérdida de la trabajabilidad
- Carencia de agua que impide un proceso de hidratación óptimo
- Proceso de fraguado prematuro

Otro aspecto de suma importancia en el concreto es la homogeneidad de la mezcla, en esta, los agregados se encuentran en suspensión, la mezcla es maleable, uniforme y no hay riesgo de que se presente segregación. Además, esta debe presentar una consistencia tal que las partículas no tiendan a separarse con facilidad, de modo que una vez endurecido el concreto todas las partículas hayan quedado correctamente distribuidas, esto se logra a través de un correcto proceso de mezclado y permitirá que el producto logre alcanzar las especificaciones de diseño.

Agregados

Los agregados según se define en la NSR-10 son todo "Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulicos" (NSR-10, 2010)

Los agregados suelen clasificarse comúnmente en gruesos y finos. Los gruesos generalmente son material de río, triturado de río o triturado de canteras, y se clasifican como las partículas retenidas en el tamiz número 16 (1.18mm) y con un tamaño máximo de 150 mm. Sin embargo, para la elaboración de concreto se suele utilizar un tamaño máximo de 19 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.) o 25 mm (1 pulg.). Los

agregados finos son partículas cuyo tamaño llega hasta 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ Pulg.). Una condición muy importante para obtener un concreto de buena calidad es que los agregados se encuentren bien gradados, es decir, que su distribución granulométrica (distribución de tamaño de partícula) sea variada.

Las proporciones de la mezcla, así como sus características pueden variar de acuerdo a los agregados que la componen, es decir, agregados de diferentes canteras o ríos pueden causar cambios importantes en un concreto debido a sus propiedades intrínsecas, como absorción, textura, forma, densidad, dureza, resistencia, entre otras. Por ejemplo, un agregado con un tamaño máximo mayor, necesita menor cantidad de pasta (mezcla de agua con cemento y finos) para ser cubierto por ella, por lo tanto, requiere de menor cantidad de agua y de cemento para la mezcla. De esta manera una buena elección del agregado influirá directamente en aspectos como la calidad y costo del concreto. También, al determinar la humedad y la absorción de los agregados se podrá controlar la cantidad de agua necesaria para el diseño del concreto. De modo que, la elección de los agregados generará modificaciones en la composición de la mezcla tales como, las proporciones de los materiales, trabajabilidad, economía, bombeabilidad, retracción, resistencia, contenido de aire, densidad y durabilidad.

Los agregados pueden llegar a constituir entre un 60% y un 85% en una mezcla de concreto hidráulico, por lo tanto, la selección de agregados de alta calidad termina siendo de suma importancia. Estos deberán soportar los esfuerzos que se generan en el elemento vaciado, es decir que su resistencia mecánica debe ser adecuada, de la misma manera, en la mayoría de los casos, deben estar expuestos al medio ambiente, y deben tener resistencia a las diferentes condiciones de exposición. De esta manera, los agregados deben ser partículas limpias de químicos y materiales finos que afecten su adherencia con la pasta, durables y resistentes para ser considerados óptimos para su uso.

Ceniza volante y escoria

En la producción del concreto se pueden utilizar materiales adicionales como la ceniza volante, el humo de sílice, las puzolanas y la escoria de alto horno, las cuales usadas en combinación con el cemento mejoran las propiedades del producto final; estos materiales se emplean como parte del contenido cementante de la mezcla.

Además, su función principal es la de controlar la reacción álcali-agregado; la cual, genera un deterioro en la estructura de concreto y ocurre cuando algunos materiales activos en los agregados (especialmente sílice) reacciona con los hidróxidos de álcalis en el cemento. Este fenómeno ocasiona grietas y fisuras en el concreto.

Cenizas volantes

La norma NTC 3493 define las cenizas volantes como “los residuos finos que resultan de la combustión de carbón molido o en polvo”. Estas pueden contener propiedades puzolánicas y cementantes.” (ICONTEC, 2017)

Entre los beneficios de utilizar cenizas volantes en las mezclas de concreto podremos encontrar los siguientes:

- Requieren una menor cantidad de agua para un mismo asentamiento.
- Mejora la trabajabilidad de la mezcla
- Reducción en el sangrado y la segregación
- Disminuye el contenido de aire
- Menor liberación de calor de hidratación
- Retarda el tiempo de fraguado
- Puede mejorar la resistencia del concreto
- Reducción de la reacción álcali-sílice
- Mejora la resistencia al ataque de sulfatos

Escoria

La escoria siderúrgica de alto horno es un cemento hidráulico no metálico. La norma NTC 385 la define como un “material granular vítreo, formado cuando la escoria fundida en el alto horno es rápidamente enfriada, por inmersión en agua” (ICONTEC, 1999)

Entre los beneficios de utilizar escoria de alto horno en las mezclas de concreto podremos encontrar los siguientes:

- Requieren una menor cantidad de agua para un mismo asentamiento.
- Mejora la trabajabilidad de la mezcla
- Menor liberación de calor de hidratación
- Retarda el tiempo de fraguado
- Reduce la permeabilidad y absorción
- Reducción de la reacción álcali-sílice
- Mejora la resistencia al ataque de sulfatos

Aditivos

Adicionalmente, se puede llegar a modificar algunas características específicas de la mezcla añadiéndole a esta unos productos llamados aditivos químicos; estos, se rigen a lo establecido en la norma NTC 1299 y se clasifican de acuerdo a su función y encontramos principalmente entre muchos otros los siguientes:

- Reductores de agua
- Plastificantes
- Modificadores del tiempo de fraguado
- incorporadores de aire
- Impermeabilizantes

Los aditivos se suelen utilizar en la producción de concretos principalmente, bien sea para mejorar las propiedades del concreto o dotar de características o propiedades necesarias según su uso, y que solo son posibles obtener a través de estos productos. La eficiencia de los aditivos dependerá de diferentes factores como el agregado (forma, granulometría y dosificación), cemento (cantidad y tipo), entre otros. De esta manera, la dosis correcta del aditivo se deberá determinar por medio de pruebas y ensayos previos a la elaboración en producción del concreto.

La realización del presente informe se basa en concretos producidos principalmente con los siguientes aditivos:

- Aditivos plastificantes: Hacen que la mezcla pierda viscosidad volviéndose más fluida y dando mayor asentamiento, de esta manera logra al mismo tiempo una reducción en la cantidad de agua y por ende aumenta la resistencia del concreto. Esto, se debe lograr sin causar pérdida de la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, segregación y exudación; si se presentan estos fenómenos se puede decir que la mezcla quedó sobre-aditivada.
- Aditivos retardantes: Retrasan la velocidad de fraguado del concreto disminuyendo el calor de hidratación, de esta manera resultan muy útiles para el transporte y colocación del concreto ya que disminuyen la pérdida del asentamiento del concreto y por lo tanto la pérdida de la trabajabilidad.

En general un aditivo plastificante logra un efecto sobre la mezcla durante 30 o 60 minutos aproximadamente, para después perder rápidamente la fluidez. Una correcta combinación de un plastificante y un retardante en una mezcla permitirá obtener una mezcla con un asentamiento y trabajabilidad deseada durante un periodo más prolongado, en lo preferible, que dure en todo el tiempo de transporte y colocación de la misma. De hecho la norma NTC 3318 establece en su parte 6.2 “El concreto debe permanecer trabajable dentro del intervalo de asentamiento permitido, durante un periodo de 30 minutos medidos a partir de la llegada al sitio de trabajo” (ICONTEC, 2008)

- Aditivos acelerantes: Aceleran la tasa de liberación de calor de hidratación, es decir, reducen el tiempo en el que la mezcla pasa de su estado plástico a rígido. De esta manera, al mismo tiempo incrementan las resistencias tempranas. sin embargo, otro método muy utilizado para acelerar el

desarrollo de la resistencia es bajando la relación agua/cemento, es decir, incrementando la cantidad de cemento.

Los aditivos empleados para acelerar el fraguado se utilizan principalmente para situaciones en las que, bien sea, el clima evita el curado rápido o las condiciones de obra requieran un curado anticipado para continuar trabajos sobre el elemento vaciado. Por su parte los aditivos retardantes, son utilizados en situaciones en las que se necesite manipular la mezcla por mayor tiempo, ya sea porque el clima sea cálido, el concreto deba ser transportado a lugares lejanos o el vaciado sea realizado de manera lenta.

- Aditivos Impermeabilizantes: reducen la cantidad de agua que puede entrar al concreto, es decir, reduce la penetración del agua en el concreto. Algunos de estos aditivos funcionan incorporando aire al concreto, estas diminutas burbujas de aire evitan que el agua entre en el concreto.

Fibras

El propósito principal de las fibras es el de controlar las fisuras y grietas en el concreto, además, de aumentar la ductilidad de este. Esto se logra debido a que estas se distribuyen en toda la mezcla. Para efectos de este informe se presentarán resultados obtenidos con fibras sintéticas de polipropileno. Las fibras se pueden aplicar en la planta de producción o en obra previamente al vaciado dando tiempo a un mezclado correcto.

Fraguado

El proceso de fraguado en el concreto hidráulico se da como resultado de reacciones químicas por la hidratación del cemento. En este proceso el periodo inicial es aquel en el cual la mezcla pasa de un estado viscoso a un estado sólido o endurecido; esta fase llamada fraguado inicial puede ser inspeccionada fácilmente, aplicando una pequeña presión a la mezcla. Una vez cumplida esta etapa las reacciones químicas en el cemento no se detienen, sino por el contrario continúan y progresivamente van proveyendo a la mezcla de mayores resistencias mecánicas, esto, hasta que todos los componentes del cemento reaccionan y provocan un endurecimiento total en la masa alcanzando de esta manera la resistencia final y característica de la mezcla, a esta fase se lo conoce como fraguado final.

Poder controlar los tiempos de fraguado del concreto resulta demasiado útil, por ejemplo, sostener la fluidez del concreto permitirá manipularlo con facilidad durante este periodo de tiempo, concediendo un vaciado óptimo que evite cavidades, desperdicios o pérdida del concreto por haberse secado. Pero en caso

contrario, si se requiere construir varios elementos consecutivos sin esperar los tiempos comunes de fraguado, poder acelerar este proceso resulta beneficioso.

Paralelamente, existe un proceso conocido como 'curado'; este es de sumo cuidado y de suma importancia ya que asegura que el concreto una vez vaciado pueda desarrollar de manera adecuada sus propiedades y evita que se generen grietas producidas por contracción al irse secando el concreto. El proceso consiste según la norma NTC 551 en "mantener el material en condiciones de humedad y temperatura que garanticen la completa hidratación del cementante y el desarrollo de su resistencia potencial" (ICONTEC, 2007). Lo ideal es iniciar el proceso de curado una vez concluido el fraguado final.

Temperatura

La tasa de hidratación en el concreto se verá controlada en gran medida por la temperatura de los materiales al momento de la mezcla. Tener un control sobre la temperatura permitirá regular el tiempo de fraguado. Lo ideal es que la liberación del calor de hidratación sea primero lenta para facilitar el transporte y permitir la colocación de la mezcla habiendo perdido fluidez lo menos posible.

El concreto puede continuar ganando resistencia por un periodo de tiempo prolongado siempre y cuando las condiciones de temperatura en el concreto sean favorables. Por ejemplo, si la temperatura del concreto es muy elevada la pérdida de humedad en el mismo será más rápida; cuando la humedad sea tan baja que se detenga el proceso de liberación calor de hidratación, en ese momento el concreto dejará de ganar resistencia. De esta manera, se puede decir que temperaturas bajas dará como resultado resistencias a edades tempranas bajas, pero, resistencias finales mayores, es ahí en donde toma gran relevancia el proceso de curado. Además, se puede decir que temperaturas iniciales altas producen resistencias tempranas altas, pero finales bajas al hacer que la humedad desciende rápidamente como se mencionó anteriormente.

Consistencia del Concreto

La consistencia del concreto hace referencia a la plasticidad de esta, es decir, la facilidad con la que esta pueda ser manejada. En la manejabilidad del concreto influyen diferentes factores tales como la cantidad de agua de la mezcla, cantidad de aditivo plastificante, tamaño máximo y forma de los agregados y la distribución granulométrica. Todo esto debe de dar como resultado un concreto maleable, pero, evitando la segregación.

La consistencia suele ser una especificación del constructor, esta, depende de la colocación del concreto en obra, elemento a vaciar, los medios que se utilizaran para vaciar y compactar, tipo de concretos, entre otros. El método comúnmente usado para determinar la consistencia es el cono de Abrams, cuyo procedimiento se describe más adelante.

Hay diferentes factores que influyen en el grado de manejabilidad, tales como:

- Agregados (forma, textura y tamaño)
- Temperatura del concreto
- Cantidad de cemento
- Cantidad de aire incluido
- Aditivos
- Método y duración de transporte a obra.

La trabajabilidad tiene impacto en factores como el riesgo de segregación, bombeabilidad, traslado, sangrado y textura del acabado. Por lo tanto, resulta de suma importancia encontrar el punto exacto de la humedad de la mezcla, ya que una mezcla muy húmeda no es necesariamente sinónimo de buena manejabilidad, debido a que esta puede producir segregación, desperdicios mayores y mala distribución de las partículas de la mezcla. Sin embargo, si la mezcla es muy seca, dificulta la colocación y compactación de la misma.

Mezclado

En este proceso se debe de garantizar la combinación de todos los componentes del concreto de modo tal que la mezcla sea homogénea y todas las partes queden perfectamente distribuidas. Algunos factores pueden garantizar un mezclado adecuado, como la secuencia de carga o el orden en el que se deposite cada componente de la mezcla en la mezcladora. Sin embargo, No existe una única secuencia correcta, y diferentes formas pueden producir concretos de alta calidad.

Patologías

Sangrado o exudación

El sangrado es la formación de una capa de agua en la superficie del concreto recién colocado, esta se forma por el asentamiento o descenso de las partículas sólidas a la par que el ascenso del agua a la superficie. En principio, el sangrado es algo normal, y puede generar a priori dos efectos:

- Un nivel leve de sangrado, es decir, una pequeña capa de agua, no perjudica la calidad y resistencia del concreto siempre y cuando el proceso de curado sea el adecuado, incluso esto podría ser benéfico controlando la fisuración superficial por retracción.
- Una exudación excesiva, empobrece las capas intermedias, genera una capa superficial débil y fragmentable en el corto tiempo. además, sucederá un fenómeno llamado retracción por sedimentación, la cual genera una disminución en la altura de la superficie del volumen total de concreto colocado.

El sangrado puede ser controlado toda vez que se controle la cantidad de agua, ya que una cantidad excesiva de agua aumenta la posibilidad del sangrado. De la misma manera, el sangrado se puede controlar con aditivos, materiales cementantes adicionales al cemento hidráulico, y una granulometría adecuada de los agregados.

Segregación

Es el fenómeno en el cual, la grava se separa de la pasta y desciende al fondo de la mezcla, de esta manera la mezcla no será homogénea y no podrá desarrollar sus características de manera óptima. Además, la manejabilidad, la colocación y compactación del concreto se verá afectada en gran manera y ocasionará poros excesivos y coqueras en la estructura.

La segregación se puede identificar a simple vista, ya que la apariencia de la mezcla cambia radicalmente en presencia de este fenómeno; en esta la mezcla se ve dividida en dos partes, la parte inferior en la que se encuentra el material grueso y la superficial en donde la mezcla del agua, cemento y material fino no forman una pasta viscosa sino más bien totalmente fluida y sin cohesión, tal como se muestra en la imagen 1.



Imagen1 Mezcla segregada (Izquierda) y mezcla homogénea (Derecha). Fuente: Propia

Efecto de los vacíos

Dado las diferentes condiciones de exposición al ambiente a las que se puede ver enfrentada una estructura de concreto; en donde se pueden encontrar diferentes agentes agresivos que deterioran la integridad del mismo, se ha descubierto que al contener un determinado contenido de aire la estructura reacciona mejor al ataque de estas sustancias. Sin embargo, se debe tener cuidado con el contenido total de aire, el cual, se mide en porcentaje en relación con el volumen total. Un porcentaje muy alto de contenido de aire pueden llegar a disminuir la resistencia

total a la compresión del concreto, y en caso contrario, un contenido de aire muy bajo puede no llegar a ser suficientes para la correcta protección de la estructura.

Los rangos y límites de contenido de aire se encuentran en la norma NTC 3318 de acuerdo con la condición de exposición como se muestra en la Tabla 1. La norma también incluye una tolerancia de +/- 1.5%.

Tabla 1 Contenido total de aire incorporado recomendado para concreto (ICONTEC, 2008)

| Condiciones ^(C) de exposición | Contenido total de aire % en volumen | | | | | | |
|---|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | Tamaño máximo del agregado en mm | | | | | | |
| | 9,5 | 12,5 | 19,0 | 25,0 | 37,5 | 50,0 | 75,0 |
| Suave | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 |
| Moderado | 6,0 | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,5 | 4,0 | 3,5 |
| Severo | 7,5 | 7,0 | 6,0 | 6,0 | 5,5 | 5,0 | 4,5 |

METODOLOGÍA

En la realización de los ensayos de calidad del concreto, existen diversos factores que pueden alterar los resultados de estos, como lo son: estado de los moldes y de los aparatos (mazo, varilla compactadora...), la correcta realización de los procedimientos de los ensayos, el estado de las herramientas, la planitud del mesón en donde se realizan los ensayos y se colocan los especímenes cilíndricos, la habilidad del laboratorista, entre otros.

El laboratorista debe de encargarse de supervisar el estado de todas las herramientas y aparatos utilizados, así como de la vida útil de estos, ya que, con el uso, estos se van desgastando y alejando de los requisitos exigidos en las normas técnicas antes mencionadas para cada caso. El correcto registro de los usos y estado de los aparatos, así como la calibración de estos, permitirá que los resultados de los ensayos sean representativos, y se encuentren dentro de los rangos exigidos por la norma. De esta manera, como metodología se propone la realización del registro y seguimiento de: los estados de los aparatos, moldes, herramientas; la correcta realización de las pruebas y muestreos; el estado del área de trabajo dando prioridad a los lugares que tienen influencia en la calidad de los ensayos, como lo son el mesón y los tanques con temperatura controlada para el curado de los especímenes.

Dado que la norma NSR-10 en su capítulo C5.6.2.1 exige que para cada clase de concreto y cada tipo de mezcla deben tomarse muestras representativas no menos de una vez al día, ni menos de una vez por cada 40 m³ producido o de 200 m² de superficie de muro o losa vaciada por día, y para concreto producido en obra un mínimo de una muestra por cada 50 tandas de mezclado en mezcladoras pequeñas. En Grupo San Pío se realiza el proceso de toma de muestras acorde a lo establecido en la norma, a las cuales corresponde hacer un seguimiento minucioso tal como se propuso anteriormente para que los resultados obtenidos

estén dentro del margen establecido por la norma; La metodología antes propuesta se resume y se ilustra en la siguiente imagen:

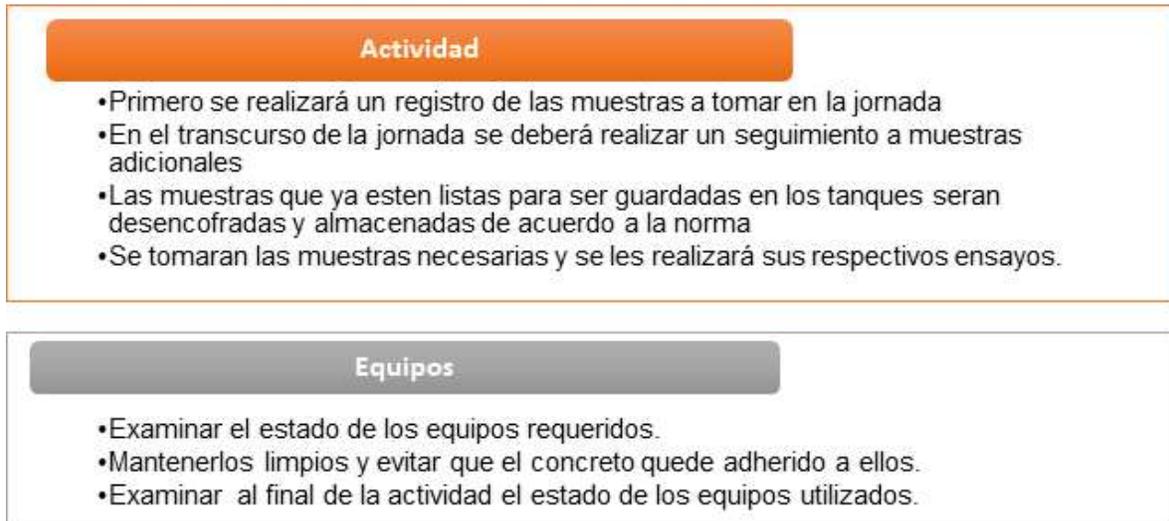


Ilustración 1 Metodología

Adicionalmente, se debe realizar un estudio minucioso de las normas precisadas anteriormente, para conocer al detalle la correcta realización de los ensayos ya mencionados, de esta manera, se asegurará que los resultados obtenidos sean representativos de las propiedades de la mezcla. La metodología para la realización de cada ensayo se describe continuación con base en sus respectivas normas:

NTC 454: Toma de muestras de concreto fresco(ICONTEC, 1998)

En esta norma se encuentran los procedimientos para la toma de muestras que representen la tanda de producción de concreto fresco, estas se toman de tandas aleatorias y sobre esta muestra se realizan los ensayos de asentamiento, contenido de aire, temperatura, volumétrico y la elaboración de especímenes de concretos, para verificación de los requisitos de calidad y especificaciones de este. Antes de la realización de los ensayos esta debe mezclarse con una pala, de modo tal que, se garantice la uniformidad de la misma. La imagen 2 presenta una muestra representativa.



Imagen 2 Toma de muestra

La muestra debe de ser protegida del sol, viento u otra fuente que pueda contaminarla. Antes de los primeros 5 minutos después de obtenida la muestra, se debe de iniciar con el ensayo de asentamiento o contenido de aire o ambos; y dentro de los 15 minutos siguientes se debe iniciar el moldeo de los especímenes para el ensayo de resistencia. En este sentido, entre la obtención de la muestra y su empleo para los ensayos de calidad debe ser tan corto como sea posible.

NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento (ICONTEC, 1992)

Este método consiste tal como lo resume la norma en colocar una muestra de concreto en un molde tronco cónico y compactarla mediante una varilla. “El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto” (ICONTEC, 1992) se debe tener especial cuidado en la toma de la media; esta, se debe realizar en el centro de la cara superior que se desplazó.

El procedimiento para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Se coloca el molde humedecido sobre una superficie horizontal, plana, humedecida y no absorbente. Esto último con el fin de que no absorba el agua de la mezcla. El molde se pisa firmemente y se llena en tres capas cada una de un tercio del volumen del molde tal como se muestra en la imagen 3.
- A cada capa se le aplican 25 golpes con la varilla con la finalidad de compactarla, estos golpes se deben distribuir en toda la sección transversal de la capa. Para la capa del fondo, los golpes deben atravesar todo su espesor, las otras dos capas, deben atravesar todo el espesor de la capa y penetrar ligeramente la capa inferior a ella. Ver imagen 4.

- Una vez concluido el procedimiento anterior, se debe enrasar la superficie del concreto con el borde superior del cono utilizando la varilla compactadora, como se muestra en la imagen 5.
- Posteriormente se debe limpiar el concreto que se derramó alrededor del cono para dejar libre la superficie como se puede ver en la imagen 6.
- Inmediatamente se comienza a levantar el molde de manera vertical en su totalidad durante 5 segundos \pm 2, esto se debe realizar con un movimiento uniforme hacia arriba, procurando no generar movimientos laterales o no inclinar el cono. Ver imagen 7.
- Una vez terminado este procedimiento, se debe de medir el asentamiento, el cual se determina con la diferencia de altura entre la parte superior del molde y el centro de desplazado de la superficie superior de la muestra tal como se ilustra en la imagen 8.



Imagen 3 Llenado del cono de Abrams



Imagen 4 Compactación con 25 golpes de varilla



Imagen 5 Enrasado de la superficie



Imagen 6 Limpieza alrededor del cono



Imagen 7 Levantamiento del cono



Imagen 8 Medición del asentamiento

En la realización de este ensayo es necesario tener las siguientes consideraciones:

- La operación completa de este procedimiento, debe de realizarse sin interrupción durante un tiempo máximo de 2 min, 30 segundos.
- Si al momento de levantar el cono, la muestra de concreto se derrumba o desprende hacia un lado, este ensayo debe rechazarse y repetirse con otra porción de la muestra.
- Si sobre dos ensayos consecutivos sucede el fenómeno descrito anteriormente, probablemente el concreto carece de la plasticidad y cohesión necesarias para la realización de este ensayo.

NTC 1032: Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión. (ICONTEC, 1994)

“El ensayo determina el contenido de aire del concreto recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que pueda existir dentro de los vacíos de las partículas de agregado.” (ASTM INTERNATIONAL, 2017.)

Este método de ensayo busca determinar el contenido de aire en el concreto fresco, como resultado del cambio de volumen observado en una muestra de concreto por un cambio de presión. Cabe mencionar que el contenido de aire del concreto una vez endurecido puede variar en comparación al resultado de este ensayo. Esto dependerá entre otros factores como:

- Los métodos y la cantidad de esfuerzo de compactación que se aplican al concreto endurecido en su proceso de vaciado.
- La uniformidad y estabilidad de las burbujas de aire en el concreto fresco y endurecido, y por lo tanto del tiempo transcurrido entre la comparación.
- La exposición al medio ambiente.

La Norma permite dos tipos de aparatos, sin embargo, para usos de este informe se utilizará el aparato tipo B que describe la norma. En este, en una cámara de aire sellada que se encuentra en la cubierta del aparato, se iguala un volumen de aire conocido, a una presión conocida, con un volumen desconocido de aire contenido en la muestra de concreto. Al momento de inyectar la presión de aire de la cámara a la muestra, el manómetro dará el resultado en términos de porcentaje de aire para la presión observada. La cubierta se muestra a continuación:

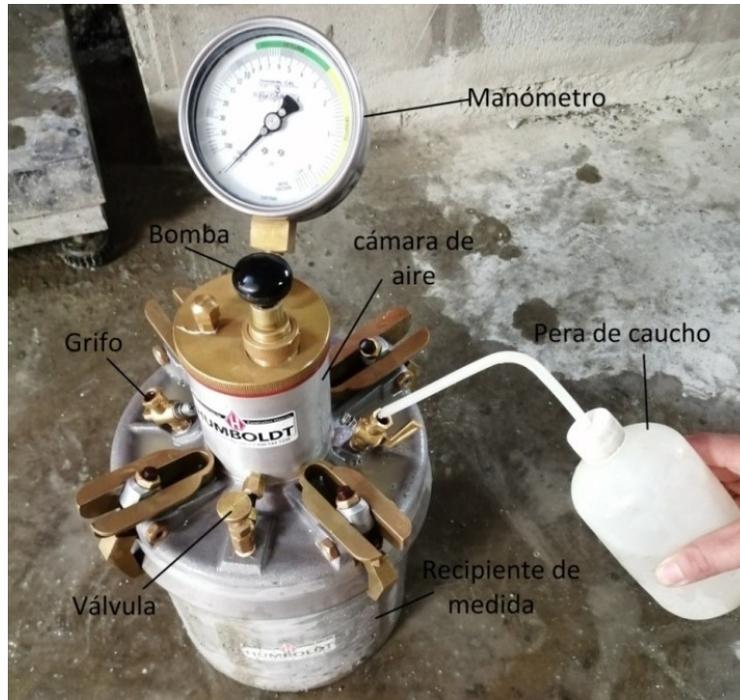


Imagen 9 Medidor de contenido de aire tipo B

El procedimiento para la realización del ensayo se describe a continuación:

- En el recipiente de medida humedecido, se coloca la muestra en tres capas iguales como se ve en la imagen 10.
- Se procede a compactar cada capa con 25 chuzones con la varilla compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal como se muestra en la imagen 11.
Al chuzar la primera capa no se debe tocar el fondo. En las capas superiores la capa debe penetrar cerca de 25 mm la capa previa.
- Adicionalmente, después de compactar con la varilla, se debe golpear los lados del molde entre 10 y 15 veces con un mazo tal como se ve en la imagen 12.
- Una vez terminado los procedimientos anteriores para cada capa, se procede a enrasar la superficie con ayuda de una barra de enrase, hasta dejar el concreto perfectamente al nivel del borde del recipiente, como se puede observar en la imagen 13.
- Se limpia completamente los bordes del recipiente para asegurar que la cubierta quede completamente ajustada al recipiente.
- Se ensambla la cubierta al recipiente, asegurando un sello hermético.
- Se cierra la válvula de aire.
- Con la pera de caucho se agrega agua por uno de los dos grifos (ver imagen 9) hasta que salga por el otro.
- Ahora se bombea aire hasta que la manecilla del manómetro esté en la línea de presión inicial. Se golpea suavemente el manómetro para asegurarse que la manecilla quede indicando 0%.

- Se cierra ambos grifos y se abre la válvula de aire.
- Se golpea suavemente el manómetro para estabilizar las manecillas.
- Se lee el porcentaje de aire en el valor que indica el manómetro.

El procedimiento se ilustra como en las siguientes imágenes:



Imagen 10 Llenado de la última capa del recipiente



Imagen 11 golpes con la varilla



Imagen 12 Golpes con el mazo



Imagen 13 Enrasado de la superficie

NTC 1377: Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. (ICONTEC, 1994)

La norma describe el procedimiento, los moldes y herramientas necesarias para la elaboración y curado de los especímenes de concreto para la prueba a la resistencia a compresión. En esta, se establece que se deben elaborar 3 o más especímenes para cada edad a ensayar, en donde de acuerdo con la norma las edades de ensayos más usadas son 3, 7, 28 días y para edades más avanzadas 3, 6 y 12 meses. Además, las muestras se deben realizar siempre que sea posible en el mismo lugar o lo más cerca posible de donde se van a almacenar las primeras 24 horas; esto para evitar movimientos, golpes o cualquier deformación una vez moldeados.

Con base en la norma a continuación se describe el procedimiento para la elaboración de los especímenes, para el tamaño de moldes empleados para usos de este informe:

- Con la ayuda de un cucharón se coloca el concreto en los moldes, asegurándose de escoger una parte representativa de la mezcla.
- Para moldes de hasta 300 mm, la norma establece que se deben llenar en 3 capas iguales.
- Posteriormente, se debe compactar la capa de concreto, por medio del método de apisonado con varilla (ver imagen 14), que para un espécimen de diámetro menor de 150 mm consiste en 25 golpes
- Los golpes se deben distribuir en toda la sección transversal y atravesando todo el espesor de la capa, además, de 25 mm en la capa inferior para las capas superiores.
- Seguidamente, se debe golpear de 10 a 15 veces con un mazo la parte exterior del molde. Como se puede observar en la imagen 15.
- Finalmente, se debe enrasar la superficie del concreto, generando una superficie lisa tal como se muestra en la imagen 16.



Imagen 14 Chuzones con la varilla



Imagen 15 Golpes con el mazo



Imagen 16 Enrasado

NTC 3357: Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico.(ICONTEC, 2006)

Para la medición de la temperatura de una muestra de concreto, es necesario la utilización de un aparato cuyo sensor sea de un material no absorbente y de una dimensión tal que, pueda ser sumergido por lo menos 75 mm en la mezcla de modo que, este pueda tener recubrimiento de concreto en todas las direcciones a su alrededor. Además de contar con una precisión de ± 0.5 °C.

NTC 1926: Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto. (ICONTEC, 2013)

La masa unitaria hace referencia a la masa por metro cúbico de concreto, a partir de esta, es posible realizar cálculos para determinar el rendimiento, el contenido de cemento, y el contenido de aire de concreto. El rendimiento lo define la norma como “el volumen de concreto resultante de la mezcla de cantidades conocidas de los materiales que lo componen” (ICONTEC, 2013)

La norma establece diferentes procedimientos y tamaños del recipiente en el que se realiza el ensayo; estos dependen del tamaño máximo nominal de agregado grueso. Dado que este informe se realiza bajo el análisis de concretos con un tamaño máximo nominal de 25 mm, el procedimiento aquí descrito es para este caso. El procedimiento para la realización de este ensayo es el siguiente:

- El recipiente se llena con el concreto en tres capas de igual volumen. (ver imagen 17)

- Cada capa se apisona con 25 golpes de la varilla, tal como se muestra en la imagen 18.
- La primera capa se apisona atravesando toda la profundidad, pero, sin golpear fuertemente el fondo del recipiente.
- Para las dos capas siguientes, la varilla debe atravesar toda su profundidad e introducirse aproximadamente 25 mm dentro de la capa anterior. Los golpes se deben distribuir en toda la sección transversal de manera uniforme, y el golpeo debe ser constante y de igual intensidad.
- Para cada capa, posteriormente a ser apisonada, se debe de golpear alrededor del recipiente de 10 a 15 veces con un mazo de aproximadamente 0,6 kg como se puede observar en la imagen 19.
Este paso se realiza con la finalidad de “cerrar cualquier vacío dejado por la varilla y liberar cualquier burbuja grande de aire que pueda haber quedado atrapada”(ICONTEC, 2013)
- Por último, se procede a retirar el exceso que sobresale del tope del recipiente, para así enrasar la superficie superior del concreto, tal como se ilustra en la imagen 20.
- En caso de que, al terminar la última tanda de golpes con el mazo, el nivel de concreto quede por debajo del tope del recipiente se puede agregar concreto para corregir esto, antes de enrasar.



Imagen 17 Llenado del recipiente de medida



Imagen 18 Compactacion con la varilla



Imagen 19 Golpes con el mazo



Imagen 20 Enrasado

Una vez realizado el procedimiento anterior se procede a pesar el recipiente lleno de concreto, de esta manera se procede a calcular la masa unitaria de acuerdo con la ecuación 1.

Una vez determinado el valor de la masa unitaria mediante el procedimiento anteriormente mencionado, la norma establece una serie de cálculos a realizar, los cuales se describen a continuación:

Masa unitaria [D]

$$D = \left(\frac{M_c - M_m}{V_m} \right)$$

Ecuación 1 Cálculo de la masa unitaria

En donde:

Mc- masa del recipiente lleno de concreto [kg]

Mm- masa del recipiente de medida [kg]

Vm- Volumen del recipiente de medida [m³]

Rendimiento [Y]

$$Y = \frac{M}{D}$$

Ecuación 2 Cálculo de rendimiento volumétrico

En donde

M- Masa total de los materiales en la tanda [kg]

Rendimiento relativo [R_y]

El rendimiento relativo hace referencia a la relación entre el volumen real del concreto producido y el volumen teórico para esa tanda.

$$R_Y = \frac{Y}{Y_D}$$

Ecuación 3 Cálculo de rendimiento volumétrico relativo

En donde:

Y_d- Volumen de concreto teórico de diseño [m³]

Un valor del rendimiento relativo mayor de 1 significa un exceso de concreto producido, y el caso inverso para un valor menor de 1.

Contenido de cemento [C]

$$C = \frac{C_b}{Y}$$

Ecuación 4 Cálculo del contenido de cemento

En donde:

C_b- Masa del cemento en la tanda [kg]

Contenido de aire

La norma propone dos ecuaciones, las cuales deben arrojar resultados similares y se presentan a continuación:

$$A = \left(\frac{T - D}{T} \right) * 100$$

$$A = \left(\frac{Y - V}{Y} \right) * 100$$

Ecuación 5 Cálculo del contenido de aire

En donde:

A- Contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto

T- masa teórica del concreto, asumiendo ausencia de aire [kg/m³]

V- Volumen total absoluto de los componentes en la tanda [m³]

Se asume que la masa unitaria teórica [T] es un valor que permanece constante para todas las tandas de producción que se realizan usando componentes y proporciones idénticas.

El volumen absoluto de cada componente es la relación entre la masa y la densidad aparente.

CÁLCULOS

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los ensayos realizados en un día de producción para un concreto de 4000 psi [28 MPa]

Tabla 2 Resultados de ensayos

| Concreto de 4000 [psi] (28 Mpa) | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------------------|------------------|------------------------|----------|------------------------------|
| Muestra | m^3 | Asentamiento [cm] | Temperatura [°C] | Masa ¹ [kg] | Aire [%] | comentario |
| 1 | 6 | 23 | 28,8 | 23,53 | 2,1 | Arena 1 + Grava 1 |
| 2 | 8 | 23 | 29,3 | 23,53 | 0,8 | Arena 1 + Grava 1 |
| 3 | 6 | 22 | 29,1 | 23,98 | 1,45 | Arena 1 + Grava 1 |
| 4 | 8 | 20,5 | 29,5 | 23,99 | 2,45 | Arena 1 (más fina) + Grava 1 |
| 5 | 8 | 20,5 | 29,8 | 23,70 | 3,1 | Arena 2 + Grava 1 |
| 6 | 6 | 21 | 29,6 | 23,57 | 3,15 | Arena 2 + Grava 1 |

Posteriormente, una vez obtenido los resultados de los ensayos realizados según las respectivas normas, también se procede a realizar los cálculos de acuerdo a lo establecido en la norma NTC 1926, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3 Cálculos según NTC 1926

| Muestra | Masa unitaria [kg/m ³] | Rendimiento [m ³] | Rendimiento relativo | Contenido de cemento [kg/m ³] |
|---------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---|
| 1 | 2338,97 | 6,09 | 1,01 | 302,97 |
| 2 | 2338,97 | 8,06 | 1,01 | 304,71 |
| 3 | 2384,00 | 6,00 | 1,00 | 307,16 |
| 4 | 2385,00 | 7,72 | 0,96 | 318,31 |
| 5 | 2355,86 | 8,00 | 1,00 | 306,57 |
| 6 | 2342,94 | 6,03 | 1,01 | 305,88 |

¹ Este valor hace referencia a la masa del recipiente lleno de concreto

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El concreto es uno de los materiales más usados en el mundo de la construcción; esto se debe a su versatilidad y al gran abanico de posibilidades que este presenta para afrontar cada situación constructiva, es decir, que ante las diferentes condiciones o dificultades, sean constructivas o ambientales que se puedan presentar en una obra a desarrollar con estructuras de concreto, este puede modificarse de tal modo que su desempeño sea completamente adecuado.

A continuación, se presenta una serie de tipos de concretos, así como los valores de los resultados de los ensayos realizados en un día de producción. Se debe mencionar que no son los únicos tipos de concretos producidos, sino solo una selección que representa la versatilidad del concreto.

Tabla 4 Tipos de concretos

| Muestra | Tipo de Concreto | Arena | Grava | Escoria | Asentamiento [cm] | Masa unitaria [kg/m ³] | Aire | °C |
|---------|---|----------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------------|------|-------|
| 1 | 6000 [psi] fluido | Arena 3 | Grava 4 | Con Escoria | 22,5 | 2,431 | 3,8% | 29,50 |
| 2 | 5000 [psi] | Arena 3 | Grava 4 | Con Escoria | 19,0 | 2,432 | 3,0% | 30,00 |
| 3 | 5000 [psi] | Arena 2 | Combinado 2 | Con Ceniza | 21,0 | 2,343 | 3,5% | 29,00 |
| 4 | 4000 [psi] | Arena 2 | Combinado 2 | Con Escoria | 20,5 | 2,350 | 2,1% | 29,10 |
| 5 | 4000 [psi] acelerado a 7 días, no bombeable | Arena 2 | Combinado 2 | Sin Escoria | 15,0 | 2,349 | 2,6% | 25,80 |
| 6 | 4000 [psi] fluido y fraguado retardado | Arena 2 | Combinado 3 | Con Escoria | 23,5 | 2,336 | 3,3% | 30,22 |
| 7 | 4000 [psi], baja permeabilidad con aire incluido y fibra | Arena 2 | Combinado 1 | Con Ceniza | 21,0 | 2,292 | 4,6% | 27,60 |
| 8 | 4000 [psi], baja permeabilidad con aire incluido, fluido. | Arena 2 | Combinado 2 | Con Escoria | 24,5 | 2,281 | 5,4% | 27,60 |
| 9 | 3500 [psi] con cemento de Altas resistencias tempranas [ART] | Arena 4 | Combinado 4 | Con Escoria | 21,0 | 2,361 | 3,4% | 28,00 |
| 10 | 3500 [psi] Tamaño máximo nominal del agregado 9,5 mm | Arena 1 | Grava 2 | Con Escoria | 19,0 | 2,201 | 4,3% | 30,20 |
| 11 | 3000 [psi] | Arena 2 | grava 3 | Sin Escoria | 21,0 | 2,367 | 1,4% | 27,90 |
| 12 | 3000 [psi] | Arena 2 | Combinado 2 | Con Escoria | 22,0 | 2,352 | 1,0% | 23,00 |
| 13 | 3000 [psi], baja permeabilidad con aire incluido, con fibra, acelerado a 7 días | Arena 2 + fina | grava 3 | Con Escoria | 20,0 | 2,296 | 3,8% | 29,00 |
| 14 | 2500 [psi] | Arena 2 | Combinado 5 | Sin Escoria | 20,5 | 2,180 | 2,7% | 26 |

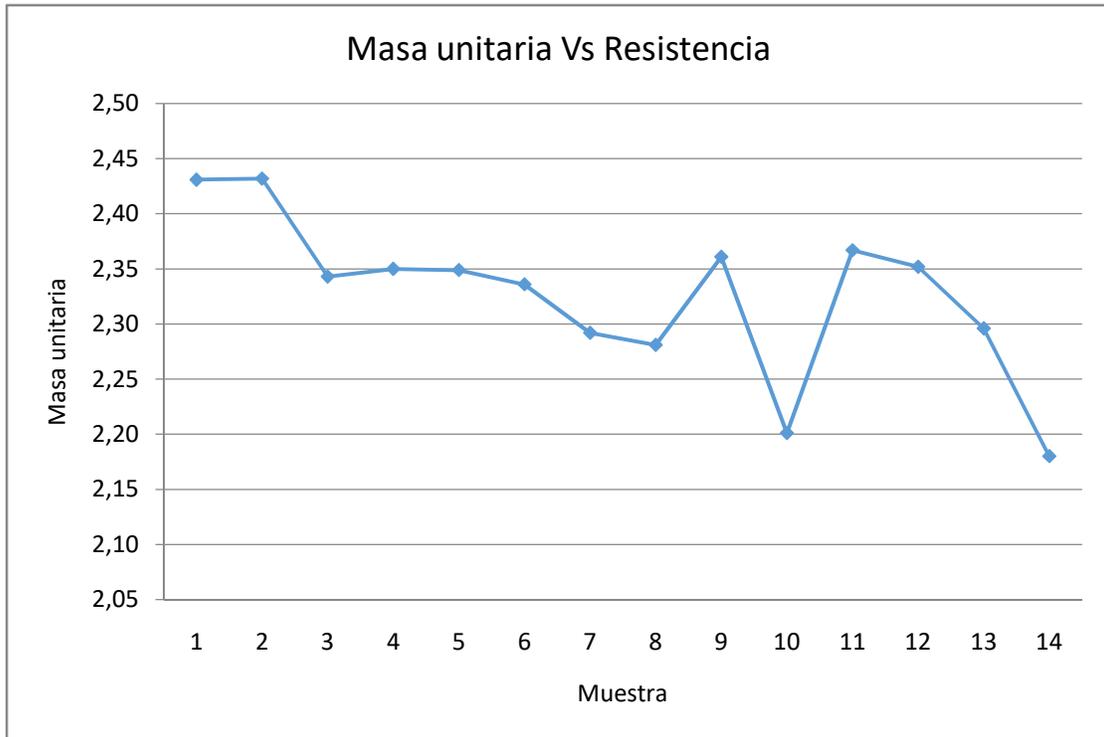
En la tabla mostrada anteriormente es necesario tener presente que:

- A menos que se especifique lo contrario, el tamaño máximo nominal es de 25mm.
- Si no se especifica que el concreto es “no bombeable” es porque este es bombeable.
- La producción diaria de concreto se realiza con contenido de ceniza o escoria siempre que haya disponibilidad de ella, y el diseño así lo especifique.
- La información está organizada de modo que la muestra 1 es la de mayor resistencia y continua en orden descendente, por lo tanto, la muestra 14 es la de menor resistencia. Esto para entender la gráfica 1.

Con base a la información presentada en la tabla 4, se puede realizar los siguientes análisis:

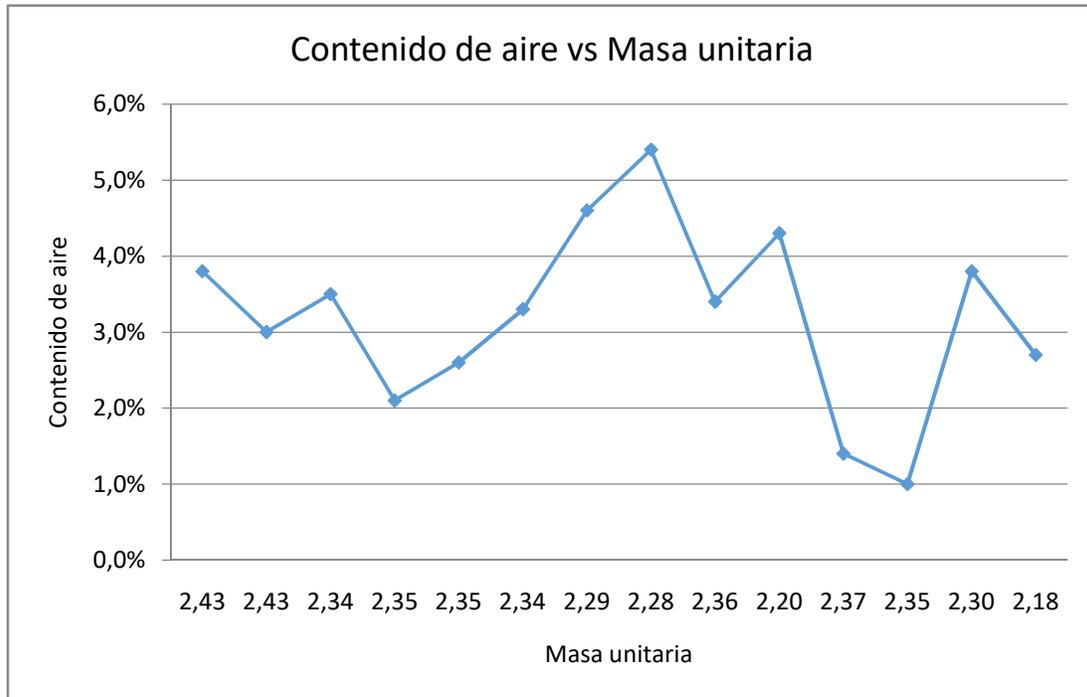
- Para obras en donde el elemento a vaciar presente dificultades para compactar, bien sea por la cantidad de refuerzo de acero o la profundidad del elemento, un concreto fluido, autonivelante, o con tamaño máximo nominal de 9.5mm, se presenta como una solución óptima a esta situación.
- Si el elemento a vaciar está rodeado de un nivel de humedad elevado o sumergido bajo el agua, es necesario el empleo de concretos impermeabilizados o anti-lavables. Estos concretos se logran empleando aditivos, en los ejemplos mostrados en la tabla se usa aditivos incorporadores de aire para tal fin.
- Para vaciar elementos que se encuentren en niveles elevados, o para facilitar su vaciado, es necesario el empleo de bombas o autobombas; para esto el concreto debe tener una consistencia tal que este pueda ser bombeado, en general su asentamiento debe de rodear las 7 pulgadas (17,78 cm).
- En caso contrario a lo mencionado anteriormente, si el concreto se planea vaciar a nivel o sin el empleo de bomba, su consistencia puede ser menos fluida rodeando las 5 pulgadas (12,7 cm).
- Como se puede observar en la tabla, generalmente el concreto se libera de la planta de producción con un asentamiento un poco mayor al mencionado anteriormente para un concreto bombeable y no bombeable; esto se debe a la pérdida que se puede presentar en el transporte del concreto, de esta manera se garantiza que llegue a la obra en condiciones adecuadas.
- Existe una diferencia entre un concreto acelerado por resistencia y uno acelerado por fraguado. En el caso del primero, además de otros aspectos, el incremento de la cuantía de cemento es la principal característica que se modifica; incrementándola para lograr altas resistencias tempranas a 3 y 7 días según sea la especificación del cliente.

- En el caso de los concretos acelerados por fraguado, esto se logra con aditivos acelerantes, que en general lo que generan es incrementar la tasa del proceso de calor de hidratación del concreto.
- En general, como lo indica la lógica, entre más grande sea la resistencia del concreto, mayor será también su masa unitaria como se puede observar en la tabla 4.



Gráfica 1 Masa unitaria Vs Resistencia

- Sin embargo, se puede observar que la muestra 10 (3500 Psi), es la segunda con menor masa unitaria sin ser de las de menor resistencia, esto se debe al tamaño máximo nominal del agregado es el menor de todas las muestras (9,5mm).
- Adicionalmente, si el concreto es fluido, como las muestras 1, 6 y 8 también presentarían menor masa unitaria en comparación con concretos de igual resistencia.
- Además, se puede decir que entre mayor sea su contenido de aire, menor será su masa unitaria para concretos de igual resistencia, como se puede observar para las muestras 7,8 y 9. Tal como se observa en la gráfica 2.



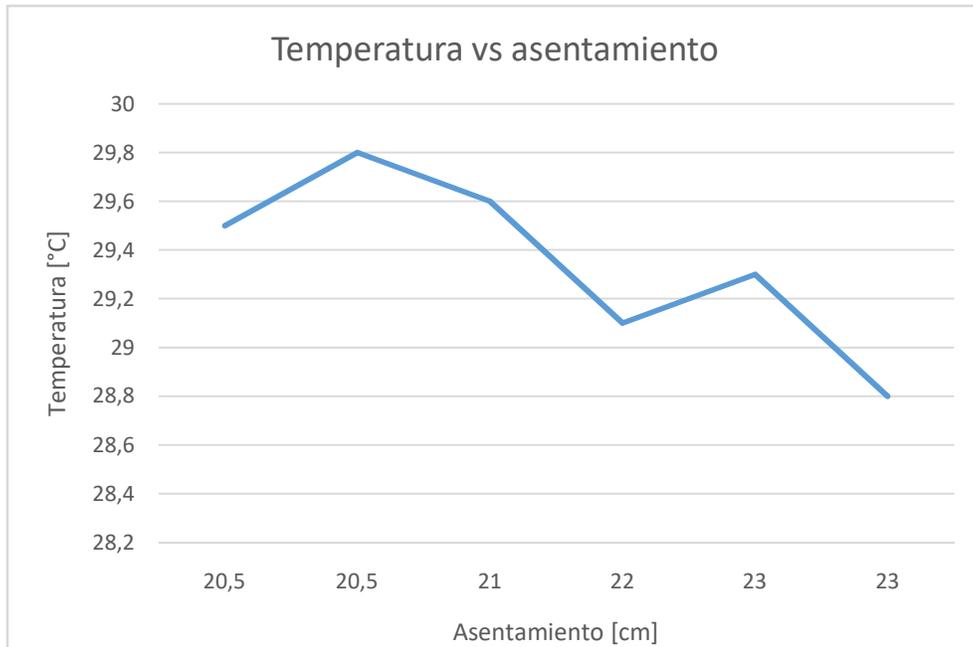
Gráfica 2 Contenido de aire VS masa unitaria²

En general de acuerdo a las necesidades, se pueden generar tantos cambios en las propiedades del concreto como sea necesario, generando combinaciones principalmente en el tamaño del agregado, aditivos, fibras y relación agua cemento, de acuerdo con las especificaciones o condiciones para cada estructura de concreto a vaciar.

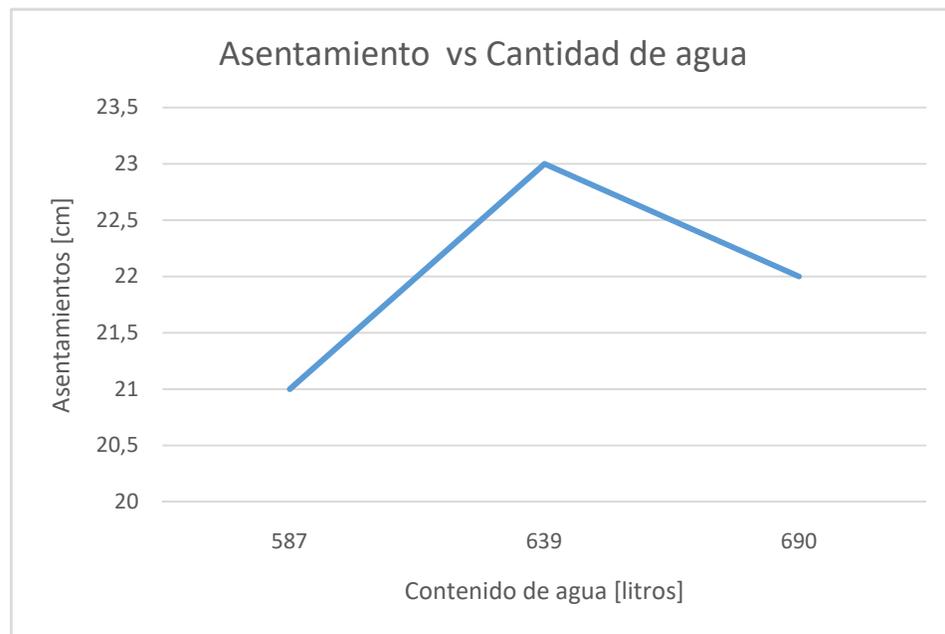
De acuerdo con los resultados obtenidos en la sección de cálculos, se procede a realizar los siguientes análisis:

- El resultado del **asentamiento** tiene como origen diferentes factores tales como, el contenido de aire, la cantidad de agua, la forma del agregado, la dosis de aditivo plastificante, entre otros. A Continuación, se muestran las gráficas de comparativa del asentamiento con la finalidad de verificar el impacto de alguno de estos aspectos sobre este.

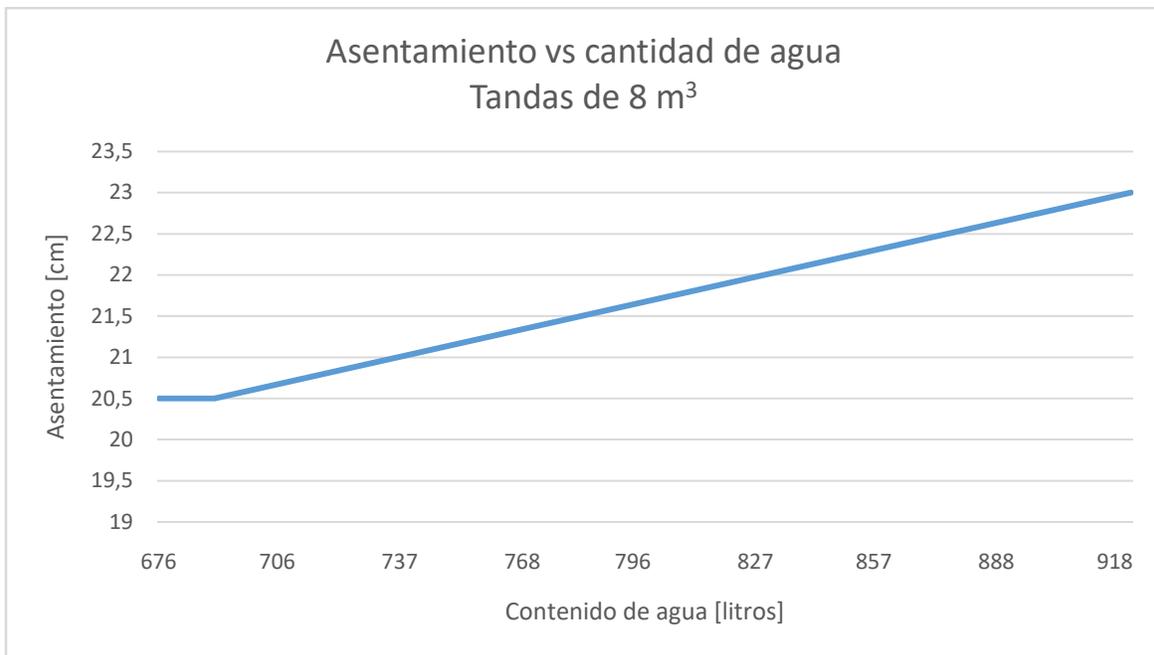
² La Gráfica 2, está organizada de modo que, en el eje horizontal de izquierda a derecha se encuentra en orden ascendente de la muestra 1 a la 14.



Gráfica 3 Temperatura VS Asentamiento



Gráfica 4 Asentamiento VS Cantidad de agua (Bachada de 6m3)



Gráfica 5 Asentamiento VS Cantidad de agua (bachadas de 8 m³)

A priori, se dice que entre mayor sea la temperatura en el concreto más fluido será este, por lo tanto, tendrá mayor asentamiento, sin embargo, al observar la comparativa del asentamiento vs temperatura para las muestras que representan bachadas del mismo volumen, como las 1, 3 y 6 (6 m³) y las 2, 4 y 5 (8 m³) en las cuales, las proporciones de los componentes es prácticamente la misma, se observa cómo, para la bachada de 6 m³ la muestra 6 es la de menor asentamiento a pesar de que es la que tiene mayor temperatura; de la misma manera, para la bachada de 8 m³ la muestra 2 la cual tiene la temperatura más baja, el asentamiento es el mayor; a su vez observamos que la diferencia de temperatura es mínima, sin embargo, la diferencia de asentamiento si es significativa, aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm).

De la misma manera, realizando un comparativo asentamiento vs cantidad de agua, en teoría se puede afirmar que, para un concreto con iguales proporciones, entre mayor cantidad de agua tenga, mayor será el asentamiento que presentará, esto es fácil de comprobar al observar las gráficas comparativas para bachadas de mismo volumen. Sin embargo, hay una excepción con la muestra 1, la cual, tiene menor cantidad de agua que la muestra 3 y sin embargo tiene un asentamiento mayor. Esto es una evidencia clara de que el asentamiento no depende de un único factor.

Al realizar la comparación del asentamiento VS la cantidad de aire, se puede encontrar resultados igualmente interesantes. Se puede decir que entre mayor cantidad de aire contenga un concreto el asentamiento será mayor, sin embargo, en la comparativa directa sin tener los otros factores

en cuenta, vemos que no es estrictamente cierto. Para las muestras de bachadas de 6 m^3 , la muestra 6, la cual, es la que tiene el mayor porcentaje de contenido de aire, es la de menor asentamiento. De manera similar, en las muestras de bachadas de 8 m^3 , la muestra 2, la cual es la que menor contenido de aire tiene, es la de mayor asentamiento.

En conclusión, se puede decir que un solo factor no es suficiente para determinar el grado o cantidad de asentamiento en una mezcla, inclusive, dados los resultados, se puede decir que no hay un factor absolutamente predominante. El asentamiento va a ser el resultado de las combinaciones de todos los factores antes analizados además de otros, por ejemplo, se puede observar, que las mezclas producidas con la 'Arena 2' producen menor asentamiento, aunque estas tenían mayor porcentaje de aire y mayor temperatura, esto se puede producir debido a la rugosidad de la arena o su reacción con los aditivos.

- El rendimiento representa el valor real del concreto producido en la tanda, es decir, en la planta dosificadora se programa una tanda de 6 metros cúbicos como en la muestra 1, la planta inicia el cargue de cada uno de los materiales que componen la mezcla de acuerdo con el diseño del concreto, medidos en pesos. El volumen que representan el peso total de los materiales descargados por la planta dosificadora puede llegar a ser mayor o menor al teórico.

Como podemos observar para las muestras a analizar en la tabla 3, todos los valores salvo el de la muestra 4, muestran un valor mayor al valor teórico de la tabla 2; en estos casos se puede decir que el volumen de concreto es mayor al solicitado por el cliente.

- El rendimiento relativo como se mencionó anteriormente hace referencia a la relación entre el volumen real del concreto producido y el volumen teórico para esa tanda. De modo que, si el valor del rendimiento relativo es mayor a 1, el volumen de concreto producido es mayor al teórico, en caso inverso, cuando es menor a 1 el volumen producido es menor al teórico.
- Dado que el volumen real del concreto producido varía respecto al teórico, la cantidad de cemento empleado en la producción también varía. Para conocer el contenido real de cemento se utiliza la ecuación 4. Una vez cálculo este valor y conociendo la cantidad de agua, se puede conocer también la relación agua/cemento real del concreto producido

CONCLUSIONES

- Mientras se conserve la humedad al concreto (curado) el proceso de calor de hidratación continuará y por lo tanto el concreto alcanzará sus propiedades esperadas.
- Los concretos con aire incluido requieren menor cantidad de agua para lograr una determinada trabajabilidad
- La densidad del concreto varía en función de los elementos que lo conforman; la densidad de los agregados, las proporciones de los elementos, además de, la cantidad de aire en la mezcla.
- Tener control sobre la temperatura del agua y de los agregados, permitirá moderar el tiempo de fraguado.
- La granulometría o la proporción del agregado grueso puede modificarse levemente sin causar alterar o perjudicar la demanda de cemento y agua.
- Cuando se presenta un contenido muy elevado de agregado grueso, el concreto presentará problemas de contracción, trabajabilidad, dificultad de colocación, alta demanda de agua y dificultad para bombear.
- Se puede solucionar problemas de gradación, es decir, distribución de tamaños de los agregados combinando agregados de diferentes fuentes.
- La relación agua/cemento se puede optimizar en torno a una dosificación adecuada de los agregados.
- Los agregados con formas angulares o alargadas, además, de textura rugosa, requieren mayor cantidad de agua o aditivo plastificante para generar una mayor trabajabilidad.
- En caso opuesto al anterior, los agregados con formas redondeadas y texturas lisas, necesitan menor cantidad de agua o aditivo plastificante para mejorar la trabajabilidad.
- El concreto es un material versátil que se puede emplear en condiciones extremas modificando sus propiedades.
- Un contenido muy elevado de agua en una mezcla, no dará necesariamente como resultado un concreto con buena manejabilidad, sino por el contrario, el exceso de agua generará pérdida en la consistencia y homogeneidad de la mezcla.
- El asentamiento en un concreto, no es resultado de un solo factor, inclusive no se puede decir que haya un factor absolutamente dominante, sino que es el resultado de la combinación de todos los componentes de la mezcla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (15 de 09 de 1999). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 385: <https://es.scribd.com/document/235759788/NTC385-pdf>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (12 de 12 de 2007). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 5551: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5551.pdf>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (27 de 02 de 2008). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 3318: <https://es.scribd.com/document/281601132/Ntc-3318-Produccion-de-Concreto>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (17 de 05 de 2017). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 3493: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3493.pdf>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (23 de 09 de 1998). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 454.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (15 de 01 de 1992). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 396.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (21 de 09 de 1994). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 1032.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (27 de 07 de 1994). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 1377.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (25 de 10 de 2006). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 3357.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (11 de 12 de 2013). *ICONTEC*. Obtenido de NTC 1926: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC1926.pdf>

NSR-10. (19 de 03 de 2010). *NSR-10*. Obtenido de Título C: <http://curunamanizales.com/portal/images/NSR%2010/Titulo%20C%20NSR-10.pdf>

ASTM INTERNATIONAL. (2017). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de ASTM C231: <https://www.astm.org/Standards/C231C231M-SP.htm>