	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(84)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	CAMILO ANDRES GONZALEZ SALAZAR DIEGO FERNANDO ORTIZ CARRASCAL
FACULTAD	DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	ESPECIALIZACION EN INTERVENTORIA DE OBRAS CIVILES
DIRECTOR	DAGOBERTO CABRALES CONTRERAS
TÍTULO DE LA TESIS	MÉTODOS E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA EL CONTROL CONSTRUCTIVO Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD FINAL DE CONCRETOS USADOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS, SEGÚN NORMATIVIDAD DEL INSTITUTO DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS) COLOMBIA.

RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

LA AMPLIA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN CUANTO A LA PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DE CONCRETOS REQUIERE DE GRAN EXIGENCIA A LA HORA DE REALIZAR CONTROL Y CALIDAD DE LOS MISMOS, MEJORANDO EQUIPOS Y PERFECCIONANDO LOS MÉTODOS DE ENSAYO ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE LA PREPARACIÓN E INSTALACIÓN, PORQUE NO SE TRATA SOLO DE PREPARAR E INSTALAR, HAY FACTORES COMO LAS PROPORCIONES ADECUADAS DE MATERIALES, LA TEMPERATURA, EL TIEMPO DE FRAGUADO, EL CURADO Y LA INCLUSIÓN DE ADITIVOS, ENTRE OTROS, QUE SON DETERMINANTES EN EL RESULTADO FINAL.

PALABRAS CLAVES: INNOVACIÓN, TECNOLOGÍA, CONTROL Y CALIDAD, MÉTODOS Y MATERIALES.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 84	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:
-------------	---------	----------------	---------



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**MÉTODOS E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA EL CONTROL
CONSTRUCTIVO Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD FINAL DE CONCRETOS
USADOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS, SEGÚN NORMATIVIDAD DEL INSTITUTO
DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS) COLOMBIA.**

AUTORES

CAMILO ANDRES GONZALEZ SALAZAR

DIEGO FERNANDO ORTIZ CARRASCAL

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Especialista en

Interventoría de Obras Civiles

Director

Esp. DAGOBERTO CABRALES

Ing. Civil

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN INTERVENTORIA DE OBRAS CIVILES

Ocaña, Colombia

Julio, 2018

Dedicatoria

A Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres que me han dado la existencia; y en ella la capacidad por superarme y desear lo mejor en cada paso por el camino de la vida.

A mis profesores y amigos; que en el andar por la vida no hemos ido encontrando; porque cada uno de ustedes han motivado nuestros sueños y esperanzas.

Gracias a todos .

Índice

Capítulo 1. Concreto	11
1.1 Definición.....	11
1.2 Características del concreto.....	12
1.3 Materiales que conforman el concreto	16
1.4 producción del concreto	20
1.5 Uso de concreto en pavimentos.....	24
Capítulo 2. Controles de calidad según normatividad INVIAS	28
2.1 Controles previos	32
2.1.1 Diseño de mezclas.....	33
2.1.2 Control de calidad de los componentes.	35
2.2 Supervisión durante la producción.....	40
2.2.1 Revisión de dosificaciones.....	40
2.2.2 Toma de muestras	41
2.2.3 Ensayos para concreto blando.....	42
2.3 Control durante el proceso de curado	43
2.3.1 Control de hidratación.....	43
2.3.2. Control de temperatura	44
2.4 Supervisión a concretos fraguados.....	44
2.4.1 ensayos a concretos fraguados	44
2.4.1 ensayos no destructivos)	45
Capítulo 3. Innovaciones Tecnológicas para el Control de Calidad	48
3.1 Nuevos Métodos de Ensayo para el Concreto Fresco.....	49
3.1.1 Ensayo de Vebe.....	49
3.1.2 Ensayo de Kelly	51
3.1.3 El Método de la Madurez.....	52
3.1.4 Método de Generación de Huellas Adiabaticas	55
3.1.5 Método de Permeabilidad al Aire del Concreto.....	59
3.1.6 Método de Resistividad Eléctrica para Concretos Frescos	60
3.1.7 Prueba con Sonda Windsor	62
3.2 Nuevos Métodos de Ensayo para el Concreto Endurecido.....	63
3.2.1 Método acelerado de las barras de mortero	63

3.2.2 Método de Resistividad Eléctrica para Permeabilidad	64
3.2.3 Prueba de Pull Off.....	65
3.2.4 Prueba de Ultrasonidos	68
3.2.5 Prueba con Pachómetro.....	69
3.2.6 Prueba con Esclerómetro	70
3.2.7 Prueba con Higrómetro	71
Capítulo 4. Resultado de la Investigación.....	74
Referencias.....	77

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores de resistencia a la flexotracción del concreto.....	32
Tabla 2 correlación asentamiento vs penetración.....	52
Tabla 3 Matriz Dofa	75

Lista de Figuras

Figura 1 Concreto	12
Figura 2 Losas de concreto simple	29
Figura 3 Vista en planta Losas de concreto simple	29
Figura 4 Losas de concreto reforzado.....	30
Figura 5 Vista en planta Losas de concreto reforzado.....	31
Figura 6 Concreto continuamente reforzado, vista en planta.	32
Figura 7 Consistometro Vebe	50
Figura 8 Bola de Kelly	51
Figura 9 Temperatura del concreto, colocado & madurez calculada como factor de temperatura – tiempo.	54
Figura 10 Perfiles térmicos de concretos de diferentes niveles de resistencia obtenidos sobre muestras estándar en condiciones de aislamiento térmico.	56
Figura 11 Permeabilímetro de Torrent	59
Figura 12 Desarrollo de la resistividad durante el fraguado y el endurecimiento.....	61
Figura 13 Equipo Windsor	62
Figura 14 Ensayo de reactividad potencial por el método de barras de mortero, según la norma.....	63
Figura 15 Medidor de Resistividad eléctrica.....	64
Figura 16 Equipo Pull Off	66
Figura 17 Equipo de Ultrasonido.....	68
Figura 18 Prueba con Pachómetro.....	70
Figura 19 Prueba con Esclerómetro.....	71
Figura 20 Prueba con Higrómetro	72

Resumen

La amplia evolución tecnológica en cuanto a la preparación e instalación de concretos requiere de gran exigencia a la hora de realizar control y calidad de los mismos, mejorando equipos y perfeccionando los métodos de ensayo antes, durante y después de la preparación e instalación, porque no se trata solo de preparar e instalar, hay factores como las proporciones adecuadas de materiales, la temperatura, el tiempo de fraguado, el curado y la inclusión de aditivos, entre otros, que son determinantes en el resultado final.

Como parte del proceso se compilo toda la normatividad y métodos de control establecidos por el instituto nacional de vías (INVIAS) para construcción de carreteras usando concretos rígidos; además de indagar los avances tecnológicos que se emplean en el control de calidad, y así concluir la importancia del conocimiento en este campo, brindando un documento sintetizado y de gran interés a la comunidad ingenieril en general.

Palabras Claves: Innovación, tecnología, control y calidad, métodos y materiales

Abstract

The wide technological evolution in the preparation and installation of concrete requires great demands when it comes to control and quality of the same, improving equipment and perfecting the test methods before, during and after the preparation and installation, because it is only about preparing and installing, there are factors such as the adequate proportions of materials, the temperature, the setting time, the curing and the inclusion of additives, among others, which are decisive in the final result.

As part of the process, all the regulations and control methods established by the National Institute of roads (INVIAS) for road construction using rigid concrete were compiled; In addition to investigating the technological advances that are used in quality control, and thus conclude the importance of knowledge in this field, providing a synthesized document of great interest to the engineering community in general.

Keywords: Innovation, technology, control and quality, methods and materials

Introducción

Actualmente y debido a los afanes de la construcción, donde muchos priorizan la obtención de grandes ganancias de dinero y sacrifican la calidad, se vuelve inevitable el control por parte de una entidad externa como es la figura de interventoría; y por ende lo más importante para esta valiosa figura es contar con las herramientas necesarias en cuanto a métodos y equipos tecnológicos para llevar a cabo tan invaluable tarea.

Para llevar a cabo una investigación a profundidad se establece que una de las entidades más influyentes en el país respecto a la consolidación de proyectos viales es el instituto nacional de vías INVIAS, la cual tiene establecido parámetros de diseño y control de calidad para vías construidas en concreto; y como se menciona anteriormente la compilación de información se enfoca en estos últimos, para los cuales se refuerza el tema con la búsqueda de información que permita ampliar el conocimiento de las distintas innovaciones tecnológicas que contribuyen a facilitar y mejorar los resultados del control correspondiente a la calidad.

Como parte de una interventoría de proyectos viales que comprendan la preparación y vaciado de concretos es muy importante conocer a fondo cada uno de los métodos con los cuales se pueda ejercer control y sus innovaciones tecnológicas, de acuerdo a las especificaciones del instituto nacional de vías (INVIAS), como por ejemplo el ensayo de resistencia a la compresión de cilindro de concreto (I.N.V.E – 410 – 07), por medio del cual se puede determinar la resistencia a la compresión de concretos previamente instalados y

para los cuales se tomaron muestras tanto del concreto fresco (I.N.V. E – 401 – 07) como de núcleos extraídos posteriormente al fraguado (I.N.V. E – 418 – 07). Por otra parte, las muestras se ensayan tanto en máquinas rudimentarias, como en modernas y sistematizadas que garantizan una mayor precisión durante el alcance de la compresión máxima que puedan resistir.

El desconocimiento y la desactualización por parte de algunos ingenieros, que a pesar de que la información está dispersa en el medio se hace más fácil encontrarla sintetizada en un documento.

Capítulo 1. Concreto

1.1 Definición

El concreto hidráulico u hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y grava y en algunos casos de aditivos. Es actualmente el material más empleado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. El concreto es una roca fabricada por el hombre, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación. El concreto presenta como las piedras naturales una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción (generalmente es el 10% de su resistencia a los esfuerzos de compresión) por lo cual se refuerza con varillas de acero, para que sean éstas las que soporten tales esfuerzos (concreto armado).

Se ha considerado que en la determinación de la calidad de concreto intervienen aproximadamente 200 variables de las cuales unas son inherentes al diseño y otras al proceso de fabricación; por lo anterior, la dosificación y producción del concreto es un trabajo complejo en el que se deben seguir las normas establecidas respecto a dosificación y calidad del agregado y proceso de fabricación; y en la medida en que se adapten tecnologías foráneas a las condiciones propias de la región, empleando materiales nativos y soluciones autóctonas, se ganará en economía. (Gutiérrez de López, 2003)



Figura 1 Construcción de Pavimento en Concreto

Fuente: Disponible en Internet

1.2 Características del concreto

Manejabilidad. La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la manejabilidad va asociada al término plasticidad, definida como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde.

Los factores que influyen en la trabajabilidad son:

- El contenido de agua de mezclado, es el principal factor que influye en la manejabilidad del concreto; se expresa en Kg o litros por m³ de concreto.
- La fluidez de la pasta, debido a que para una cantidad determinada de pasta y de agregado, la plasticidad de la mezcla dependerá de las proporciones de cemento y agua en la pasta.
- El contenido de aire, bien sea naturalmente atrapado o adicionado, aumenta la manejabilidad de la mezcla porque las burbujas actúan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad.
- La buena gradación de los agregados.
- Los agregados gruesos con partículas planas y alargadas o de forma cúbica con superficie rugosa, disminuyen la manejabilidad de la mezcla.
- El bajo contenido de arena en proporción con el contenido de agregado grueso determina una mezcla poco manejable. Pero si el contenido de arena es elevado hay necesidad de añadir agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación o exudación.
- Algunas condiciones de clima y temperatura pueden alterar la manejabilidad de la mezcla.
- Algunas condiciones de producción y colocación del concreto.

Resistencia. El concreto como material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad. Sin embargo, cuando se diseñan pavimentos rígidos y otras losas que se construyen sobre el terreno, el concreto se diseña para que resista esfuerzos de flexión.

Los factores que afectan la resistencia del concreto se pueden dividir en dos. Los primeros tienen que ver con la calidad y cantidad de elementos constitutivos del concreto: agregados, cemento y agua y los segundos a la calidad del proceso del concreto: mezclado, transporte, colocación, compactación y curado; la resistencia está en relación directa con este proceso.

Durabilidad. La durabilidad de un concreto es característica que le hace mantener su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio a través del tiempo y frente a problemas de clima, ataques químicos o cualquier otro proceso de deterioro. La durabilidad de un concreto puede verse afectada por causas internas, como su permeabilidad, los materiales constituyentes o cambios de volumen debido a diferentes propiedades térmicas.

La durabilidad de un concreto también se puede ver comprometida por condiciones de exposición al medio ambiente, el cual puede generar deterioro por causas físicas, químicas o mecánicas.

La mejor forma de proteger el concreto ante condiciones ambientales, es fabricarlo impermeable y utilizando aditivos inclusores de aire si va a estar expuesto a períodos de congelación y descongelación.

Resistencia al fuego. El concreto en general posee buenas propiedades de resistencia al fuego, es decir el concreto puede tener un comportamiento satisfactorio y sin emitir gases durante un tiempo relativamente alto. En un incendio es fácil alcanzar los 600°C a los 10' de iniciado y los 1.200°C a los 20 minutos. (Guzmán, 2007).

Los agregados gruesos, no presentan mayor dilatación hasta los 500 y 600°C, a partir de esta temperatura la dilatación por ejemplo en los basaltos aumenta rápidamente con temperaturas de 800 y 1000°C; en las arcillas expansivas no se observa dilatación a temperaturas menores de 900°C, pero luego se produce una retracción hacia los 1.000°C. Los agregados calcáreos se descomponen a los 900°C produciendo gas carbónico.

El cemento hidratado empieza a sufrir deshidratación a partir de los 150°C iniciando con el aluminato tricálcico y la cal hidratada lo hace a partir de 400 a 500°C. Un aspecto importante desde el punto de vista del fuego es que el cemento Portland sometido a temperaturas presenta un coeficiente de dilatación negativo a medida que se calienta; luego al enfriarse sigue contrayéndose debido a la deshidratación, lo que explica por qué las estructuras después de un incendio presentan una apariencia normal mientras están calientes, pero al enfriarse pierden la cohesión. (Gutiérrez de López, 2003)

Para el concreto reforzado y el pretensado la temperatura crítica del acero es la que define el límite de la resistencia de la estructura, pues aun cuando el acero funde entre 1.300 y 1.400°C mucho antes pierde su resistencia; a temperaturas de 500°C su resistencia se reduce a la mitad. Cuando el concreto que protege el refuerzo de un elemento estructural queda expuesto a la acción del fuego, éste introduce altos gradientes de temperatura y las capas superficiales calientes tienden a separarse y descascararse desde la parte interior donde la masa está más fría.

1.3 Materiales que conforman el concreto

Cemento. La palabra cemento se emplea para designar a toda sustancia que posea condiciones de pegante cualquiera sea su origen. El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso. El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales síliceos, calcáreos y férricos.

Los compuestos principales del cemento Portland son: cal (CaO), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Como pocas veces se encuentran en la naturaleza juntos y en las proporciones requeridas, para la fabricación del cemento generalmente se hace necesario mezclar sustancias minerales que los contienen, como calizas por el aporte de cal y las arcillas por el aporte de alúmina y óxido de hierro; en algunas ocasiones es necesario agregar directamente óxido de hierro o arenas silíceas, para ajustar las proporciones de cada compuesto con el fin de obtener reacciones químicas equilibradas. Una tercera sustancia necesaria en la fabricación del cemento, es el yeso

hidratado que se adiciona al clinker durante la molienda con el fin de retardar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento.

Clasificación de los cementos Portland. El conocimiento bastante extenso sobre el cemento en cuanto a composición, características y comportamiento permite fabricar cementos con propiedades específicas. La clasificación utilizada en Colombia se encuentra en la norma NTC 30, basada en las normas ASTM. Es la siguiente:

- Cemento Portland tipo 1. Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
- Cemento Portland tipo 1M. Alcanza resistencias superiores a las del tipo 1.
- Cemento Portland tipo 2. Es resistente a la acción moderada de sulfatos y el desprendimiento de calor es menor que en los cementos normales.
- Cemento Portland tipo 3. Alcanza alta resistencia inicial.
- Cemento Portland tipo 4. El desprendimiento de calor es bajo.
- Cemento Portland tipo 5. Ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
- Cemento Portland Blanco. Se elabora con materias primas seleccionadas que no contienen óxido de hierro, por eso la coloración. Se usa para decoración

El agua. El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y mortero, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. La NTC 3459 habla sobre la calidad del agua en el concreto. Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua sólo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto, va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

Agregados

Agregado grueso. Los agregados ocupan del 70-80% del volumen del concreto, por lo tanto, muchas de las características del concreto dependen de las propiedades de los agregados.

Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia, se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia.

Agregado Fino. El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de ella demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua-cemento.

Aditivos. Se usan aditivos para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares del pavimento por construir. Su empleo deberá definirse por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento.

Los aditivos pueden ser los siguientes:

- Inclusiones de aire
- Plastificantes

- Reductores de agua
- Acelerantes de fraguado
- Retardantes de fraguado

Tomado del Instituto de Desarrollo Urbano, IDU (2006)

1.4 producción del concreto

Bajo este nombre se agrupan todas las actividades tendientes a producir un producto de muy buena calidad. Un buen proceso es definitivo en la resistencia y calidad del concreto ya endurecido. Las actividades en el proceso de producción del concreto son:

Mezclado. Proceso por el cual se convierte el agua, el cemento y los agregados en una pasta homogénea.

Hay dos tipos de mezclado, el manual y el mecánico; el primero sólo se recomienda para obras muy pequeñas, debiéndose incrementar el contenido de cemento del diseño en un 10%.

El mezclado mecánico se realiza en mezcladoras; existiendo muchas variedades, según su capacidad y el modo de mezclar, considerando este último parámetro hay dos tipos principales, las de mezclado por gravedad y las de mezclado forzado. Las primeras son los equipos que más se usan, en todas sus variedades: Fijas o basculantes, de eje horizontal o inclinado, descarga por volteo o por marcha reversible, tambor o aspas fijas o giratorias. Se acostumbra designarlas por su capacidad, así una mezcladora de dos sacos tiene una capacidad de 310 litros de concreto. Es conveniente operar estas mezcladoras lo

más cerca posible de su capacidad nominal, porque su eficiencia se reduce al trabajarlas con poca o demasiada carga.

Transporte. El transporte del concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colocación debe ser:

- Rápido, para evitar que se seque y pierda consistencia antes de ser colocado;
- Eficaz, para evitar que se produzca segregación y pérdida de mortero o lechada.

Los medios de transporte que se emplean con mayor frecuencia son: carretillas y vagonetas para movilizar volúmenes pequeños de concreto en distancias cortas.

Para lograr la eficiencia con este medio de transporte es necesario habilitar vías de acceso, usar vagonetas con llantas de goma;

- Los tubos y canalones se utilizan en obras pequeñas y son fáciles de adaptar. Al utilizar canalones debe evitarse la segregación, dando pendientes adecuadas al canalón que permitan el deslizamiento del concreto. En el extremo de descarga deben colocarse tubos de forma troncocónica llamadas trompas de elefante, con el fin de confinar el concreto, reducir su velocidad de caída, obligándolo a que descienda verticalmente dentro de la formaleta y disminuyendo así su altura de caída libre.

- Las bandas transportadoras, bombas para concreto y transportadores neumáticos, son equipos especializados para el transporte y colocación del concreto, que mediante una operación adecuada son eficientes, pero de costo más elevado.

Para el transporte del concreto premezclado se usan camiones que generalmente descargan por la parte de atrás. Pueden estar provistos de agitadores que aparte de ayudar en la descarga homogenizan el concreto que tiene una alta tendencia a la segregación como consecuencia de la distribución no uniforme de la mezcla durante la carga y por la vibración del transporte.

Colocación. Consiste en echar el concreto en la formaleta o molde que configura la estructura; debe efectuarse procurando evitar pérdidas de uniformidad en el material, segregación del mismo y cambios en la posición de refuerzo.

El concreto no debe descender en caída libre, pero si verticalmente, desde el extremo de descarga de los canalones, bandas o tuberías; para reducir la velocidad de caída se deben utilizar tubos cónicos rígidos (trompas de elefante) garantizando que el extremo del tubo se mantenga sumergido dentro del concreto fresco. No debe ser desplazado horizontalmente dentro del área de colocación, debe vaciarse directamente en su sitio.

El proceso debe hacerse en forma continua, para evitar juntas que no estaban previstas (juntas frías) y en capas de espesor no superior a 50 cm, que deben compactarse antes de verter la siguiente. El equipo seleccionado para la colocación debe contar con la capacidad suficiente para manejar con eficiencia el concreto en las condiciones más ventajosas de tal forma que pueda ser compactado en su lugar.

El concreto no debe colocarse cuando existen probabilidades de lluvia o temperatura de congelación a menos que se tenga previsto instalaciones adecuadas contra estos procesos

climáticos. En superficies inclinadas el concreto se coloca primero el de abajo continuando hacia arriba.

Compactación. Se entiende por compactación o consolidación del concreto el conjunto de operaciones mediante las cuales se trata de reducir a un mínimo la cantidad de vacíos, con el objeto de obtener un concreto lo más denso posible. La importancia de la compactación es evidente, porque el concreto como otros materiales aumenta con la compactación la resistencia mecánica, la resistencia a agentes externos y su durabilidad.

Existen numerosos métodos para lograr la compactación del concreto, cuyo su uso depende de las características del concreto y del tipo de estructura que se vaya a ejecutar, pero el principio es el mismo en todos: disminución de fricción entre los distintos componentes del concreto, entre éste y los refuerzos metálicos y entre el concreto y la formaleta. Los métodos de compactación pueden ser manuales o mecánicos.

Acabado. Es el proceso por el cual se logra una apariencia adecuada, es decir, un terminado, para garantizar la geometría de los elementos vaciados y dar al concreto una textura superficial agradable.

El acabado del concreto se obtiene usando una formaleta adecuada, o cuando se trata de superficies libres se realiza manualmente con reglas (boquilleras) o llanas metálicas o de madera.

Curado. Es el conjunto de acciones tendientes a mantener un ambiente que favorezca la hidratación paulatina del cemento, bien sea reteniendo la humedad interior del concreto, o suministrando humedad o protección contra temperaturas extremas.

La resistencia del concreto y su durabilidad sólo se desarrollarán totalmente si se le da un curado suficiente antes de entrar en servicio.

Es muy importante que después del transporte y el vaciado del concreto se evite una reducción no deseada en el contenido de humedad de la pasta que ocasione una disminución de hidratación. La pérdida de humedad en esta etapa se manifiesta en la formación de grietas superficiales debido a la contracción por secado. Para evitar esta pérdida de humedad se recomienda en climas cálidos, cubrir el concreto con telas húmedas de estopa, algodón o cabuya.

Desencofrado. Antes de quitar la formaleta se debe verificar, mediante el ensayo de cilindros testigos, que el concreto haya alcanzado la resistencia para soportar la carga correspondiente a la etapa de la construcción en que se encuentra.

1.5 Uso de concreto en pavimentos

La industria del concreto ha hecho un importante esfuerzo, adquiriendo equipos de colocación, formando a los constructores, interventores, diseñadores y demás personas que puedan influir en la correcta aplicación del pavimento rígido.

Hoy, mejorar los índices de competitividad en infraestructura es una prioridad del país. La reducción en el número y costo de las intervenciones durante el periodo de diseño adquieren mayor relevancia, así como la economía en todo el proceso. Los incrementos en el precio internacional del petróleo han hecho que el valor de las mezclas asfálticas se incremente, reduciendo las diferencias entre estas dos alternativas de pavimentos. (Gómez, 2013)

La tendencia internacional apunta a la aplicación de soluciones durables en el tiempo, ambientalmente amigables y con menores costos de mantenimiento y operación; por lo que los pavimentos de concreto serán la alternativa más competitiva desde estos puntos de vista.

1.6 Tipos de concretos usados en pavimentos

Concreto simple.

Es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento, el agregado fino deberá rellenar los espacios entre el agregado grueso y a la vez estar recubierto por la misma pasta.

$$\text{CEMENTO} + \text{A.FINO} + \text{A.GRUESO} + \text{AGUA} = \text{CONCRETO SIMPLE}$$

Concreto armado.

Se denomina así al concreto simple cuando éste lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñado bajo la hipótesis de que los dos materiales trabajan

conjuntamente, actuando la armadura para soportar los esfuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

CONCRETO SIMPLE + ARMADURAS = CONCRETO ARMADO

Concreto estructural.

Se denomina así al concreto simple, cuando este es dosificado, mezclado, transportado y colocado, de acuerdo a especificaciones precisas, que garanticen una resistencia mínima pre-establecida en el diseño y una durabilidad adecuada.

Concreto ciclópeo.

Se denomina así al concreto simple que esta complementado con piedras desplazadoras de tamaño máximo de 10" cubriendo hasta el 30 como máximo, del volumen total. Las piedras deben ser introducidas previa selección y lavado, con el requisito indispensable de que cada piedra, en su ubicación definitiva debe estar totalmente rodeada de concreto simple

CONCRETO SIMPLE PIEDRA + DESPLAZADORA = CONCRETO CICLOPEO

Concretos livianos.

Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 a 1700 kg/m³.

Concretos normales

Son preparados con agregados corrientes y su peso unitario varía de 2300 a 2500 Kg/m³. Según el tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2400 g/m³

Concretos pesados.

Son preparados utilizando agregados pesados, alcanzando el peso unitario valores entre 2800 a 6000 kg/m³. Generalmente se usan agregados como las baritas, minerales de

fierro como la magnetita, limonita y hematita. También, agregados artificiales como el fósforo de hierro y partículas de acero. La aplicación principal de los concretos pesados la constituye la protección biológica contra los efectos de las radiaciones nucleares. También se utiliza en paredes de bóveda y cajas fuertes en pisos industriales y en la fabricación de contenedores para desechos radiactivos

Concreto premezclado.

Es el concreto que se dosifica en planta que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra.

Concreto prefabricado.

Elementos de concreto simple o armado fabricados en una ubicación diferente a su posición final en la estructura.

Concreto bombeado.

Concreto que es impulsado por bom-beo a través de tuberías hacia su ubicación final.

(Abanto, F. ,1996)

Capítulo 2. Controles de calidad según normatividad INVIAS

En la construcción de proyectos, pertenecientes al Sector de Infraestructura y Transporte, se debe tener en cuenta los lineamientos sectoriales establecidos por el Ministerio de Transporte, que es la cabeza del Sector. El Instituto Nacional de Vías – INVIAS, es un organismo adscrito al Ministerio de Transporte, el cual tiene como objeto la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte. (Departamento Nacional de Planeación, DNP, 2017))

El instituto nacional de vías INVIAS, define tres tipos de pavimentos rígidos, los cuales se describen a continuación de acuerdo a los parámetros de criterio del mismo:

Losas de concreto simple. Este sistema utiliza placas de concreto sin refuerzo. las juntas de contracción transversal son construidas por lo general a intervalos entre 3 y 6 m (figura 2) con el objetivo de controlar la fisuración de las losas. Dependiendo del diseño de las losas, estas se pueden unir mediante dovelas o barras de transferencia colocadas en las juntas transversales asegurando la transferencia de carga entre estas; además se colocan barras de anclaje en las juntas longitudinales, en dirección perpendicular al eje de la vía.

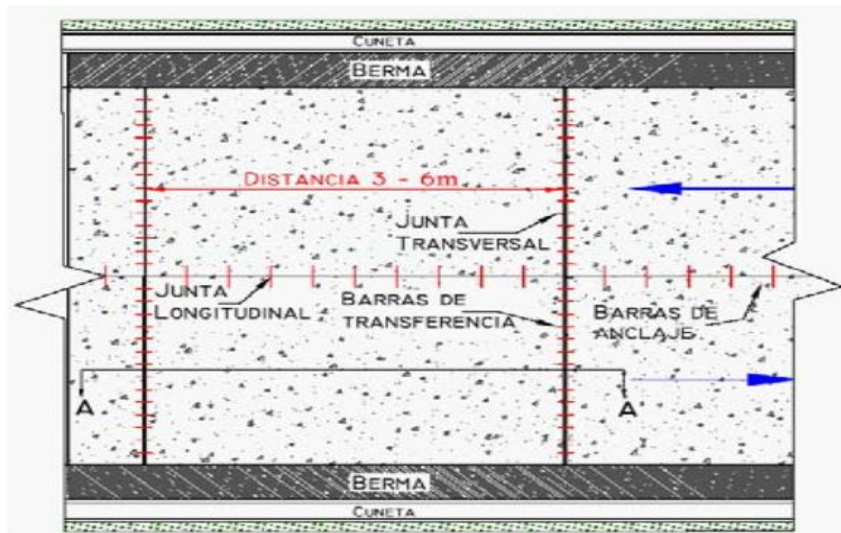


Figura 2 Losas de concreto simple

Fuente: Instituto nacional de Vias, INVIAS (2006)

a. Vista en planta

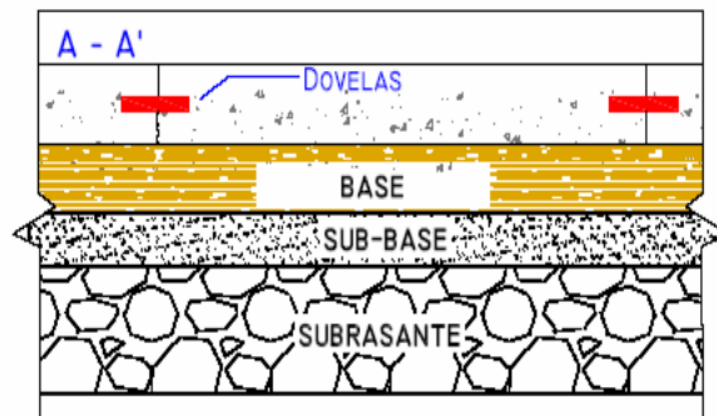


Figura 3 Vista en planta Losas de concreto simple

Fuente: INVIAS (2006)

b. Sección transversal (corte A-A')

Losas de concreto reforzado. Debido a que el espaciamiento de las juntas transversales es mayor que el de las placas de concreto simple, con rangos típicos entre 7 y 15 m, este sistema utiliza juntas de contracción y adicionalmente acero de refuerzo para controlar la fisuración de las losas (figura 4). Las dovelas son usadas en las juntas transversales para asegurar las transferencias de cargas entre losas.

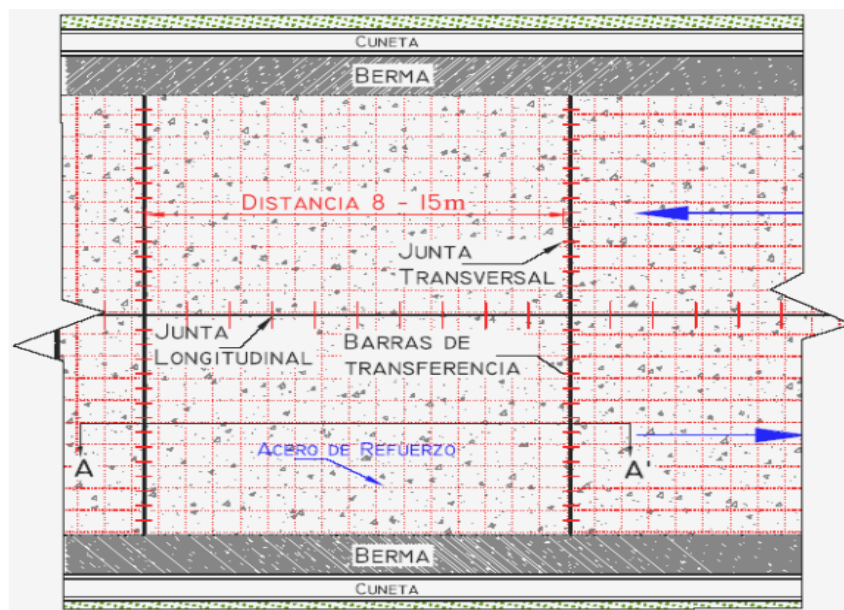


Figura 4 Losas de concreto reforzado

Fuente: INVIAS (2006)

a. Vista en planta

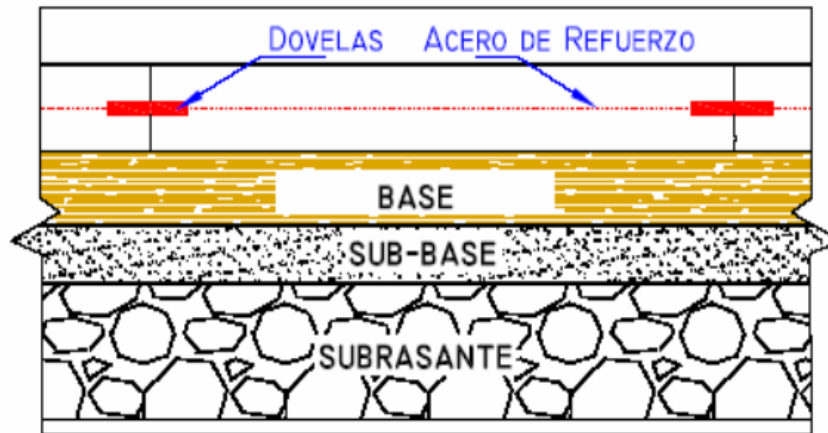


Figura 5 Vista en planta Losas de concreto reforzado

Fuente: INVIAS (2006)

b. Vista de perfil (sección A-A)

Pavimento continuamente reforzado. También conocido como PLV, este sistema no requiere juntas de contracción ya que su diseño guarda similitud con una losa de entrepiso (figura 6). En él, las fisuras transversales se consideran normales ya que están asociadas al acero de refuerzo de la losa de concreto, la experiencia ha mostrado que la abertura normal para estas fisuras es de aproximadamente 0.5 mm, lo que no resulta crítico con la posibilidad de ingreso de agua. Los intervalos típicos de espaciamiento de estas fisuras están entre 1.1 y 2.4 m. el acero de refuerzo en estos pavimentos se encuentra en la parte superior y/o inferior. Se recomienda trabajar con barras No 5 y No 6.

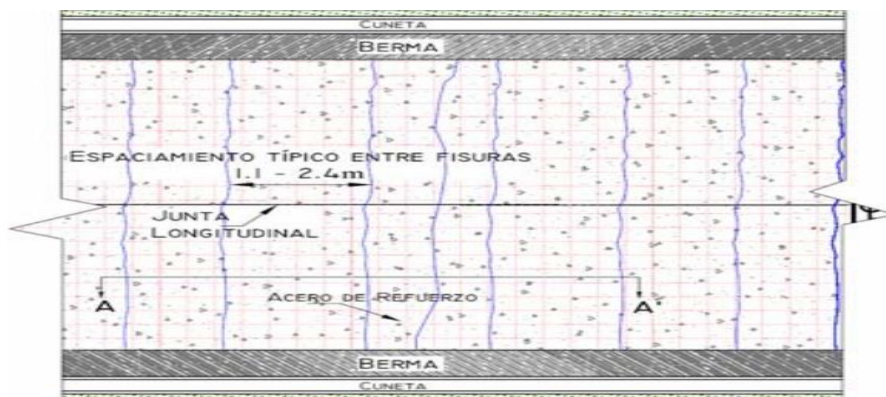


Figura 6 Concreto continuamente reforzado, vista en planta.

Fuente: INVIAS (2006)

2.1 Controles previos

Para los diseños de los pavimentos se escogieron 4 calidades de concreto según lo indicado en la Tabla 3-4, las resistencias a la flexotracción se evalúan a los 28 días y se miden con base en el ensayo Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz (Norma INV E414-07).

Tabla 1

Valores de resistencia a la flexotracción del concreto

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: INVIAS (2008)

Para alcanzar las resistencias requeridas en cada uno de los casos se debe realizar el chequeo del diseño de mezclas y la calidad de los agregados que serán usados, así como la verificación de que estos correspondan a los señalados en el mencionado diseño de mezclas.

2.1.1 Diseño de mezclas

La secuencia normal de un diseño de mezclas inicia en un laboratorio, donde se realizan las pruebas para obtener las de mejor desempeño para las exigencias del proyecto particular. El procedimiento de proporcionamiento de concreto se basa en la medición del peso de cada uno de los componentes. Después se hacen pequeños ajustes usando dos enfoques principales mediante el balance de los componentes de acuerdo a: 1) un peso supuesto 2) un volumen absoluto. Los primeros son rápidos y sencillos para estimar los proporcionamientos de cada componente del concreto, a partir de un peso supuesto de mezcla por unidad de volumen. Los segundos son más exactos, pues parten de la base de establecer volúmenes absolutos, para cada componente que ocupará en la unidad de volumen de la mezcla. Para esto último, es necesario conocer el peso específico de cada ingrediente.

Existen numerosos métodos para dosificar concretos:

Diseño de mezclas por peso: El peso volumétrico del concreto se puede asumir con base a la experiencia local que se tenga con los materiales que lo componen. El peso de los finos será la diferencia entre el peso del concreto, que es precisamente el que se busca, menos la suma de los pesos individuales de los componentes, ya conocidos.

Diseño de mezclas por volumen absoluto: El método del volumen absoluto ofrece mayor precisión y un mejor significado de la secuencia de diseño, particularmente en el caso de

pavimentos de concreto hidráulico. La principal razón es que en los pavimentos de concreto hidráulico prevalece más en importancia el volumen de las mezclas en comparación con su peso. Es por esto que una compensación de los componentes a través de volúmenes reviste mayor interés que por peso, en donde necesariamente se tiene que suponer un peso volumétrico, como hipótesis de partida. (Neville y Brooks, 1998.)

Antes de diseñar una mezcla de concreto se debe conocer:

- El asentamiento requerido.
- La resistencia estructural f'_c para la cual se va a diseñar el concreto.
- Las propiedades y características de los agregados, para lo cual se deben realizar los ensayos que ya se estudiaron con detenimiento en el primer capítulo: Granulometría, pesos unitarios sueltos y compactados, pesos específicos saturados y superficialmente secos, absorciones, etc.
- El espaciamiento del acero de refuerzo.
- La menor dimensión de formaleta.
- Espesores de las losas.
- Característica de la obra, en cuanto al proceso del concreto, mezclado, transporte y curado.
- Condiciones ambientales de trabajo.
- Control de calidad, etc.

2.1.2 Control de calidad de los componentes.

En los pavimentos de concreto se puede utilizar una gama muy amplia de agregados y arenas, si cumplen con unas condiciones mínimas que están relacionadas en especial, con la granulometría (E-123-07) y con el contenido de arcilla (E-124-07).

La experiencia que existe en muchos países indica que se pueden alcanzar buenas resistencias y pavimentos de concreto con buena calidad utilizando agregados extraídos de las zonas aledañas a los ríos, para su utilización se deben hacer ensayos cualitativos que permitan establecer si se alcanzan los niveles de resistencia establecidos en el diseño.

(INVIAS, 2008.)

Profundizando un poco en la normatividad tenemos:

E-123-13(Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos) esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamiz 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de partículas mayores a 75 μm se determina por un proceso de sedimentación empleando un hidrómetro.

I.N.V. E – 125 – 13(Determinación del límite líquido de los suelos) Esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos mediante dos métodos para preparar las muestras de suelo, la vía húmeda y la vía seca. El límite líquido es el contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje, cuando se halla entre los estados líquido y plástico.

I.N.V. E – 126 – 13(Límite plástico e índice de plasticidad de suelos) Esta norma se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos, aplicando el método sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 um (No. 40). El límite plástico es el contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje cuando se halla entre estados plástico y semisólido; mientras el índice de plasticidad es el rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

I.N.V. E – 133 – 13(Equivalente de arena de suelos y agregados finos) Este ensayo tiene por objeto determinar bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm. El término “equivalente de arena” expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de arena y partículas gruesas deseables, y de polvo y finos arcillosos o plásticos indeseables.

I.N.V. E – 417 – 13 (calidad del agua para concretos) esta norma se refiere a la determinación de la acidez o alcalinidad del agua que se va a emplear en la elaboración de una mezcla de concreto hidráulico.

I.N.V. E – 211 – 13(determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados) Este método se refiere a la determinación aproximada de los terrones de arcilla y de las partículas deleznales (friables) en los agregados.

I.N.V. E – 212 – 13(Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos) Esta norma describe dos procedimientos para determinar de manera aproximada, la presencia de impurezas orgánicas nocivas en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos de cemento hidráulico. Uno de los procedimientos emplea una solución de color de referencia y el otro usa vidrios de colores de referencia.

I.N.V. E – 213 – 13 (análisis granulométrico de los agregados grueso y fino) este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados grueso y fino de un material, por medio de tamizado.

I.N.V. E – 214 – 13(Determinación de la cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (no.200) en los agregados pétreos mediante lavado) Esta norma describe el procedimiento para determinar, por lavado, las partículas que pasan el tamiz 75 μm (No. 200), tales como limo, arcilla, polvo de los agregados y materiales solubles en el agua.

I.N.V. E – 218 – 13(Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles) Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para medir la resistencia a la degradación realizar el ensayo de desgaste de los gruesos hasta de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

I.N.V. E – 220 – 13(Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio) Esta norma describe el procedimiento a seguir, para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concreto y otras aplicaciones. Este efecto se simula sometiendo a los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sodio o de magnesio, seguida de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado. La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal después de re-inmersión simula la expansión del agua por el congelamiento.

I.N.V. E – 221 – 13(cantidad de partículas livianas en un agregado pétreo) Esta norma presenta un procedimiento para determinar el porcentaje de partículas livianas en los agregados pétreos, mediante separación por suspensión, en un líquido de gravedad específica elevada.

I.N.V. E – 222 – 13 (Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino) esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.

Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad en kg/m^3 (lb/pe^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.

Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente).

La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un periodo especificado.

I.N.V. E – 223 – 13(Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso) esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad en kg/m³ (lb/pie³), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente. Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente).

La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un periodo especificado.

I.N.V. E – 227 – 13 (porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso)

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas.

I.N.V. E – 230 – 13(índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras) Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.

I.N.V. E – 233 – 13 (Determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos) este ensayo brinda un procedimiento para la determinación cuantitativa del azufre presente en los agregados para concretos.

2.2 Supervisión durante la producción

La producción de concreto generalmente se hace en obra de forma manual o usando equipos que aumenten el rendimiento y la calidad del proceso; pero existen casos en los que el concreto es producido en plantas y transportado a sitio.

2.2.1 Revisión de dosificaciones

Las dosificaciones obedecen a las cantidades establecidas previamente por el diseño de mezclas, determinado control se hace preferiblemente por pesaje, aunque es muy común realizar la dosificación por medio de cantidades volumétricas.

2.2.2 Toma de muestras

I.N.V. E – 401 – 13 (toma de muestras de concreto fresco). La presente norma describe los procedimientos recomendados para obtener muestras representativas del concreto fresco, tal como es producido para ser utilizado en el sitio de las obras (se refiere tanto al concreto fabricado en centrales de mezclas como al concreto producido en el sitio mismo de las obras), sobre las cuales se efectuarán los ensayos de comprobación de la calidad y de las características requeridas para el concreto.

Se incluyen procedimientos para tomar muestras en mezcladoras estacionarias, mezcladoras de pavimentación y camiones mezcladores (mixers) y en equipos agitadores o no agitadores usados para transportar el concreto mezclado de una central (planta) de producción. (INVÍAS, 2008)

I.N.V. E – 402 – 13 (elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión) Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración como se describe en la presente norma. (Op. cit.)

I.N.V. E – 403 – 13 (refrentado de cilindros de concreto) Esta norma especifica los aparatos, materiales y procedimientos necesarios para llevar a cabo el refrentado de cilindros de concreto, frescos o endurecidos, y de núcleos de concreto extraídos mediante rotación. Los cilindros de concretos frescos son refrentados con cemento puro, mientras que

los cilindros endurecidos y los núcleos de concreto se refrendan con yeso de alta resistencia o con mortero de azufre. (Op. cfr.)

I.N.V. E – 412 – 13 (ensayo de fabricación, curado acelerado y resistencia a la compresión de especímenes de concreto) El presente ensayo establece cuatro procedimientos para fabricar, curar y probar especímenes de concreto, almacenados bajo condiciones que intentan acelerar su resistencia.

Los procedimientos son los siguientes:

- 1: Método de Agua Caliente.
- 2: Método de Agua Hirviendo.
- 3: Método de Curado en Autoclave.
- 4: Método de alta Presión y Temperatura. (Op. Cfr.)

2.2.3 Ensayos para concreto blando

I.N.V. E – 404 – 13 (asentamiento del concreto (slump). Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.

I.N.V. E – 405 – 13 (masa unitaria, rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto). Esta norma se refiere a la determinación la densidad del concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento y

el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto logrado con una mezcla de cantidades conocidas de sus materiales componentes.

I.N.V. E – 406 – 13 (contenido de aire en el concreto fresco método de presión).

Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar el contenido de aire en concreto fresco hecho con agregados relativamente densos, observando el cambio de volumen ocasionado por un cambio en la presión sobre el concreto.

I.N.V. E – 409 – 13 (contenido de aire en el concreto fresco método volumétrico).

Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar el contenido de aire en concreto fresco, elaborado con cualquier tipo de agregado, usando el método volumétrico.

(Normatividad INVÍAS)

2.3 Control durante el proceso de curado

2.3.1 Control de hidratación

I.N.V. E – 407 – 13 (exudación del concreto) Esta norma se refiere a la determinación de la cantidad relativa de agua que exuda una muestra fresca de concreto. Se presentan dos métodos de ensayo, los cuales difieren primordialmente en el grado de vibración al cual se somete la muestra de concreto.

I.N.V. E – 420 – 13 (elaboración y curado en obra de especímenes de concreto para ensayo). Esta norma cubre el procedimiento para elaborar y curar especímenes cilíndricos y en forma de vigas, de muestras representativas de concreto fresco de proyecto en construcción.

2.3.2. Control de temperatura

I.N.V. E – 423 – 13 (medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado). Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura de mezclas de concreto hidráulico recién elaboradas.

2.4 Supervisión a concretos fraguados

2.4.1 ensayos a concretos fraguados

I.N.V. E – 410 – 13 (resistencia a la compresión de cilindros de concreto) Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3) **I.N.V. E – 411 – 13**
(ensayo de tracción indirecta de cilindros normales de concreto

2.4.1 ensayos no destructivos)

Esta norma de ensayo establece el procedimiento para determinar la resistencia a la tracción por rendimiento o resistencia a la tracción indirecta de especímenes de cilindros de concreto. El método aplica tanto a cilindros moldeados como a núcleos extraídos.

I.N.V. E – 413 – 13 (método para determinar el índice esclero-métrico en el concreto endurecido). Este método de ensayo presenta el procedimiento para determinar el número de rebote o índice esclero-métrico del concreto endurecido, empleando un martillo de acero impulsado por un resorte.

I.N.V. E – 414 – 13 (resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz libre)

Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en los tercios de la luz libre.

I.N.V. E – 415 – 13 (resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central). Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en el punto central. Este método no constituye una alternativa al descrito en la norma I.N.V. E – 414.

I.N.V. E – 416 – 13 (flujo plástico del concreto a la compresión). Este método de ensayo sirve para la determinación del flujo plástico (creep) de cilindros moldeados de

concreto, que se someten a la acción de una carga longitudinal compresiva. El método se limita a concretos con tamaño máximo de agregado no mayor de 50 mm (2 in)

I.N.V. E – 418 – 13 (obtención y ensayo de núcleos de concreto endurecido). Esta norma se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de núcleos extraídos de estructuras de concreto para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento (tracción indirecta).

I.N.V. E – 419 – 13 (medida del espesor de elementos de concreto empleando núcleos). Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del espesor de un pavimento rígido, una losa u otro elemento estructural de concreto, midiendo la longitud de un núcleo extraído de la estructura.

I.N.V. E – 421 – 13 (resistencia a la compresión de cilindros de concreto fundidos in-situ). Esta norma se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros moldeados en obra empleando moldes especiales adosados a las formaletas. El método de ensayo está limitado a las losas de concreto cuyo espesor varíe entre 125 y 300 mm (5 y 12´´).

I.N.V. E – 422 – 13 (medida de la resistencia a la compresión del concreto a edad temprana y proyección a una edad posterior). Esta norma cubre un procedimiento para elaborar y curar especímenes de concreto para ser ensayados a una edad temprana. Los especímenes se almacenan bajo condiciones normales de curado y se emplea la historia de

la temperatura para calcular un índice de madurez que está relacionado con la ganancia de la resistencia.

I.N.V. E – 424 – 13 (módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión). Este método de ensayo cubre la determinación de: (1) el módulo de elasticidad (módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto moldeados y núcleos de concretos taladrados, cuando se someten a esfuerzos de compresión longitudinal.

I.N.V. E – 425 – 13 (resistencia del concreto a la abrasión mediante chorro de arena (sanblasting). Esta norma se refiere a la determinación de las características de resistencia a la abrasión del concreto al ser sometido al impacto de un chorro de arena silíceo.

I.N.V. E – 791 – 13 (Medida de la macro textura superficial de un pavimento empleando la técnica volumétrica). Esta norma describe el procedimiento para determinación de la profundidad media de la macro-textura superficial de un pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material granular sobre la superficie y el subsiguiente cálculo del área total cubierta.

I.N.V. E – 792 – 13 (medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico). Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) de un pavimento utilizando el péndulo británico (British Pendulum Skid Resistance Tester).

Capítulo 3. Innovaciones Tecnológicas para el Control de Calidad

Al hablar de tecnología del concreto, lo primero que hay que preguntarse es cuál va a ser la utilidad del concreto que se desarrolla; para ello se han desarrollado trabajos que establecen diseños y algunos procesos con el fin de ingresar nuevos materiales a los procesos de producción.

Asimismo y de manera simultánea, deben tenerse en cuenta en estos procesos de diseño, las reducciones de agua y energía como focos fundamentales en asocio con el medio ambiente y la distribución de costos diferidos en cada proceso sin alterar los niveles básicos. Esas condiciones hacen que se piense en lo que se conoce como los concretos verdes, proyectos respetuosos con el medio ambiente.

De los materiales de mayor consumo en construcción, el concreto es determinante en la ejecución de muchos procesos constructivos. (Osorio, 2011)

Los ensayos al concreto son el primer paso del desarrollo constructivo que marcará la pauta para un veredicto de calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Durante la ejecución de proyectos, en algunos casos, este procedimiento se considera un formalismo que se hace por cumplir, pero no porque su análisis represente importancia para la ejecución de la obra.

Sin embargo, este procedimiento es requisito en las licitaciones para obtención de certificaciones o como base para un anticipo económico. Si se le da la importancia que corresponde, esto permite tomar decisiones para optimizar desempeños y una buena ejecución de los procesos constructivos dentro de una obra en proceso. (Cementos Argos S.A.,2013)

3.1 Nuevos Métodos de Ensayo para el Concreto Fresco

3.1.1 Ensayo de Vebe

Este ensayo consiste en medir el tiempo necesario, para moldear mediante vibración una masa de hormigón en forma troncocónica y transformarla en una forma cilíndrica, empleando para este objeto un aparato normalizado en Suecia, según se indica en la figura 7. (González y Alloza, 2013)

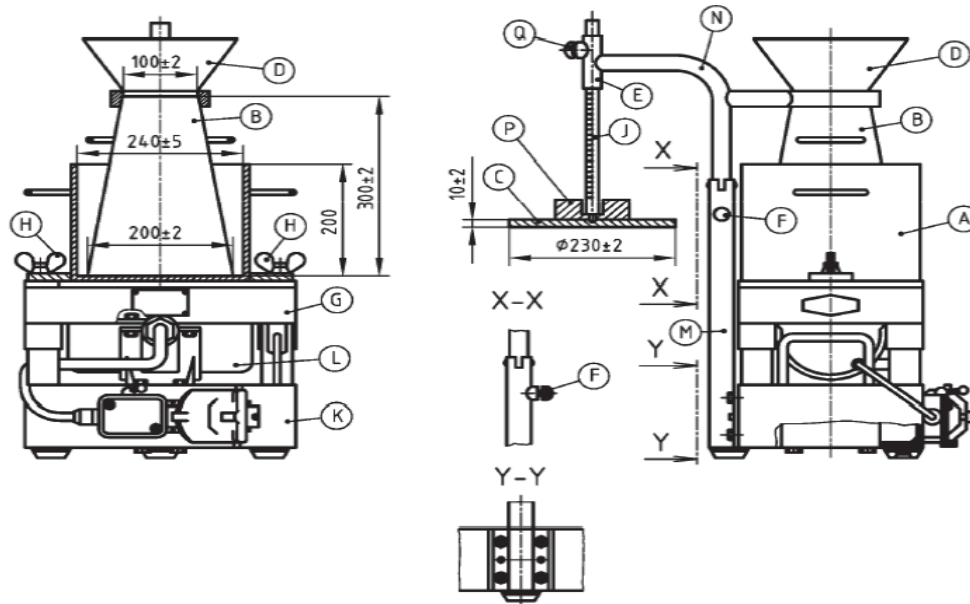


Figura 7 Consistometro Vebe

Fuente: González y Alloza (2013)

Su uso resulta más adecuado para hormigones de muy baja fluidez y constituye en dicho rango un buen complemento de la medición del asentamiento del cono. Sin embargo, por la relativa complejidad del equipo necesario para aplicarlo, su uso se ha limitado básicamente en laboratorio. (González y Alloza, 2013)

El hormigón fresco se compacta dentro de un molde para medir asentamientos. El molde se levanta verticalmente, limpio de hormigón, y se coloca un disco transparente sobre la parte superior del hormigón y con cuidado se baja hasta que entra en contacto con el hormigón. Se registra el asentamiento del hormigón. Se pone en marcha la mesa vibratoria y se mide el tiempo que tarda la cara inferior del disco transparente en cubrirse con la pasta (tiempo Vebe). (González y Alloza, 2013)

El método para determinar la consistencia de un hormigón fresco por medio del tiempo Vebe no es aplicable cuando el tamaño máximo del árido es mayor de 63 mm. Si el tiempo Vebe es inferior a 5 s o superior a 30 s, el hormigón tiene una consistencia para la cual el ensayo Vebe no es adecuado. (Op. Cit.)

3.1.2 Ensayo de Kelly

Consiste en medir la penetración en el hormigón fresco de una semiesfera, por su propio peso. El ensayo respectivo está normalizado en ASTM 360 y presenta la ventaja de poder realizar la medición del hormigón puesto en obra. Su rango es similar al asentamiento de cono, teniendo con este una buena correlación. (González y Alloza, 2013)

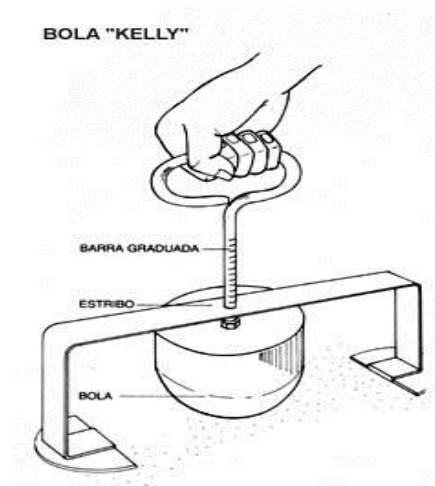


Figura 8 Bola de Kelly

Fuente: (González y Alloza, 2013).

Para la Medición de la penetración: El valor determinado en cm, es el valor de la penetración; que mide la consistencia del hormigón, mediante ensayos paralelos de asentamiento de tronco cónico y penetración de la semiesfera, se efectúa la contrastación de esta para correlacionar penetraciones con asentamientos; este ensayo es apto para

determinar la consistencia de hormigones correspondientes a estructuras extensas y horizontales, tales como losas de entrepisos y pavimentos (hormigones de asentamientos menores a 10 cm). (Guevara, 2014)

En particular, la prueba de la esfera es más sencilla y más rápida de hacer y lo que es más importante, puede aplicarse al concreto en una carretilla o en formaleta. A fin de evitar efectos de límites, la profundidad del concreto que se prueba no debe ser menor de 200 mm, ni la menor dimensión lateral de 460 mm. En la tabla No. 4.2 se presenta la correlación aproximada entre las pruebas de asentamiento con el cono o slump y la esfera de Kelly. (Rivera, 2009)

Tabla 2

Correlación asentamiento vs penetración

Asentamiento (cm)	Penetración (cm)
2,5	1,9
5,0	3,1
7,5	4,3
10,0	5,5

3.1.3 El Método de la Madurez

El método de la madurez, más comúnmente conocida como “madurez”, es una forma de evaluar la resistencia de concreto recién colocado, relacionando el tiempo y las mediciones de temperatura a valores de resistencia reales.

Para agilizar los plazos, incrementar la seguridad y mejorar los métodos de construcción, los equipos de construcción necesitan saber la resistencia del concreto en el

sitio de trabajo en tiempo real. Como la madurez está relacionada con la resistencia del concreto, el método de la madurez es una manera de lograr esto sin depender únicamente de muestras de ensayo estándar y pruebas de laboratorio.

La madurez se calcula mediante el seguimiento de cambios en la temperatura del concreto fresco con el tiempo. Dado que cada mezcla de concreto tiene su propia relación madurez-resistencia, se puede utilizar la madurez para estimar la resistencia de esa mezcla en cualquier momento después de la colocación. Cuando se conoce la madurez de un determinado concreto, se puede utilizar esa relación específica para hacer una estimación fiable de su resistencia. (Command Center, 2017)

Así mismo indica la velocidad de hidratación del cemento o cementantes presente en una mezcla de concreto. Este concepto se constituye en el momento actual en base para los sistemas informatizados de seguimiento de la calidad de los materiales en obra. Puesto que integra de una manera clara los conceptos científicos de la termodinámica durante el proceso de hidratación del cemento a los criterios y posibilidades de control, aseguramiento y programación de proyectos cuya estructura primordial consiste en un material de origen cementicio (concreto, mortero, groutin, etc.).

Hablar de madurez es hablar del proceso exotérmico al cual se ve sometido el cemento contenido dentro del concreto durante el proceso de fraguado, puesto que este parámetro se interpreta como el área bajo la curva Temperatura - Tiempo de la mezcla durante el fraguado-Factor Temperatura-Tiempo, dándonos una idea clara de la velocidad con la cual se llevan a cabo las reacciones químicas, la posibilidad de mejorar notablemente la adherencia entre la pasta de cemento o mortero fraguada con la superficie de los agregados

gruesos, así como la certeza de obtener un nivel de resistencia adecuada dentro de la pasta de cemento y por lo tanto dentro del concreto. (Quimbay, 2009)

Aplicación del control térmico y de madurez del concreto (calorimetrías del concreto) en la determinación de tiempos de desmolde y descimbre en vivienda)

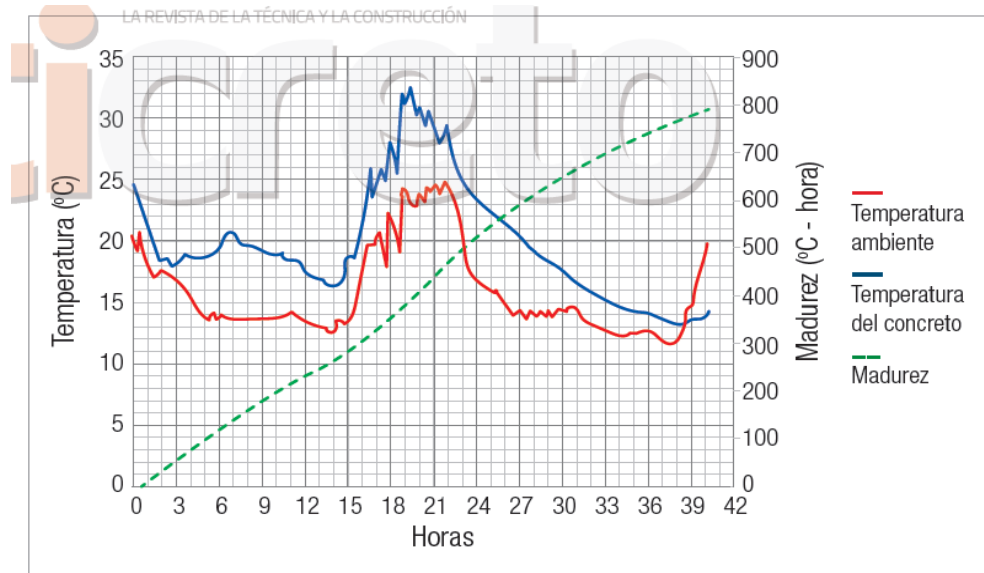


Figura 9 Temperatura del concreto, colocado & madurez calculada como factor de temperatura – tiempo.

Fuente. Arbeláez, German E. (2016) p.44

Dentro de sus ventajas :1)Es posible evaluar de manera confiable las propiedades del concreto colocado.2) se puede establecer el impacto de factores externos tales como bajas temperaturas nocturnas o la influencia los procesos de protección y curado (o la ausencia de ellos).3)con base en el modelo de correlación de resistencia-madurez, se puede tomar la resistencia y tomar decisiones criticas de obra.4) es útil en concreto cuya resistencia se especifica a muy corta edad (industria de prefabricados).

Sin embargo presenta limitaciones: 1)hay que mantener la medición de temperatura de la mezcla hasta el momento que alcanza la madurez correspondiente a la resistencia que se pretende obtener para tomar la decisión crítica de obra. Por tal motivo si se aplica para estimar resistencias especificadas a edades superiores a 24 o 48 horas, se debe mantener la instrumentación por un tiempo prolongado, lo cual supone un desperdicio de recursos que puede ser costoso y a veces innecesario.2)Los equipos de medición (registradores digitales de temperatura) corren alto riesgo de pérdida o daño.3) Los Termopares (cables que unen el equipo de medición con los puntos de la estructura instrumentados) pueden ser fácilmente desconectados o desgarrados por el transito continuo o por descuido del personal de obra; en este caso se arriesga perder la totalidad del ensayo y, si no se cuenta con lecturas de temperatura durante todo el periodo de ensayo y si no se cuenta con lecturas de temperatura durante todo el periodo de ensayo, es imposible calcular la madurez. (Arbeláez, 2016)

Se ha demostrado que a partir del perfil térmico del concreto (Curva de Temperatura vs. Tiempo), se puede establecer de manera exacta la resistencia del material sin necesidad de ensayos mecánicos, a partir del cálculo de la Madurez de la mezcla.

3.1.4 Método de Generación de Huellas Adiabaticas

Cuando se aísla térmicamente una muestra de concreto fresco de masa constante, y se mide su evolución de temperatura desde el momento de mezclado hasta un instante posterior a aquel en el que se alcanza la temperatura máxima, se genera un perfil térmico (en mucho menos de 24 horas normalmente) cuyas propiedades son directamente proporcionales a la calidad del concreto en términos de sus resistencias mecánicas. Este perfil térmico se conoce como la Huella Adiabática.

Este método se basa en la relación de proporcionalidad directa que existe entre la cantidad de calor de hidratación generado por un concreto y su resistencia a una edad determinada. Por tal motivo, al igual que con el método de madurez descrito, es posible construir un modelo de correlación entre las propiedades térmicas y las propiedades mecánicas del material, el cual permitirá de manera confiable y precisa, y en menos de 24 horas, el desempeño potencial del concreto, especialmente la resistencia a la edad especificada.

Cada tipo de concreto tiene su propia Huella Adiabática. Esta es como su ADN porque el perfil térmico se genera durante un periodo de gestación que corresponde a la transición entre el estado fresco y el estado endurecido, y de él dependen buena parte de sus propiedades mecánicas durante su vida útil. (Arbeláez, 2016)

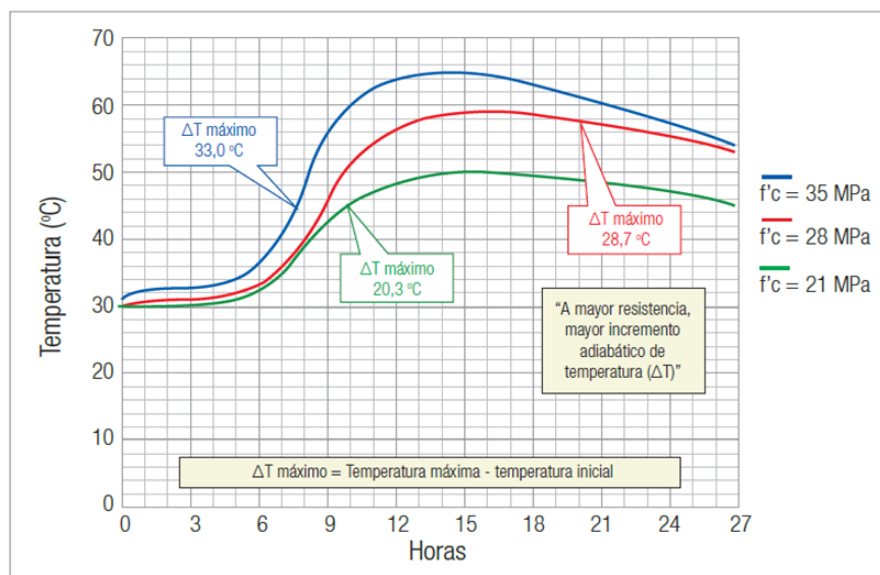


Figura 10 Perfiles térmicos de concretos de diferentes niveles de resistencia obtenidos sobre muestras estándar en condiciones de aislamiento térmico.

Fuente. Arbeláez, German E. (2016) p. 46

Ventajas como:

- 1.) Con base en el modelo de correlación Resistencia $-\Delta T$, se puede estimar la resistencia (a cualquier edad previamente considerada en el modelo) y tomar decisiones críticas en obra agrega mucho valor conocer el desempeño potencial del concreto a largo plazo en menos de 24 horas (generalmente entre 10 y 16 horas).
- 2) Los recursos requeridos son de fácil consecución.
- 3.) El procedimiento operativo del ensayo es sencillo y de fácil aplicación.
- 4.) Los equipos y muestras pueden mantenerse en un lugar que ofrezca seguridad (el campamento o el laboratorio de la obra, por ejemplo).
- 5) En caso de algún imprevisto durante las mediciones (corte del suministro eléctrico, por ejemplo) es fácil recuperar las variables críticas del ensayo si se ha implementado previamente un plan de contingencia.
- 6) Una interpretación acertada de los perfiles térmicos permite hacer seguimiento a los tiempos de manejabilidad y tiempos de fraguado. En caso de problemas de retardo de fraguado o fraguado muy rápido, es fácil identificar las causas (usualmente asociadas al clima, a errores de dosificación o a la aceptación de viajes de concreto reubicados) y establecer cuales acciones adoptar.

7) Cuando se desarrollan y evalúan nuevos productos de concreto a nivel de laboratorio, la aplicación de este método es de gran ayuda para validar resultados a muy corto plazo, especialmente cuando se están ensayando nuevos aditivos, diferentes tipos de cemento y materiales cementantes suplementarios.

8.) Es el método ideal para hacer control de calidad diario y sistemático en múltiples proyectos simultáneamente, otorgando al personal de la obra cierta autonomía aunque este no tenga alto nivel de calificación. En tal caso es muy importante que un experto supervise y haga monitoreo permanentemente.

9) Es útil tanto en concretos cuya resistencia se especifica a muy poca edad (industria de prefabricados) como en concretos con resistencia especificada a 28 días o más (56,90 días).

Sin embargo, presenta limitaciones:

1) Se determina el potencial que tiene el concreto utilizando en la estructura. En caso de presencia de factores externos que afectan dramáticamente las propiedades del concreto colocado hay que aplicar mecanismos paralelos, incluyendo la inspección visual y el tanteo físico (rayado). Para minimizar el impacto de factores externos siempre es recomendable aplicar la protección adecuada del concreto en la estructura.

2) Cuando se siguen rigurosamente los sencillos pasos del procedimiento de muestreo y ensayo, los resultados obtenidos pueden generar confusión. Por fortuna, un experto puede identificar esta situación con facilidad. (Arbeláez, 2016)

3.1.5 Método de Permeabilidad al Aire del Concreto

Este método fue desarrollado por el ingeniero Roberto Torrent, autoridad mundial en temas de tecnología del cemento y del concreto el cual consiste en una celda de doble cámara que establece un vacío sobre la superficie del concreto de manera que el aire que está en los poros a presión atmosférica fluya de manera controlada hacia la cámara mediante un regulador de presión. Cuanto más permeable es el concreto, más rápido se recupera la presión en la celda de vacío.



Figura 11 Permeabilímetro de Torrent

Fuente: Disponible en internet

Existe una ecuación que permite calcular el Coeficiente de Permeabilidad del Concreto al aire. Este método se correlaciona muy bien con el método de succión capilar, ensayo de penetración de agua, presión y con los ensayos de difusividad o migración de cloruros y carbonatación.

Con los resultados obtenidos en este ensayo se han logrado optimizar las mezclas de concreto. Uno de los problemas de las especificaciones prescriptivas en el concreto es, por ejemplo, el valor máximo de la relación agua/material cementante, sin tener en cuenta las diversas condiciones que se puedan presentar. En los ensayos de desempeño se puede ajustar el diseño. (Belkowitz, W., Belkowitz, J., Bryant, P., & Harris, D. (2014))

3.1.6 Método de Resistividad Eléctrica para Concretos Frescos

La resistividad eléctrica del concreto puede relacionarse de manera sencilla con la porosidad del material. Con una cantidad mínima de muestra, en cuestión de segundos y de manera no destructiva, este factor puede medir la resistencia a la compresión (NTC 550 – Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra y NTC 673– Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto).

Por otra parte, estos dispositivos permiten la medición continua de la resistividad eléctrica con el tiempo, que puede aplicarse para estimar otros parámetros como el tiempo de ajuste.

Este se puede configurar fácilmente mediante la incorporación de dos varillas en el concreto fresco y monitorear el cambio de la resistividad eléctrica entre ellos. (Andrade y D'Andrea, 2011) (Belkowitz et al, 2014)

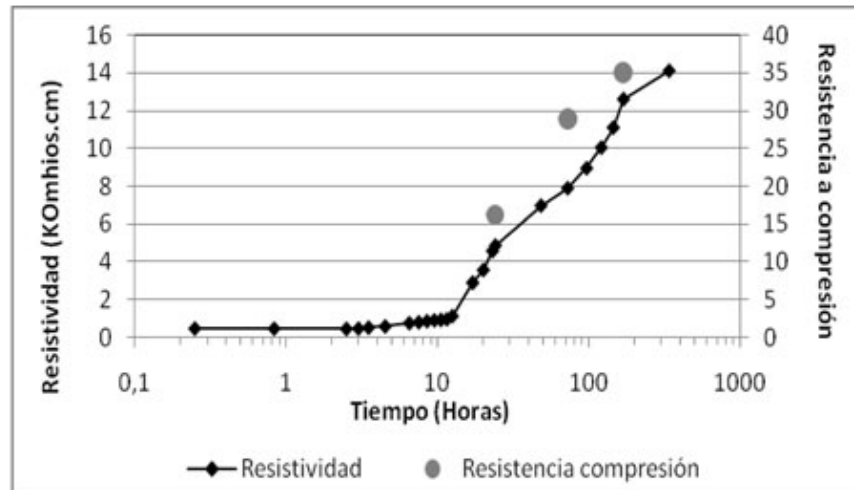


Figura 12 Desarrollo de la resistividad durante el fraguado y el endurecimiento.

Fuente: Andrade y D'Andrea (2011).

La relación con la resistencia a compresión que se indica en la figura 12, también está siendo objeto de estudio y se están desarrollando expresiones matemáticas que ligan ambos parámetros, lo que permitiría al fabricante predecir la resistencia mecánica desde las primeras horas. (Andrade y D'Andrea, 2011).

Mientras el concreto alcanza su estado endurecido atraviesa varias etapas que alteran la composición química de las sustancias que se encuentran en los poros del material, lo que permite la percolación del agua y el desarrollo microestructural del elemento. Estos cambios afectan la resistividad eléctrica medida entre las varillas embebidas. Por lo tanto, la resistividad eléctrica del concreto puede proporcionar un método sencillo para controlar los tiempos de fraguado del concreto, probar manejabilidad y el tiempo de manipulación. Dentro de las múltiples ventajas de esta característica se cuenta un mejor acabado del concreto. (Belkowitz et al, 2014)

3.1.7 Prueba con Sonda Windsor

Resistencia del concreto a la penetración. Pistola de Windsor. Requiere de equipo especial, así como de personal capacitado y entrenado. Norma ASTM C803-03. Consiste en lanzar tres elementos metálicos impulsados por la carga determinada de pólvora con una pistola. La determinación de la calidad del concreto está en función de la longitud promedio que los insertos penetren en el concreto midiendo la parte externa de estos usando una placa triangular.. (Dámazo, 2006)



Figura 13 Equipo Windsor

Fuente. (Dámazo,2006)

El sistema Windsor no exige gran habilidad para manejarlo y los supervisores o técnicos en terreno, obtienen resultados consistentes. De hecho, los usuarios son contratistas, ingenieros, arquitectos, laboratorios de ensayo, fabricantes de concreto preparado, dueños, gerentes y funcionarios de gobierno, entre otros. Este sistema tiene un amplio uso para probar el concreto in-situ: para el concrete convencionalmente colocado, para el concreto pretensado, para las losas horizontales o verticales, para los suelos o cielos, para el concreto fresco o maduro. (NDT James Instruments INC, 2015)

3.2 Nuevos Métodos de Ensayo para el Concreto Endurecido

3.2.1 Método acelerado de las barras de mortero

El Método de las Barras de Mortero Acelerado consiste básicamente en verificar la variación de longitud de las barras de mortero sumergidos en una solución de 1N de Hidróxido de Sodio (NaOH). (Acosta., Villalba, Rojas y Cabrera, 2000)

La manera más adecuada para evitar que se produzca una patología, conocida como reacción álcali-sílice, que se debe prevenir para evitar el deterioro prematuro de las estructuras de hormigón, principalmente aquellas que estarán en contacto con humedad de manera permanente o periódica, es mediante el estudio de la reactividad alcalina de los agregados, a utilizar en la elaboración del hormigón, con anterioridad a su empleo.



Figura 14 Ensayo de reactividad potencial por el método de barras de mortero, según la norma

Fuente: NTC 3828(ASTM C227).Archivo Asoconcreto

Este estudio ha permitido obtener resultados congruentes con el comportamiento de agregados aplicando esta metodología con diferentes mineralogías y la caracterización de ellos frente a los álcalis coincidiendo con los antecedentes disponibles y resultan definitorios a edades de ensayos menores. (Falcone y Batic, 2012).

3.2.2 Método de Resistividad Eléctrica para Permeabilidad

Este método de ensayo consiste en medir la resistividad de los cilindros de concreto, sometidos previamente al proceso de curado, mediante dos electrodos de placa puestos en contacto con las superficies extremas de la muestra. A través de la muestra de concreto se aplica una corriente eléctrica alterna con el medidor de resistividad. El aparato mide la resistencia de una muestra de concreto, en ohmios (Ω), lo cual permite determinar la resistividad eléctrica del elemento. (Belkowitz et al, 2014)



Figura 15 Medidor de Resistividad eléctrica

Fuente. (Belkowitz et al, 2014)

La resistividad eléctrica de las probetas permite identificar la permeabilidad del CONCRETO. Un concreto más denso está relacionado con una menor porosidad y una conectividad entre poros, lo que conduce a permeabilidad inferior y a resistividad superior. Una investigación realizada en Estados Unidos mostró, a través de la utilización de la permeabilidad de iones cloruro (ASTM C1202) y la resistividad eléctrica, que a medida que

disminuyó la permeabilidad, aumentó la resistividad eléctrica (Shane et al,1999). La medida de la permeabilidad se puede utilizar como un valor para determinar la durabilidad y la estructura de una muestra de concreto. Específicamente, la resistividad eléctrica y la permeabilidad se refieren a la capacidad del concreto para resistir el ataque químico de sales de descongelamiento y de productos químicos más agresivos que pueden impactar negativamente la composición del concreto curado. Mientras que la prueba de resistividad eléctrica no ha reemplazado el uso del ion cloruro para permeabilidad, entidades gubernamentales de Estados Unidos y Canadá han comenzado a adoptar los experimentos de resistividad eléctrica para los proyectos que exigen propiedades de mayor rendimiento.(Belkowitz et al, 2014)

3.2.3 Prueba de Pull Off

Aunque los resultados de cilindros tomados en las obras estén dando las resistencias especificadas, es necesario revisar de manera sistemática y realizar ensayos tales como ultrasonido, resistencia a la tracción de recubrimientos (Pull off), permeabilidad del concreto, geo-radar, entre otros, que permitan saber con certeza cómo se están comportando los materiales y las estructuras después de la colocación, el acabado y el curado.

Uno de los métodos más empleados para evaluar con éxito la adherencia de los materiales de reparación y la resistencia en la superficie de los elementos de concreto, es el ensayo de adherencia; también denominado en la literatura como ensayo de desprendimiento, o “Pull Off”. Es defendido por diversos especialistas como parcialmente destructivo, por lo que tras la prueba, deben realizarse reparaciones puntuales al elemento ensayado.

Aunque los resultados de cilindros tomados en las obras estén dando las resistencias especificadas, es necesario revisar de manera sistemática y realizar ensayos tales como ultrasonido, resistencia a la tracción de recubrimientos (Pull off), permeabilidad del concreto, geo-radar, entre otros, que permitan saber con certeza cómo se están comportando los materiales y las estructuras después de la colocación, el acabado y el curado. (Asocreto, 2016)



Figura 16 Equipo Pull Off

Fuente . (IMCYC 2014)

El ensayo de “Pull Off” (ver fotografía en Fig. 16) es uno de los métodos de ensayo a tensión, que a diferencia de otros métodos para ensayar la adherencia, puede realizarse tanto en laboratorio, como “in situ”; basta solamente disponer de una cara expuesta del elemento a ensayar, siendo aplicable a vigas, losas u otro elemento; sin planificación previa del colado.

Es un método que exhibe entre sus más significativas ventajas: la rapidez y economía en el proceso, la posibilidad de realizarse “in situ” con mínimo daño a la estructura, así como la disponibilidad inmediata de los resultados.

Como antes se comentó, una de las principales aplicaciones de la técnica del “Pull Off” es la evaluación de la resistencia de la unión (zona de interfaz) entre el material de reparación y el concreto reparado. El procedimiento general que se sigue en este ensayo, típicamente se resume en los 5 pasos que se relacionan a continuación:

Al emplear la prueba de “Pull Off” para estimar la resistencia del concreto, es común que se monitoree el aumento gradual de la resistencia si se utilizan equipos con manómetro digital integrado. De esta forma, el esfuerzo que provoca la rotura, si se asocia con las curvas de tendencia que se marcan en la literatura especializada, hace también posible que se pueda estimar de manera muy aproximada la resistencia a la compresión del material.

Si bien es un método bien aceptado por sus ventajas, también experimenta algunas limitaciones entre las que sobresale, como antes se comentó, el ser un ensayo con alta sensibilidad a la excentricidad. Aun así, es un hecho el que la prueba de “Pull Off” continúe siendo una excelente alternativa para evaluar de manera general la calidad y la resistencia, a partir del sustrato, en estructuras de concreto. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, (IMCYC), Construcción Y Tecnología En Concreto, 2014)

3.2.4 Prueba de Ultrasonidos

Por medio de la emisión de pulsos ultrasónicos se pueden detectar, fisuras, ratoneras, desuniformidades en la densidad del concreto, daños por ataques de sulfatos, fuego, heladas, necesidad de reparación en zonas específicas, etc. Además es el método ideal para analizar placas delgadas y tuberías. El acero de refuerzo y la humedad son dos factores que pueden alterar los resultados en virtud de ambos son mejores conductores del sonido, por lo que se recomienda que este método lo interprete personal calificado.

(Villavicencio, 2011)

Este método se puede usar principalmente para pruebas de control de calidad e inspección en estructuras de concreto, y también por ser un ensayo no destructivo, resulta útil por su simplicidad, versatilidad y receptibilidad. (Aguirre, 2015)



Figura 17 Equipo de Ultrasonido

Entre las ventajas del ensayo de pulso ultrasónico tenemos:

- Cualquiera que sea el medio de propagación de las ondas, se necesita una única medida para obtener un valor representativo. Es decir, la dispersión de este ensayo resulta muy baja.
- Es un ensayo con elevada confiabilidad y fácil de realizar, sin dejar de lado que se refiere a uno de los ensayos no destructivos al concreto, con lo que, además, se garantizan repetitividad y versatilidad.
- El método se basa en un fenómeno físico muy bien conocido: la propagación de ondas en un medio material, el cual puede tornarse complejo cuando el medio de propagación es heterogéneo. Este hecho implica diferentes fases que componen al material, con diferentes propiedades elásticas relativas a la propagación de ondas, heterogeneidad que representa una limitación en el conocimiento de la forma del frente de onda, así como también en el camino seguido por ella.

Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de ondas, y la velocidad de estas depende de las propiedades elásticas del medio en que se propagan, de manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, es posible estimar las propiedades elásticas del medio, las cuales se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material. (Silva, 2018)

3.2.5 Prueba con Pachómetro

Un pachómetro es un aparato capaz de detectar elementos metálicos ocultos; por ello se usa para la localización de las barras de acero de un elemento de hormigón. Hay varios modelos, los más sencillos nos informan sobre la posición de la barra y su dirección,

y los más sofisticados que nos proporcionan una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra.



Figura 18 Prueba con Pachómetro

El aparato está formado por varias sondas y un módulo de lectura y control. El funcionamiento se basa en la medida de resistencia al flujo Magnético generado por la sonda, que cuanto más cerca está de un elemento metálico, más pequeña es la resistencia.

Con un pachómetro podemos detectar cemento aluminoso. Se ha demostrado que cuando el palpador está en contacto con cemento aluminoso se obtiene una respuesta al campo magnético muy superior a la que aparece con cemento Pórtland. El problema es si interfieren armaduras cercanas en la lectura. (Contreras y Reyes, 2014)

3.2.6 Prueba con Esclerómetro

Otro instrumento interesante es el Esclerómetro, también conocido como Martillo de Rebote o Martillo (Hammer) Schmidt, se trata de un martillo mecánico de pistón que nos permite mediante la aplicación de impactos calibrados, determinar la resistencia del hormigón sobre el que se está aplicando; evidentemente tenemos que trabajar sobre la

superficie limpia del hormigón, por lo que habrá que eliminar cualquier recubrimiento (yeso, pintura, revestimiento) que pueda alterar el resultado de la auscultación.

El calibrado de este instrumento es muy sencillo, y generalmente se hace un ensayo de contraste en obra para determinar con alta precisión la resistencia del hormigón que estamos auscultando. De todas formas, si tenemos alguna obra conocida que se esté ejecutando, y de la que puedan facilitarnos los datos de ensayos de los lotes de ejecución, nos sería muy útil para poder realizar un contraste más amplio de calibrado “in situ”, a veces la buena relación entre profesionales nos permite recibir estos favores de quienes conocemos. (Ycaza, 2011)



Figura 19 Prueba con Esclerómetro

3.2.7 Prueba con Higrómetro

La resistencia del hormigón, la ubicación de las barras de acero, pero hay algo que siempre se menosprecia en todo estudio de patología, pero que es uno de los silenciosos responsables de lo que ocurre, la humedad, por eso un medidor de humedad o higrómetro es siempre útil, los hay para concreto y para madera, muy útiles porque nos permitirá

determinar en que 50% de las patologías nos estamos moviendo; en este sentido ya lo he dicho con anterioridad, temperatura y humedad son dos datos que hay que obtener en cualquier auscultación; por cierto siempre que vayamos a hacer cualquier lectura, de resistencia de materiales de anchos de fisuras, etc. es muy importante tomar la hora, la temperatura y la humedad, serán de mucha utilidad a la hora de evaluar los datos. (Ycaza, 2011)



Figura 20 Prueba con Higrómetro

Procedimentalmente Es importante probar la superficie y la sección media de la losa, especialmente si la losa en sobre obajo el grado. Esto ayudará a determinar si hay salida continua de humedad a la superficie. Si existen estas condiciones, el movimiento de humedad podría ser tan lento que una vez que alcance la superficie, la humedad se evaporizará y causará una lectura “seca” cuando la prueba en superficies sea realizada.

Sin embargo, si se realiza una prueba bajo la superficie, el medidor podría mostrar la señal de “húmedo” indicando la presencia de humedad. Cuando la losa esté cubierta y el movimiento hacia arriba de humedad continúe, la humedad se moverá a un piso

higroscópico (madera), o aumentará la presión en un piso sintético que no tiene respiración, causando la de laminación. (Veto Precisión a su Medida, 2013)(NRMCA, sf)

Capítulo 4. Resultado de la Investigación

Los métodos e innovaciones tecnológicas para el control constructivo y verificación de calidad final de concretos usados en pavimentos rígidos, según normatividad del instituto del instituto nacional de vías (INVIAS) Colombia, vienen coadyuvando hacia la consecución de soluciones que respondan a las necesidades de pavimentación en vías de tránsito pesado clasificadas, de acuerdo con sus características y con el grado de conocimiento en su aplicación y nivel de uso a nivel internacional que convergen en tres grandes grupos que de acuerdo con lo consultado, responden a: Tecnologías universales, innovadoras y experimentales, siendo las primeras las de mayor aplicación y conocimiento desarrollado en cuanto a su aplicación y métodos de construcción; las innovadoras las que se encuentran en estudio, pero su aplicación aún es limitada, y las últimas o experimentales, las alternativas que no se han explorado ni aplicado sino en forma limitada.

En la investigación cumplida se concluye que si bien hay una creciente tendencia hacia la investigación de nuevas técnicas para el mejoramiento de la calidad final, mediante el uso de esas técnicas en pavimentos rígidos, hoy éstas van desde la caracterización de suelos y materiales disponibles en cada región del país, hasta la fabricación de productos enzimáticos o polímeros dirigidos a estabilizaciones químicas y tratamientos para suelos de características poco deseables en la construcción de pavimentos de alto o bajo tránsito.

Sin embargo y a pesar de encontrar un ambiente propicio y un interés creciente en la investigación sobre nuevos materiales y tecnologías para el uso de concretos en pavimentos rígidos, no se ha hecho suficiente difusión de los resultados de tales investigaciones y del conocimiento generado sobre el tema.

No obstante lo anterior, la presente investigación condensa sus conclusiones en la siguiente matriz DOFA como una manera de sintetizar los resultados encontrados y que permite que se haga un contraste holístico entre las debilidades, las oportunidades, las fortalezas y sus amenazas.

Tabla 3

Matriz DOFA

	Fortalezas	Debilidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor rapidez en la entrega de resultados. • Mayor exactitud de la medición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos en la compra de los equipos de medición. • La interpretación de las indicaciones de los ensayos requiere de entrenamiento y experiencia de parte del laboratorista. • Gran parte de los ensayos son no destructivos. • Capacitaciones al personal técnico.
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de un nuevo y más completo manual de Supervisión e Interventoría. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • No se tiene certeza sobre su futura certificación por parte de entidades como INVIAS. • Su implementación y aceptabilidad requiere de un cambio drástico 	

en los manuales de Supervisión e Interventoría.

Oportunidades

- Nuevas tecnologías para el control de concretos.
 - Optimización de los métodos de calidad de concretos.
 - Representan un complemento de los actuales ensayos dentro del manual de INVIAS.
- Nuevos procesos de certificación de los laboratorios de concretos.
 - Establecer convenios de colaboración entre empresas del sector de la construcción, entidades públicas y universidades para el mejoramiento de los procesos de calidad.

Fuente. Autores

Referencias

- Abanto, F. Tecnología del concreto (teoría y problemas (1996) .Lima, Peru: Editorial San Marcos.
- Acosta, A., Villalba, J., Rojas, R., & Cabrera, R. (2000). Determinación de la reactividad potencial álcali–agregado por el método acelerado de las barras de mortero. Universidad Nacional de Asunción. Cátedra de Tecnología de materiales. Recuperado de: <http://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/02homa02.pdf>
- Aguirre, L. E. (2015) Resistencia a la compresion del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. Revista Civilizate (N°6),18-20
- Andrade, C., & D’Andrea, R. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. Revista ALCONPAT, 1(2), 90-98.
- Arbeláez, German E. (2016). ¿Romper cilindros, la única opción?. Noticreto, 136(Mayo/Junio), 42-.46
- Asocreto (2016). Riesgos por deficiente control de calidad en los Materiales ¿Los tenemos bajo control? . Noticreto, 135(Marzo/Abril), 54-57.
- Belkowitz, W., Belkowitz, J., Bryant, P., & Harris, D. (2014) Técnicas innovadoras para ensayar el concreto. Recuperado de: https://www.giatecscientific.com/wp-content/uploads/2014/09/034-037-patologia_NOTIVIRTUAL_125.pdf
- Cementos Argos S.A. (2013)Blog 360° en Concreto. ENSAYOS AL CONCRETO: ¿QUÉ Y CÓMO? Recuperado de: <http://blog.360gradosenconcreto.com/ensayos-al-concreto-que-y-como/>

Colombiana, N. T. NTC 30., (2001) Cemento Pórtland. Clasificación y Nomenclatura.

Tomado de internet: <http://www.academia.edu/9500250/NTC-30-Cemento-Portland-Clasificacion-y-Nomenclatura>.

Colombiana, N. T. NTC 3459., (2001) Concretos. Agua para la Elaboracion de Concreto, Colombia: Editorial ICONTEC

Command Center(2017) What is Concrete Maturity?. Recuperado de:

<https://www.commandcenterconcrete.com/education/what-is-concrete-maturity/>

Contreras, C., Reyes, E. (2014). Evaluación, diagnostico patológico y propuesta de

Intervención del Puente Romero Aguirre. Trabajo de Grado. Cartagena, Bolivar: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería.

Dámazo, J. (2006) Pruebas no destructivas del Concreto: Las estructuras no son eternas.

Construcción y Tecnologia (Mayo), 48-54.

Departamento Nacional de Planeación, Proyectos Tipo(2017) 12 Construcción de

pavimento rigido en vias urbanas de bajo tránsito. Recuperado de:

<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>

Falcone, D. D., & Batic, O. R. (2012). Aplicación del Método Acelerado CAMBT para

evaluar la reactividad alcalina de agregados. Ciencia y Tecnología de los Materiales,(2), 23-28,

Gomez, C. M. (2013) Pavimentos de Concreto: Infraestructura Vial Competitiva.

Recuperada de: <http://blog.360gradosenconcreto.com/pavimentos-de-concreto-infraestructura-vial-competitiva/>

González, E. y Alloza, A.M.(2013) Sesiones Practicas. "Ensayos de hormigon fresco:

ensayo Vebe." 63-68 Recuperado de:

https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2088/mod_page/content/1/FichasTemas/tema11-vebe.pdf

Guevara, M (2014), Ensayos que se realizan al concreto en estado fresco. Universidad

Técnica Particular de Loja, Recuperado de:

http://www.academia.edu/9864813/Universidad_Tecnica_Particular_de_Loja_Ensayos_que_se_realizan_al_concreto_en_estado_Fresco

Gutiérrez de López, L. (2003) El concreto y otros materiales para la

construcción. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. ISBN 958-9322-82-4

Guzmán, E. R. (2007). Nociones de diseño, construcción y mantenimiento - estructuras de pavimento (trabajo de grado) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Tunja.

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU (2006) Sección 200-05 Cemento Asfáltico.

Recuperado de: <https://www.idu.gov.co/web/content/7560/ET-200-05.pdf>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, (IMCYC), Construcción y Tecnología en Concreto(2014), Prueba del “Pull Off” para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto. Recuperado de:

<http://www.revistacyt.com.mx/index.php/ingenieria/217-prueba-de-pull-off-para-evaluar-la-adherencia-de-los-materiales-de-reparacion-en-concreto>

Instituto Nacional de Vías, INVIAS. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Bogotá.

Instituto Nacional De Vias, INVIAS. Normas:. Bogotá D.C: INVIAS, 2013. pág: il.

(Sección 100, 200 y 400)

Instituto nacional de Vías, INVIAS (2006) Manual para la inspección Visual de Pavimentos Rígididos, Bogotá.

Instituto nacional de Vías, INVIAS (2008) Manual de diseño de Pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, Medellín, Colombia.

National Ready Mixed Concrete ASSOCIATION, NRMCA (s.f.) Serie. Hormigón el Concreto en la Práctica ¿Qué, Por qué y cómo? CIP 28- Humedad de la Losa de Concreto. Recuperado de: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP28es.pdf>

NDT James Instruments INC. (2015). Ficha Técnica Sistema de Sonda Windsor HP. Recuperado de: <http://www.ndtjames.com/>

Neville, A.M. y Brooks, J.J. Tecnología del Concreto (1998). México D.F.: Editorial Trillas.

Osorio, J. D. (2011). Tendencias de la tecnología del Concreto: Tipos de Concretos. Recuperado de <http://blog.360gradosenconcreto.com/tendencias-de-la-tecnologia-del-concreto-tipos-de-concretos/>

Quimbay, R. (2009) Aplicaciones de la tecnología de control térmico y de madurez del concreto en Colombia. *Noticreto*, 1 (92). pp. 42-47.

Rivera, G. A. (2009) Capítulo 4. Manejabilidad del Concreto. En *Concreto simple* (pp.83-103). Popayán

Shane, J., Aldea, C., Bouxsein, N., Mason, T., Jennings, H. and Shah, S. (1999), Microstructural and pore solution changes induced by the rapid chloride permeability test measured by impedance spectroscopy. *Concrete Science and Engineering* pp.110-119

Silva, M. J. (2018). Ensayo de pulso ultrasónico en el concreto, algunas ventajas. Recuperado de <http://blog.360gradosenconcreto.com/ensayo-pulso-ultrasonico-concreto-algunas-ventajas/>

Veto Precisión a su Medida, (2013) Manual de Usuario: Medidor de Humedad A6119501.

Recuperado de:

https://www.veto.cl/components/com_virtuemart/files/manuales/espanol/A6119501.pdf

Villavicencio, Y (2011) Tres metodos no destructivos para determinar la resistencia del concreto. Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2011/09/06/tres-metodos-no-destructivos-para-determinar-la-resistencia-del-concreto/>

Ycaza, X (2011) Tres Instrumentos que vale la pena conocer para un Patólogo de estructuras. Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2011/09/19/tres-instrumentos-que-vale-la-pena-conocer-para-un-patologo-de-estructuras/>