

**GUÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA EDIFICACIONES  
CONSTRUIDAS CON SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE MUROS EN  
CONCRETO REFORZADO.**

**ÁREA PRINCIPAL DE INGENIERÍA CIVIL DEL PROYECTO:  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**JÁVER HUMBERTO VARGAS ORTIZ  
JOSE ANDRÉS VIVAS CIFUENTES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2019**

**GUÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA EDIFICACIONES  
CONSTRUIDAS CON SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE MUROS EN  
CONCRETO REFORZADO.**

**JÁVER HUMBERTO VARGAS ORTIZ  
JOSE ANDRÉS VIVAS CIFUENTES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO CIVIL**

**Director: GONZALO RIAÑO SALAMANCA  
INGENIERO MAGISTER EN INGENIERÍA  
grianoy@yahoo.com.mx**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
Mayo 29 de 2019**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del director del Proyecto**

---

**Firma del presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Tunja, mayo 29 de 2019**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 General: .....	12
2.2 Específicos:.....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. JUSTIFICACIÓN.....	14
5. ALCANCE.....	15
5.1 Aplicaciones.....	15
6. NORMATIVA COLOMBIANA.....	16
6.1 Normas técnicas colombianas .....	19
6.1.1 Obligatoriedad de las normas técnicas.....	19
6.1.2 NTC 3693: Práctica para la inspección y muestreo en construcciones de concreto endurecido. ....	19
6.1.3 NTC 3692: Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido. ....	19
6.1.4 NTC 4325: Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto.....	20
6.1.5 NTC 3658: Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.....	20
6.1.6 NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. ....	20
7. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE CONCRETO ENDURECIDO	21
7.1 Etapa 1: planeación.....	23
7.1.1 Establecimiento de los objetivos de la investigación. ....	23
7.1.2 Análisis de información disponible.....	24
7.1.3 Visita de reconocimiento.....	25
7.1.4 Inspección visual .....	25
7.1.5 Cantidad y ubicación de ensayos .....	26
7.2 Evaluación preliminar.....	29
7.3 Evaluación detallada .....	31
7.3.1 Características del concreto a ensayar.....	32

8. MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	33
8.1 Ensayos no destructivos .....	33
8.1.1 Aplicaciones de los ensayos no destructivos.....	34
8.1.2 Detección del acero de refuerzo .....	36
8.1.3 Resistencia del acero de refuerzo .....	38
8.1.4 Número de rebote del concreto .....	38
8.1.5 Determinación de la profundidad del frente de carbonatación.....	46
8.1.6 Determinación de la velocidad del pulso ultrasónico .....	51
8.1.7 Extracción y falla de núcleos .....	62
8.1.8 Medición de la geometría de los elementos .....	102
9. INTERPRETACIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS.....	103
10. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO EQUIVALENTE .....	105
11. CORRELACIONES CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	107
12. REVISIÓN DE INCONVENIENTES EN ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA EL PROYECTO DE INTERÉS PRIORITARIO <i>TORRES DEL PARQUE</i> .....	108
12.1 Procesamiento de información recolectada en campo .....	108
12.2 Confianza de los residentes.....	108
12.3 Procesamiento de resultados de ensayos de laboratorio .....	109
13. GUÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN EDIFICACIONES CONSTRUIDAS CON SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO.....	110
13.1 Presentación .....	110
13.2 Glosario.....	114
13.3 Visita de reconocimiento .....	116
13.4 Fase de planeación.....	116
13.4.1 Evaluación de información existente .....	116
13.4.2 Cronograma de actividades.....	116
13.4.3 Selección del personal .....	117
13.4.4 Definir proceso a implementar.....	117
13.4.5 Equipos .....	117

13.4.6	Muestreo .....	117
13.4.7	Transporte y ensayos de muestras .....	119
13.4.8	Socialización con residentes de la(s) edificaciones, en caso de ser habitadas 120	
13.5	Evaluación del concreto en estructuras .....	121
13.5.1	Evaluación preliminar .....	121
13.5.2	Evaluación detallada .....	123
13.6	Ensayos para la caracterización .....	124
13.6.1	Identificación de puntos de ensayo .....	125
13.6.2	Detección del acero de refuerzo.....	126
13.6.3	Preparación de puntos de ensayo.....	127
13.6.4	Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico.....	127
13.6.5	Carbonatación .....	134
13.6.6	Número de rebote del concreto .....	138
13.6.7	Extracción y ensayo de núcleos .....	142
13.7	Correlación de ensayos .....	150
13.8	Cálculo del $f'c$ equivalente .....	151
13.9	Informe final .....	154
14.	CONCLUSIONES.....	155
15.	RECOMENDACIONES.....	157
16.	ANEXOS.....	162

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Normatividad colombiana referente a la evaluación del concreto en estructuras existentes.....	18
Figura 2 Metodología desarrollada para el proyecto Torres del Parque en Tunja .....	21
Figura 3 Etapas típicas del programa de ensayos. ....	22
Figura 4 Variación de la resistencia dentro de los elementos.....	29
Figura 5 Evaluación preliminar del concreto endurecido. ....	31
Figura 6 Detección de refuerzo: procedimiento (izquierda), marcación (derecha).....	37
Figura 7 Operación del martillo de rebote. ....	43
Figura 8 Relación entre resistencia a la compresión y el número de rebote.....	44
Figura 9 Proceso de carbonatación. ....	46
Figura 10 Profundidad de carbonatación marcado por el indicador de fenolftaleína sobre el núcleo. ....	47
Figura 11 Vida útil de las estructuras. ....	49
Figura 12 Detalle del avance del frente de carbonatación.....	50
Figura 13 Posicionamiento de los transductores; a) directa, b) semidirecta, c) indirecta..	53
Figura 14 Efecto de los defectos del concreto en el tiempo de viaje de un pulso ultrasónico (a). ....	59
Figura 15 Relación típica entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto dada. ....	61
Figura 16 Ejemplo de un equipo adecuado para medición de núcleos.....	66
Figura 17 Equipo para refrentado de cilindros de concreto endurecido.....	72
Figura 18 Orden en que se deben apisonar las probetas en el molde. ....	81
Figura 19 Esquema de la tapa de metal para molde cúbico de 50 mm [2 pulg.].....	87
Figura 20 Variaciones en la resistencia para concretos normales de acuerdo al tipo de elemento. ....	99
Figura 21 Efecto de la dirección de extracción en la resistencia de núcleos para distintas relaciones de (l/d).....	100
Figura 22 Relación entre resistencia a la compresión de núcleos y valores de ensayos en campo. ....	107
Figura 23 Metodología general. ....	112
Figura 24 Nomenclatura para localización de ensayos. ....	119
Figura 25 Evaluación preliminar del concreto endurecido. ....	123

Figura 26 Relación entre resistencia a la compresión de núcleos y valores de ensayos en campo. ....	125
Figura 27 Ejemplo de identificación de puntos. ....	126
Figura 28 Acero de refuerzo localizado en la cara del elemento. ....	126
Figura 29 Limpieza para contacto directo con el concreto. ....	127
Figura 30 Efecto de los defectos del concreto en el tiempo de viaje de un pulso ultrasónico (a); esquema disposición directa de los transductores (b). ....	129
Figura 31 Relación típica entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto dada. ....	130
Figura 32 Sección transversal de concreto con refuerzo lateral. ....	131
Figura 33 Sección transversal del concreto con refuerzo longitudinal. ....	132
Figura 34 Proceso de carbonatación. ....	134
Figura 35 Vida útil de las estructuras. ....	135
Figura 36 Detalle del avance del frente de carbonatación. ....	137
Figura 37 Influencia del agua en la superficie en el ensayo de esclerometría. ....	139
Figura 38 Esquema de la operación del martillo de Schmidt. ....	140
Figura 39 Relación entre resistencia a la compresión y el número de rebote. ....	141
Figura 40 Variaciones en la resistencia para concretos normales de acuerdo al tipo de elemento. ....	143
Figura 41 Efecto de la dirección de extracción de núcleos en la resistencia para distintas relaciones de (l/d). ....	147
Figura 42 Ejemplo de localización en planta de la edificación objeto de estudio. ....	165
Figura 43 Generación de reportes del ensayo de compresión. ....	171



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Factores para convertir propiedades de límite inferior a propiedades esperadas de los materiales.....	25
Tabla 2 Profundidad mínima a perforar según el tipo de elemento y su espesor. ....	33
Tabla 3 Efecto de la temperatura en la transmisión del pulso ultrasónico. ....	54
Tabla 4 Efecto de las dimensiones del espécimen en la transmisión del pulso. ....	55
Tabla 5 Clasificación de la calidad del concreto con base en la velocidad de pulso.....	61
Tabla 6 Factores que influyen en la interpretación de resultados de ensayos a núcleos en diferentes códigos. ....	64
Tabla 7 Tolerancia para la rugosidad superficial de los platos metálicos. ....	71
Tabla 8 Resistencia a la compresión y espesor máximo de los materiales de recubrimiento. ....	74
Tabla 9 Ejemplo de reporte de calificación de un material para refrentado. ....	75
Tabla 10 Variaciones permisibles de los moldes para muestras. ....	76
Tabla 11 Cantidad de materiales a mezclar por número de probetas. ....	79
Tabla 12 Tolerancias permisibles para falla de probetas. ....	82
Tabla 13 Diámetro máximo de la cara de apoyo. ....	92
Tabla 14 Edad de ensayo de los especímenes.....	93
Tabla 15 Factores de corrección para especímenes de concreto basado en la relación longitud/diámetro.....	94
Tabla 16 Clasificación de la calidad del concreto con base en la velocidad de pulso.....	130
Tabla 17 Formato para tabla comparativa frente de carbonatación/refuerzo.....	136
Tabla 18 Factores de corrección para especímenes de concreto basado en la relación longitud/diámetro.....	144
Tabla 19 Magnitud y precisión de los factores de corrección para convertir las resistencias de núcleos en resistencias equivalentes de cada punto de extracción. ....	148
Tabla 20 Factores Z dependiendo del nivel de confianza. ....	152
Tabla 21 Factores T dependiendo del nivel de confianza. ....	153
Tabla 22 Factores C para $f'c$ equivalente.....	153

## 1. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de mayor uso en la construcción, su costo relativamente bajo y su sencilla elaboración han hecho que sea el material predilecto en muchas estructuras. Después de la invención del concreto reforzado, atribuido al jardinero parisiense Jack Monier, el uso de la dupla acero-concreto en la construcción ha ofrecido diversas ventajas en aspectos como el comportamiento mecánico, la durabilidad y la economía.

Como material de construcción, una de las propiedades que podría considerarse de mayor importancia es la resistencia. En las estructuras de concreto reforzado, a grandes rasgos, el acero soporta fuerzas de tracción mientras que el concreto hace lo propio con las de compresión. De esta forma, al conocer la resistencia del acero y del concreto, es posible determinar las dimensiones requeridas para que los elementos estructurales soporten las solicitaciones aplicadas a la edificación.

De esta forma el conocimiento de la resistencia de los componentes estructurales cobra importancia, y permite evaluar la capacidad de una estructura. Con el desarrollo y la evolución de códigos de construcción, se han ido estableciendo requisitos para los materiales de construcción estableciendo criterios para su aceptación, evaluando su resistencia y uniformidad.

Los códigos de construcción también han puesto sobre la mesa temas como las condiciones de servicio (considerando la deformabilidad de elementos y el confort de los ocupantes de las edificaciones) y la durabilidad de las construcciones. Estos aspectos si bien no pueden ser evaluados directamente, guardan relación con las propiedades (mecánicas y físicas) del concreto.

En Colombia desde la elaboración del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes en 1984, se han estado actualizando los requerimientos de diseño y construcción, teniendo en cuenta el constante avance en la investigación, y las enseñanzas adquiridas del comportamiento de las edificaciones durante la ocurrencia de fenómenos naturales como sismos.

De esta evolución en los requisitos de aceptación de construcciones, surgen interrogantes para edificaciones construidas antes de la existencia de estos reglamentos. ¿Pueden considerarse seguras? ¿su comportamiento estructural es adecuado? ¿sus materiales tendrán un correcto desempeño? ¿cuál es su vida útil? son algunas de las preguntas que propietarios y ocupantes/usuarios de gran cantidad de edificaciones pueden hacerse.

Para resolver este tipo de dudas se deben llevar a cabo análisis a las edificaciones en cuestión. Se debe medir la geometría de la edificación y de sus componentes, caracterizar los materiales que la componen y analizar su comportamiento mecánico

ante las posibles solicitudes a las que se verá sometida durante su funcionamiento.

Este documento pretende abordar lo relacionado con la caracterización de los materiales componentes de un tipo particular de edificación, constituido por muros de concreto reforzado construidos con sistemas «industrializados», los cuales usualmente tienen pequeños espesores.

Se abordarán: el muestreo de concreto en construcciones, mediante la extracción de núcleos; el uso de ensayos no destructivos (END) para caracterizar concreto, sus ventajas y limitaciones; la correlación entre los resultados de los END y la resistencia a la compresión del concreto; y criterios para la interpretación de los resultados de estos ensayos para obtener conclusiones representativas del estado real de la estructura en análisis.

En primer lugar, se hace una revisión de la normativa colombiana existente a la fecha, relacionada con la caracterización del concreto en estructuras existentes. Posteriormente se aborda la etapa de planeación, en la que se incluye la metodología, y criterios para ubicación y cantidad mínima de ensayos. Luego se explican la inspección preliminar y detallada. Finalmente se compilan criterios técnicos encontrados en documentos nacionales e internacionales referentes a la ejecución de los ensayos recomendados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 General:

- ✓ Proponer una guía de caracterización de materiales en edificaciones de muros en concreto reforzado (sistema industrializado) existentes.

### 2.2 Específicos:

- ✓ Identificar las diferentes etapas requeridas para realizar la caracterización de materiales de edificaciones en muros de concreto reforzado (sistema industrializado).
- ✓ Identificar actividades que presentaron inconvenientes durante el trabajo realizado para el proyecto de vivienda de interés prioritario Torres del Parque, Tunja, y plantear una posible solución.
- ✓ Realizar una revisión bibliográfica de los estándares que reglamentan cada una de las etapas de la caracterización de materiales en edificaciones de muros en concreto reforzado (sistema industrializado).
- ✓ Establecer un procedimiento para la caracterización del concreto de una estructura existente.
- ✓ Elaborar formatos de toma de datos para los ensayos de campo y laboratorio recomendados.
- ✓ Sugerir procedimientos de interpretación para los diferentes resultados obtenidos en ensayos de campo y laboratorio.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante la fase de planeación de la caracterización de materiales para el análisis de vulnerabilidad sísmica del proyecto de vivienda de interés prioritario Torres del Parque ubicado en la ciudad de Tunja, se evidenció que en la reglamentación vigente existe una serie de recomendaciones para su desarrollo (NSR-10 capítulos A.10 y C.20). Sin embargo, para algunas de las actividades a ejecutar únicamente se presentan referencias a normatividad y documentación extranjera, por este motivo se decide elaborar una guía adaptada a los requerimientos nacionales, con base en los estándares internacionales mencionados, con el propósito de contar con un documento que facilite la planeación y desarrollo de este tipo de estudios, y permita que su ejecución cumpla con estándares de calidad, asegurando resultados confiables.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Según cifras de la Cámara Colombiana de la Construcción -CAMACOL- del 2016, entre el segundo trimestre del 2012 y el cuarto trimestre del 2015 en las 16 principales áreas urbanas del país, el 40,37% del área de construcción iniciada para VIS correspondió a edificaciones de muros con Sistema Industrializado <sup>1</sup>. Algunas de estas estructuras, deben ser estudiadas, para verificar que su comportamiento estructural sea adecuado y cumpla a cabalidad con la normativa vigente. El proyecto de vivienda de interés prioritario Torres del Parque en la ciudad de Tunja, fue objeto de este tipo de estudio y durante la etapa de caracterización de materiales, se evidenció la falta de estándares nacionales para la correcta realización de dicha tarea, actividades que, por errores humanos o imprevistos durante la etapa de planeación, retrasan el desarrollo de actividades dependientes y el trabajo en general. La optimización de dichas actividades reducirá tiempos de trabajo y facilitará la caracterización de materiales en edificaciones construidas con sistema industrializado de muros en concreto reforzado

---

<sup>1</sup> J. D. García López and others, 'Comparación de Los Principales Sistemas Constructivos de VIS En Colombia, Desde Una Perspectiva de Sostenibilidad, Empleando BIM: Caso de Estudio En Soacha.' (Bogotá D. C.: Universidad de los Andes, 2016), pp. 567–77.

## 5. ALCANCE

De acuerdo con las experiencias del trabajo realizado para el proyecto de vivienda de interés prioritario Torres del Parque en la ciudad de Tunja, en apoyo al estudio de vulnerabilidad, se plantea este trabajo, el cual busca proponer una guía que funcione como metodología de la caracterización de materiales en edificaciones construidas con sistema industrializado de muros en concreto reforzado, la cual permita optimizar su desarrollo por fase.

### 5.1 Aplicaciones

Las investigaciones para evaluar la resistencia o condición del concreto en servicio se llevan a cabo usualmente por las siguientes razones:

- Encontrar condiciones en el concreto que causan o contribuyen a su comportamiento satisfactorio o a la falla.
- Establecer métodos para la reparación o reemplazo sin peligro de recurrencia del daño.
- Corroborar que se cumplen los requerimientos de la normatividad y/o especificaciones de construcción.
- Establecer responsabilidades financieras y legales para casos que involucran falla o comportamiento estructural inadecuado.
- Evaluar el desempeño de los materiales que conforman el concreto.
- Cuando los elementos estructurales en una edificación evidencian deterioro o debilidad generado por cargas excesivas o indebidas, explosiones, vibraciones, incendios, etc, manifestados con fisuración excesiva, desprendimientos de concreto, corrosión en el acero de refuerzo, deflexión o rotación excesiva en elementos estructurales, entre otros.
- Estructuras con diseños, detallado, materiales o construcción deficientes.
- Estructuras en las que hay duda sobre el adecuado funcionamiento estructural y se desconocen los criterios de diseño.
- Estructuras que serán objeto de ampliación o cambio en su uso u ocupación.
- Estructuras que requieren una evaluación del comportamiento previa a una reparación o reforzamiento.
- Estructuras que por orden del constructor requieren ser ensayadas antes de emitir un certificado de ocupación.

Una evaluación estructural es como un análisis médico en el caso de las personas, y siguiendo el mismo ejemplo, se debería realizar una evaluación si se detectan ciertos “síntomas” en las edificaciones, por ejemplo, si después de ciertos años y varios sismos, se detectan fisuras o deformaciones en elementos importantes de la vivienda como vigas o columnas, entre otras razones mencionadas anteriormente.

## 6. NORMATIVA COLOMBIANA

En muchas ocasiones es preciso determinar la resistencia real de las estructuras (en el sitio) debido a eventos pasados o futuros, tales como una ampliación de la estructura o cambios en sus condiciones de servicio ante la ocurrencia de un incendio, un sismo, una helada, o en general cualquier evento extraordinario, o para determinar la condición de la estructura por el uso, sus condiciones reales de trabajo y si tendrá un comportamiento adecuado ante las solicitaciones para las cuales fue diseñada, especialmente, cuando las edificaciones muestren anomalías que puedan alterar la confiabilidad para su utilización.

El Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes<sup>2</sup> (NSR-10 en adelante), es el documento que contiene los requisitos para edificaciones construidas (y por construir) en el país, y es de obligatorio cumplimiento al ser publicado como ley de la nación.

Sobre el tema en cuestión en NSR-10 el capítulo A.10 reglamenta la evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha versión del reglamento, con el propósito de que éstas cumplan con la filosofía de seguridad en qué se basa el reglamento: «una edificación debe ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y temblores fuertes sin colapso».

En la sección A.10.2 *estudios e investigaciones requeridas*, se establecen las investigaciones que se deben realizar sobre la construcción existente, «tendientes a determinar los siguientes aspectos de ella:

- a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.
- b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.
- c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.
- d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios de su comportamiento.
- e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.

---

<sup>2</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 'Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente-NSR-10' (Bogotá D. C.: AIS, 2017).



- f) Debe determinarse la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.»

En A.10.2.2 se habla de la evaluación o «calificación» del estado del sistema estructural de la edificación, la cual debe ser cualitativa, y basada en «la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual» para lo cual «se **puede** utilizar información tal como: registros de interventoría de la construcción y ensayos realizados especialmente para ello» para calificar la calidad del diseño y construcción originales.

Para la calificación del estado actual de la estructura se recomienda basarse en «sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual»

En el numeral A.10.4.3.3, referente a la resistencia existente de los elementos, se dice que esta «debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base en la información disponible y **utilizando su mejor criterio y experiencia**»

El numeral A.10.4.4 enuncia metodologías alternas que pueden ser utilizadas para la evaluación de edificaciones existentes, citando allí documentos técnicos producidos por asociaciones como The American Society of Civil Engineers-ASCE, the Applied Technology Council-ATC y the American Concrete Institute-ACI.

En el capítulo C.20 - *evaluación de estructuras existentes*, se dice que «si existen dudas de si una parte o toda una estructura cumple los requisitos de seguridad del Título C del reglamento NSR-10, debe realizarse una evaluación de resistencia de acuerdo con lo requerido por el profesional facultado para diseñar o la autoridad competente», resaltando la necesidad de conocer las propiedades de los materiales que las conforman.

Como se anota en el comentario CR20.1 «Puede requerirse una evaluación de la resistencia si se considera que la calidad de los materiales es deficiente, si existen evidencias de construcción defectuosa, si la estructura se ha deteriorado, si una edificación será usada para una nueva función, o si, por cualquier razón una estructura o parte de ella aparentemente no satisface los requisitos del Título C del reglamento NSR-10».

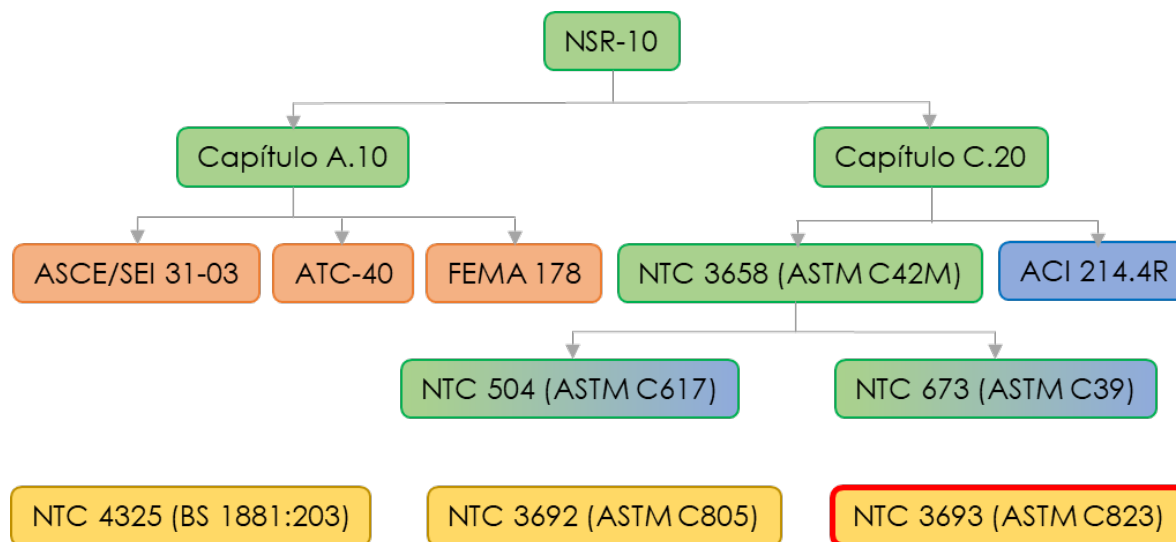
La evaluación de los materiales que conforman el concreto reforzado, de acuerdo con el reglamento, consiste en verificar la existencia de acero de refuerzo en la edificación, así como su ubicación y tamaño; y conocer la resistencia del concreto, mediante la extracción y ensayo de núcleos. Con estos datos se puede calcular un

$f'_c$  equivalente para la estructura, para lo cual NSR-10 recomienda acudir al documento ACI 214.4R. Este valor únicamente debe usarse para evaluar la resistencia de una estructura existente y no para evaluar resultados dudosos de resistencia obtenidos mediante el fallo de cilindros en estructuras nuevas. El método para obtener y ensayar los núcleos debe estar de acuerdo con la NTC 3658 (ASTM C42M).

El uso de ensayos no destructivos se menciona en el capítulo C.5 *calidad del concreto, mezclado y colocación* para determinar si una porción de una estructura tiene baja resistencia o no, se recomiendan: penetración de sonda, martillo de rebote (esclerómetro), velocidad de pulso ultrasónico o arrancamiento. Sin embargo, este capítulo hace referencia a la construcción de obras nuevas y no a la evaluación de estructuras existentes.

Con base en lo encontrado en NSR-10 se muestra en la Figura 1 lo indicado por el reglamento para este tipo de trabajos (en cuanto a documentos técnicos), se observa que los documentos mencionados hacen referencia únicamente a la ejecución e interpretación de la extracción y ensayo de núcleos.

Figura 1 Normatividad colombiana referente a la evaluación del concreto en estructuras existentes.



El color indica:



Elaboración propia

Aunque existe un documento elaborado por el ICONTEC para «inspección y muestreo en construcciones de concreto endurecido» (NTC 3693), donde se

abordan temas como la inspección visual y criterios para determinación de la cantidad de ensayos a realizar, este no es mencionado por el reglamento.

De igual forma en el capítulo C.20 no se mencionan los ensayos no destructivos, los cuales son de gran utilidad en este tipo de investigaciones, y cuyo uso ya ha sido normalizado por el ICONTEC mediante la publicación de sus normas técnicas respectivas.

## **6.1 Normas técnicas colombianas**

A continuación, se muestra un breve resumen de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) relacionadas con este tipo de trabajos, las cuales serán tratadas con mayor detalle en secciones posteriores de este documento.

### **6.1.1 Obligatoriedad de las normas técnicas**

Según NSR-10, «las Normas Técnicas Colombianas NTC, **citadas** en el título C, hacen parte de él. Las normas NTC son promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, único organismo nacional de normalización reconocido por el gobierno de Colombia». Estas tienen prelación en nuestro país sobre cualquier normatividad internacional. En aquellos casos donde no exista una norma NTC, se acepta la utilización de normas de la sociedad Americana de Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials - ASTM) o de otras instituciones.

### **6.1.2 NTC 3693: Práctica para la inspección y muestreo en construcciones de concreto endurecido.**

La Norma Técnica Colombiana 3693 trata los procedimientos para la inspección y muestreo de construcciones de concreto endurecido.

La inspección aquí desarrollada incluye procesos como inspección visual, revisión de planos y especificaciones de obra. Para evaluar la condición del concreto de las edificaciones la norma recomienda el uso de procedimientos no destructivos como el número de rebote del concreto endurecido (NTC 3692) y la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico (NTC 4325); y para las secciones críticas o de mayor incertidumbre, la extracción y ensayo de núcleos con taladro (NTC 3658).

### **6.1.3 NTC 3692: Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.**

La Norma Técnica Colombiana 3692 aborda el Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido usando un martillo de acero impulsado por resorte.

Los datos obtenidos por este método se deben relacionar con las resistencias del concreto que conforma las edificaciones para su interpretación, para esto la norma recomienda la extracción y falla de núcleos de acuerdo a la NTC 3658.

#### **6.1.4 NTC 4325: Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto.**

La Norma Técnica Colombiana 4325 reúne la información necesaria para el ensayo no destructivo de estructuras de concreto mediante la velocidad de pulso ultrasónico a través de este.

La velocidad del pulso a través del concreto depende de varios factores, y debe usarse para localizar áreas de diferente calidad teniendo como referencia núcleos de concreto extraídos de los mismos sitios, estos proporcionan un rango de resistencias. Los núcleos extraídos se deben evaluar de acuerdo con la NTC 3658.

#### **6.1.5 NTC 3658: Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.**

La Norma Técnica Colombiana 3658 describe el método para la obtención, preparación y ensayo de núcleos de concreto extraídos por taladrado.

Esta norma recomienda acudir a la NTC 3693 para desarrollar un plan de muestreo para estructuras de concreto, como también a la NTC 504 para mejorar los extremos antes de la falla de los núcleos (refrentar) y a la NTC 673 para el ensayo de los núcleos obtenidos.

#### **6.1.6 NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.**

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.

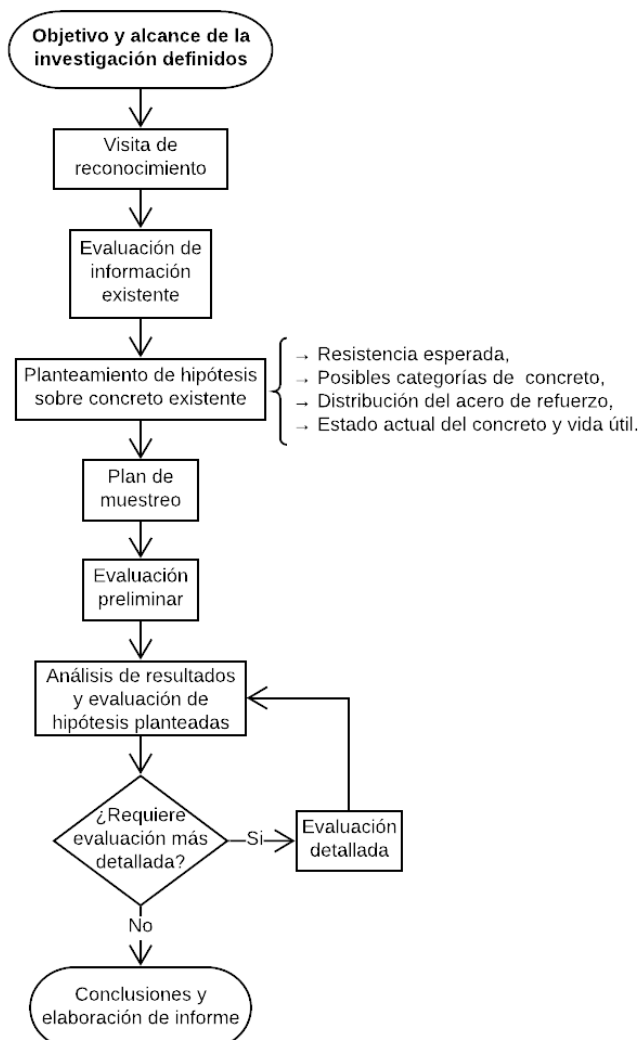
Las normas técnicas colombianas estudiadas son adaptaciones modificadas, o en algunos casos, copias idénticas de normativa internacional, es por esto que en ocasiones se encuentran referencias a estas normas sin una correspondiente NTC. Se tratará a continuación las normas mencionadas y su aplicación en muros de carga con sistema industrializado de construcción.

## 7. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE CONCRETO ENDURECIDO

Es importante contar con una metodología clara para desarrollar este tipo de investigaciones. Se puede desperdiciar una gran cantidad de tiempo, esfuerzo y dinero en pruebas de campo a menos que los objetivos de la investigación estén claramente establecidos desde el principio<sup>3</sup>.

De acuerdo con el trabajo realizado en el conjunto de vivienda de interés social *Torres del Parque* en la ciudad de Tunja se propone una metodología para el desarrollo de la investigación de materiales, la cual se ilustra en la Figura 2.

Figura 2 Metodología desarrollada para el proyecto Torres del Parque en Tunja

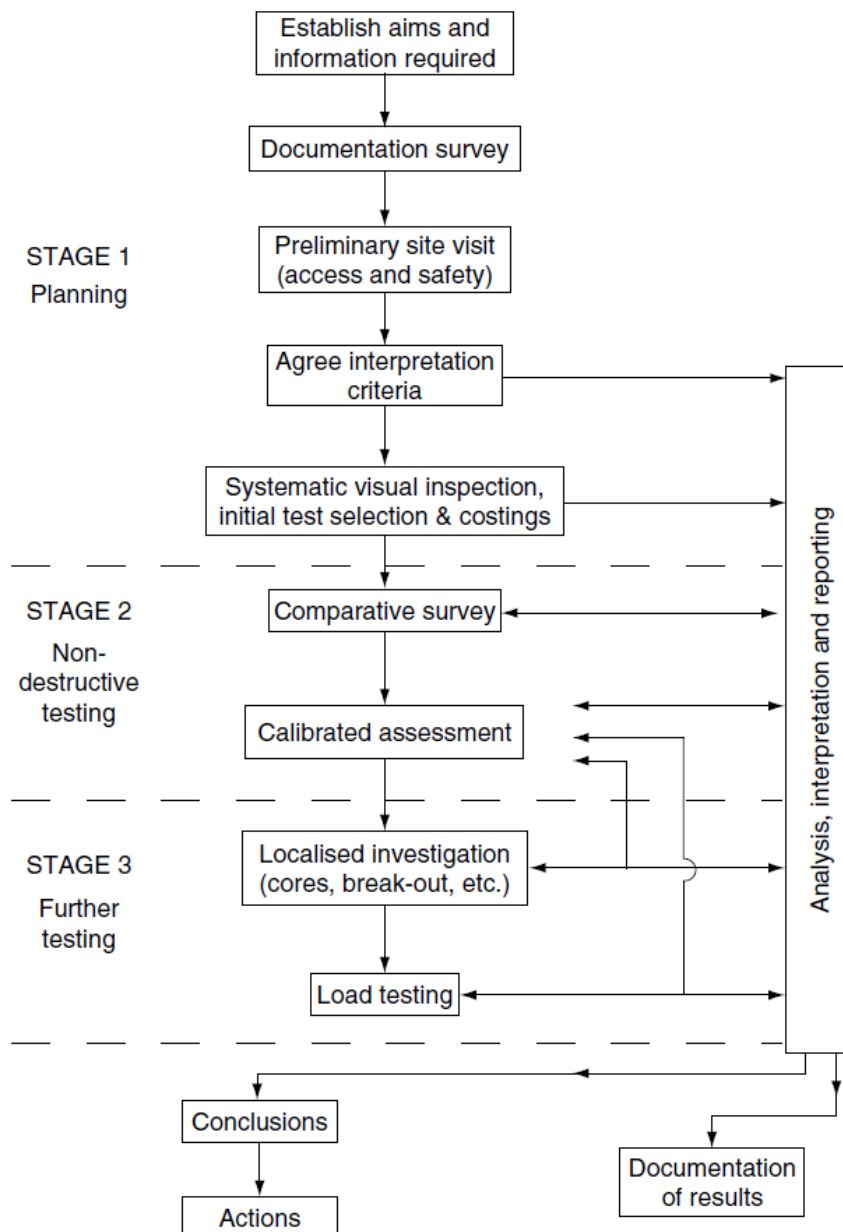


Elaboración propia

<sup>3</sup> John H Bungey, Stephen G Millard, and Michael G Grantham, *Testing of Concrete in Structures*, 4th edn (Abingdon, Oxon: Taylor & Francis, 2006).

Bungey, Millard y Grantham, proponen unas etapas típicas que en general deben tener este tipo de investigaciones, compuesta de tres pasos, como se observa en la Figura 3. Se observa similitud entre las metodologías, sin embargo, se considera que la realización de análisis e interpretación como actividades paralelas a la investigación permite que el trabajo sea más eficiente. La investigación llegará solo hasta el punto necesario para obtener conclusiones firmes y relevantes <sup>4</sup>.

Figura 3 Etapas típicas del programa de ensayos.



Bungey, Millard, and Grantham, 4<sup>o</sup> edición.

<sup>4</sup> Bungey, Millard, and Grantham.

En la primer etapa se deben definir claramente los objetivos que se quieren cumplir con la investigación, realizar un estudio de los documentos disponibles sobre el diseño y la construcción de la edificación en análisis, llevar a cabo una visita preliminar en la que se analicen aspectos como la accesibilidad a los diferentes puntos que podrían ser objeto de estudio y las medidas de seguridad pertinentes, elaborar los criterios de interpretación y socializarlos con las partes interesadas para llegar a un acuerdo y realizar una inspección visual, la cual servirá para establecer posibles fallos o defectos existentes y definir los ensayos requeridos para desarrollar la investigación.

En la etapa dos se ejecutan ensayos no destructivos en la estructura bajo análisis, previa localización establecida con base en los resultados de la inspección visual, en primer lugar, se recomienda hacer una comparación entre los resultados obtenidos, con el fin de definir las clases de concreto existentes, o de localizar lugares que puedan ser críticos. En esta etapa también se pueden utilizar curvas previamente calibradas para determinar resistencias del concreto, teniendo presentes sus limitaciones.

Si se considera necesaria la realización de la tercera etapa, con base en los resultados previamente obtenidos se definirán las ubicaciones para realizar ensayos complementarios, como la extracción de núcleos, de esta forma será posible calibrar curvas de correlación para que los resultados de los END puedan ser convertidos a resistencia del concreto con mayor certidumbre.

El análisis como actividad continua a lo largo del desarrollo de la investigación se considera importante, ya que permitirá tomar decisiones sobre la marcha, con base en los resultados encontrados en cada etapa, teniendo siempre presentes los objetivos, y posiblemente el presupuesto disponible para la investigación.

A continuación, se presenta un breve desarrollo de cada una de las etapas involucradas, teniendo en cuenta requerimientos de los documentos técnicos colombianos, y de algunos documentos de otros países, que abordan el tema con criterios que pueden no ser muy claros en la normativa nacional.

## **7.1 Etapa 1: planeación**

Cualquier investigación estructural debe ser planeada y ejecutada cuidadosamente, para asegurar que la información obtenida sea suficiente para proporcionar una evaluación suficientemente confiable de las propiedades del concreto en la estructura bajo análisis.

### **7.1.1 Establecimiento de los objetivos de la investigación.**

Diversas situaciones pueden generar la necesidad de evaluar propiedades mecánicas y/o físicas de los materiales que componen una estructura. Es

importante que este motivo sea tenido en cuenta a la hora de elaborar el plan de ensayos a desarrollar. De acuerdo con los documentos estudiados, para estructuras existentes la evaluación puede tener, entre otras, las siguientes aplicaciones:

- Determinar la capacidad del concreto para desempeñarse satisfactoriamente bajo condiciones anticipadas del servicio futuro
- Identificar procesos o materiales que causan daños o fallas
- Descubrir condiciones en el concreto que causaron o contribuyeron al comportamiento satisfactorio o a la falla
- Establecer métodos para la reparación o reemplazo sin peligro de recurrencia de daño
- Determinar la conformidad con los requerimientos de las especificaciones de construcción
- Desarrollar datos para ayudar a fijar las responsabilidades financieras y legales para casos que involucran falla o comportamiento insatisfactorio.

### 7.1.2 Análisis de información disponible

Con el fin de plantear un plan de ensayos adecuado y consistente con el objetivo de la investigación, se recomienda estudiar la información disponible (planos y memorias de diseño, bitácoras de obra, resultados de ensayos de materiales, entre otros) del diseño y construcción.

Con base en el análisis de esta información puede ser posible la definición de resistencias esperadas del concreto o clases de concreto existentes en la estructura bajo análisis. Estas y otras posibles hipótesis producto de esta etapa deben ser consignadas y puestas en conocimiento de las partes interesadas.

De acuerdo con el documento ASCE 41-17, las propiedades especificadas en los documentos de construcción deben ser tomadas como propiedades de *límite inferior*, las cuales deben ser multiplicadas por el factor correspondiente de la Tabla 1 para ser convertidas en propiedades *esperadas* del material<sup>5</sup>, aunque no se explica la selección de estos valores, es importante tener presente que la resistencia encontrada en sitio, suele ser inferior que la especificada en los diseños. ASCE 41-17 permite el uso de factores diferentes a los mostrados en la tabla, cuando estos se justifiquen con resultados de ensayos<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> American Society of Civil Engineers, *41-17-Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (Reston, Virginia, 2017) <<https://doi.org/10.1061/9780784414859>>.

<sup>6</sup> American Society of Civil Engineers.



Tabla 1 Factores para convertir propiedades de límite inferior a propiedades esperadas de los materiales.

Material Property	Factor
Concrete compressive strength	1.50
Reinforcing steel tensile and yield strength	1.25
Connector steel yield strength	1.50

ASCE 41-17

### 7.1.3 Visita de reconocimiento

Para iniciar la investigación es recomendable que se haga un recorrido general en el que se identifique el tipo de estructura a estudiar, características como número de pisos, sistema estructural y acceso a posibles puntos de interés. Se considera importante la evaluación de las medidas de seguridad que se puedan necesitar en etapas posteriores para la ejecución de inspecciones, y de encontrarse con edificaciones habitadas, la socialización del proyecto a desarrollar con los habitantes, de tal forma que más adelante se eviten, en lo posible, inconvenientes de ingreso a los lugares por estudiar.

### 7.1.4 Inspección visual

Se recomienda que se lleve a cabo una inspección visual de todos los componentes de la estructura, centrándose en la detección y registro de signos de deterioro<sup>7</sup>. Pueden ser usados binoculares si el acceso no permite una observación directa, realizando un reportaje fotográfico lo más extenso posible, se debe comprobar si los síntomas y la naturaleza del problema (si existe) es igual en todos los elementos o existe más de una problemática en el conjunto. Se deben anotar todos los síntomas visuales encontrados<sup>8</sup>.

La planeación incluye la consideración de los ensayos más apropiados para cumplir los objetivos de la investigación, la extensión y cantidad de ensayos requeridos para reflejar el estado real del concreto y su ubicación. La inspección visual es una etapa especial sin importar el objetivo del programa de ensayos, y permite que los ensayos sean aplicados de la mejor forma posible<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Jesús Rodríguez and others, 'Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas Por Corrosión de La Armadura' (CONTECVET-IN 309021, 2001).

<sup>8</sup> S Feliu and C Andrade, 'Manual Inspección de Obras Dañadas Por Corrosión de Armaduras' (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, 1989), p. 96.

<sup>9</sup> Bungey, Millard, and Grantham.

De acuerdo con NTC 3693<sup>10</sup>, la extensión de la investigación y de los procedimientos que sean los más apropiados para la inspección dependen de una decisión en cuanto a los objetivos de la investigación y el nivel de confiabilidad requerido de los datos resultantes de los ensayos.

Como se indica en BS EN 13791<sup>11</sup>, el objetivo de la evaluación de las propiedades del concreto endurecido en una estructura afecta la selección de las zonas de ensayo. Se deben *identificar una o varias zonas de ensayo*, y dentro de cada una se debe definir la *cantidad y ubicación de los ensayos*. El número de resultados de ensayos obtenidos en una región influye en la confiabilidad de la evaluación.

### 7.1.5 Cantidad y ubicación de ensayos

#### ○ *Cantidad*

Para la cantidad de ensayos, los documentos técnicos consultados hacen referencia al número mínimo de ensayos requerido. Se considera que es importante, con base en los resultados obtenidos evaluar la necesidad de incrementar este número.

De acuerdo con ASCE 41-17<sup>12</sup> los ensayos de materiales no son necesarios si las propiedades de los materiales se encuentran disponibles en documentos de construcción que incluyan registros o reportes de ensayos, que sean representativos de todos los elementos críticos de la estructura. Cuando no se cuente con esta información se pueden presentar dos tipos de recolección de información, general y detallada:

- *Recolección general de información.*

La cantidad mínima de ensayos para determinar propiedades del concreto para el caso de *recolección general de información* se basará en los siguientes criterios:

1. Si la resistencia de diseño del concreto *es conocida*, se extraerá al menos un núcleo por cada categoría de concreto en la construcción, con un mínimo de *tres* núcleos extraídos en la edificación completa.
2. Si la resistencia de diseño del concreto *no es conocida*, al menos un núcleo será extraído en cada tipo de elemento del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas, con un mínimo de *seis* núcleos extraídos en la edificación completa.

---

<sup>10</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido” (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1995); American Society for Testing and Materials, “C823-Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions” (West Conshohocken, Pennsylvania, 2017).

<sup>11</sup> Comité Européen de Normalisation, ‘EN 13791 Assessment of In-Situ Compressive Strength in Structures and Precast Concrete Components’ (Bruselas, 2007), p. 30.

<sup>12</sup> American Society of Civil Engineers.

- *Recolección detallada de información.*

**Coefficiente de variación:** A menos que se especifique lo contrario, mínimo de tres ensayos serán ejecutados para determinar cualquier propiedad. Si el coeficiente de variación excede el 20%, se deberán ejecutar ensayos adicionales hasta que el coeficiente de variación sea igual o menor al 20%. Si los ensayos adicionales no reducen el valor del coeficiente de variación se usará una reducción por factor de conocimiento como se indica más adelante. Para determinar el coeficiente de variación, los núcleos serán agrupados por categorías de concreto y tipos de elemento.

Para cada tipo de elemento del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas, así como sistemas secundarios cuya falla podría resultar en riesgo de colapso, mínimo tres núcleos serán extraídos y ensayados a compresión. En total, mínimo seis ensayos serán ejecutados en una edificación para determinar la resistencia del concreto. Si diferentes categorías o clases de concreto fueron usadas en la construcción de la edificación, mínimo tres muestras y ensayos serán ejecutados por cada categoría y clase. Se permite determinar el módulo de elasticidad y la resistencia a tracción con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión. Las muestras serán extraídas de elementos, distribuidos en toda la edificación, que sean críticos para el comportamiento estructural de la edificación.

En elementos identificados como dañados o deteriorados se ejecutarán ensayos para cuantificar su condición. Los resultados de ensayos ejecutados en áreas deterioradas se compararán con los valores de resistencia especificados en los documentos de construcción. Si se encuentran resultados de ensayos menores que la resistencia especificada en los documentos de construcción, se ejecutarán ensayos adicionales para determinar la causa o identificar el grado de deterioro.

La cantidad mínima de ensayos para determinar la resistencia a la compresión del concreto en cada tipo de elemento se ajustará a uno de los siguientes criterios:

1. Para elementos de concreto cuya resistencia de diseño es conocida pero no hay resultados de ensayos disponibles, mínimo tres ensayos de núcleos se ejecutarán por cada nivel de piso, 300 m<sup>3</sup> de concreto, o 930m<sup>2</sup> de área superficial, el que requiera la mayor frecuencia de ensayos.
2. Para elementos de concreto cuya resistencia de diseño es desconocida y no hay resultados de ensayos disponibles, mínimo seis ensayos de núcleos se ejecutarán por cada nivel de piso, 300 m<sup>3</sup> de concreto, o 930m<sup>2</sup> de área superficial, el que requiera la mayor frecuencia de ensayos. Cuando los resultados indiquen que se usaron diferentes clases de concreto, el grado de ensayo se incrementará para confirmar el uso de las clases.

3. Alternativamente, para elementos de concreto cuya resistencia de diseño es conocida o desconocida y no hay resultados de ensayos disponibles, se permite determinar el límite inferior de resistencia a la compresión, de acuerdo con las provisiones de la sección 6.4.3 de ACI 562-16. Si el límite inferior de resistencia a la compresión es determinado de esta forma, la resistencia a la compresión esperada se determinará como ese valor más una desviación estándar de la resistencia de los núcleos. Cuando se sigan las recomendaciones de esta sección, el número mínimo de muestras por elemento será cuatro (4). La localización del muestreo será:
  - a. Distribuida para determinar las propiedades del material de los elementos de la edificación en la totalidad de su altura, y
  - b. Distribuida para determinar las propiedades del material de los elementos en ubicaciones críticas del sistema estructural investigado.

○ *Ubicación*

Cuando se determinen propiedades de los materiales mediante la extracción y ensayo de muestras, éstas deben ser tomadas en elementos que componen los sistemas de resistencia ante cargas gravitacionales y sísmicas, en las zonas con menores esfuerzos<sup>13</sup>.

La compactación y el curado del concreto, junto a diferencias en los materiales, técnicas de mezclado, transporte y manejo, producen variabilidad de las propiedades del concreto dentro de un elemento. Maynard y Davis estudiaron la variación de la resistencia en diferentes tipos de elementos, sus resultados se pueden observar en la Figura 4<sup>14</sup>.

Los ensayos para verificación de cumplimiento con especificaciones deben ser ejecutados en concreto *típico*, por lo tanto, las zonas superiores de los elementos deben ser evitadas. Se recomienda que los ensayos sean realizados en la altura media de vigas, columnas y muros, para las placas únicamente se debe ensayar la parte inferior, a menos que se retire la capa superior del concreto<sup>15</sup>.

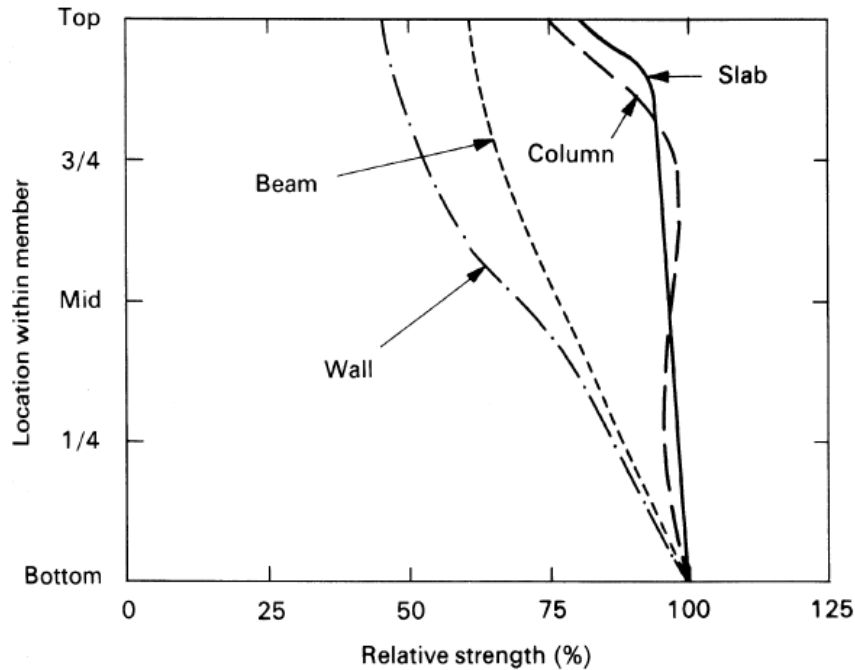
---

<sup>13</sup> American Society of Civil Engineers.

<sup>14</sup> D.P Maynard and S.G Davis, 'The Strength of In-Situ Concrete', *Structural Engineer*, 10 (1974), 369–74.

<sup>15</sup> Bungey, Millard, and Grantham.

Figura 4 Variación de la resistencia dentro de los elementos.



Maynard y Davis, 1974

## 7.2 Evaluación preliminar

El objetivo de las evaluaciones preliminares es verificar la existencia de una condición insatisfactoria para describir su naturaleza y estimar su extensión y posible efecto sobre el desempeño, vida útil y seguridad de la estructura. Una investigación de la falla o desempeño inadecuado del concreto en las construcciones se basa en una conclusión, usualmente de los ocupantes o propietario, de que existe o es inminente una condición insatisfactoria. Estas conclusiones pueden ser apreciaciones erróneas, ya sea porque la condición observada es insignificante, o porque la extensión total del daño o insuficiencia no ha sido detectada.<sup>16</sup>

Una evaluación preliminar, además del estudio de la información encontrada en la fase de planeación, debe incluir una inspección visual de la estructura y ensayo de algunas de sus partes para observar la condición del concreto que la compone. También se puede realizar la medición de algunos elementos estructurales elegidos aleatoriamente para corroborar sus dimensiones.

---

<sup>16</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido', p. 4.

La condición del concreto in-situ se puede estimar usando ensayos no destructivos, tales como número de rebote del concreto endurecido y métodos ultrasónicos, como el descrito en la norma NTC 4325 (ASTM C597), como lo recomienda el reglamento NSR-10<sup>17</sup>, los cuales son indispensables para evaluar la uniformidad del concreto que compone una estructura y corroborar si existen variaciones en sus propiedades.

No solo las propiedades mecánicas del concreto tienen injerencia en su desempeño, sino que también su composición química resulta fundamental para evaluar la durabilidad de la estructura. La actual normatividad colombiana da una idea de los procesos a seguir cuando se desea conocer la resistencia del concreto de una edificación o sus variaciones, pero no contempla la evaluación química del concreto.

La principal propiedad química del concreto es su capacidad de proteger al acero de refuerzo de los agentes oxidantes del medio ambiente y la corrosión, esto se debe a su alcalinidad (rango de pH de 12 a 13). Cuando el pH baja a niveles de 9,5 o menos, se inician procesos de corrosión.

Por lo anterior es indispensable tener un control del avance del dióxido de carbono en los elementos de una estructura de concreto reforzado para corroborar su vida útil de servicio. Este avance puede evidenciarse con el uso de una solución de fenolftaleína al 1%, en el ensayo de carbonatación.

El procedimiento que debe seguirse en esta fase de la evaluación del concreto, que sucede la fase de planeación, se describe en la Figura 5.

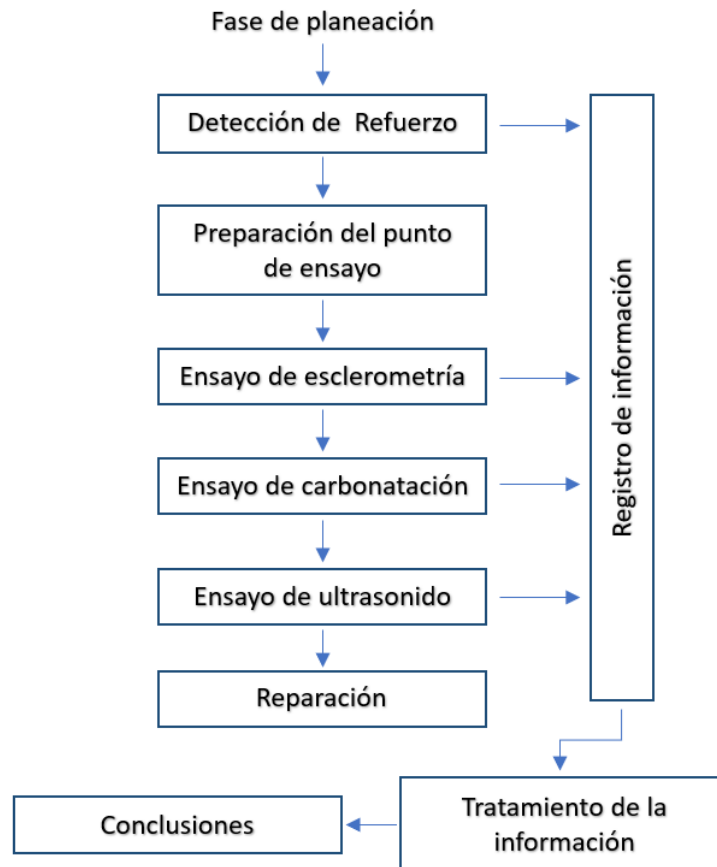
Realizados los ensayos y registrada la información se debe proceder a su tratamiento. Los datos obtenidos de la realización de los ensayos no destructivos sobre el concreto deben encontrarse en formatos diligenciados de forma clara, para que así se puedan digitalizar y tratar de manera fácil, lo cual es indispensable antes de realizar su procesamiento global y comparación. Por ejemplo, los resultados de esclerometría se deben promediar, y la velocidad de pulso se debe calcular teniendo en cuenta si hubo acero de refuerzo o no<sup>18</sup>. Posterior a esto se pueden realizar comparaciones con los resultados de los mismos ensayos a lo largo de toda la estructura para determinar si existen distintas categorías de concreto en ella. Se recomienda graficar los resultados de los ensayos para observar posibles patrones y compararlos con las gráficas propias de los equipos para determinar si existen lugares con aparentemente menor resistencia que otros.

---

<sup>17</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica., capítulo C.5.6.5.

<sup>18</sup> Bungey, Millard, and Grantham., p. 23.

Figura 5 Evaluación preliminar del concreto endurecido.



Fuente: propia

**Nota:** aunque los ensayos no destructivos no afectan el desempeño del elemento estructural, en muchas ocasiones se deben retirar sus acabados para tener contacto directo con el concreto en el sitio y obtener datos más precisos de los ensayos. Debido a esto, se deben reparar las afectaciones cuando así se disponga.

### 7.3 Evaluación detallada

Según la norma ASTM C823, una investigación detallada del concreto en las construcciones debe incluir todos los procedimientos que se requieran para lograr el alcance y objetivos aprobados dentro de la metodología y la programación autorizadas, después de la evaluación preliminar, para establecer la condición general del concreto y la extensión de cualquier desempeño insatisfactorio. La investigación detallada debe comprender:

- Inspección completa de las construcciones en concreto.
- Estudios y ensayos de campo para definir y evaluar la condición del concreto en sitio y la seguridad de las construcciones.

- Toma de muestras para ser inspeccionadas y ensayadas por procedimientos de laboratorio.

Después de definir la existencia de lugares críticos o resistencias bajas en la estructura, en la evaluación preliminar (identificar todas las partes afectadas de las construcciones tan cuantitativamente como sea posible), se debe proceder a la extracción de núcleos en los lugares establecidos, los cuales se deben fallar a compresión para obtener el valor de su resistencia. Los núcleos proporcionan la información más confiable para una evaluación de resistencia in-situ. Pero causan más daño, son más caros y más lentos que los ensayos no destructivos.

obtenidos estos valores se pueden establecer correlaciones con los datos obtenidos de los ensayos de esclerometría y ultrasonido para así poder caracterizar adecuadamente la totalidad del concreto de la edificación, tomando como referencia los lugares donde se realizan ensayos.

Los resultados de resistencia también deben usarse para el cálculo de una resistencia de diseño  $f'_c$  equivalente, para esto, los datos de resistencia deben afectarse por los coeficientes definidos para cada factor que las influye. El reglamento NSR-10<sup>19</sup> recomienda seguir los procedimientos descritos en la norma ACI 214.4R para encontrar este valor.

### **7.3.1 Características del concreto a ensayar**

Las condiciones variables de exposición sobre el área de las construcciones durante y después de la construcción pueden influir en la condición del concreto al momento de ensayarse, ejemplos de esto son:

- Diferencias en la exposición térmica al calentamiento solar: las partes con sombra están probablemente sometidas a los rangos más bajos de ciclos térmicos diurnos.
- Diferencias en la exposición a la humedad: pueden provenir de la ubicación de la construcción con respecto a los vientos prevalecientes durante los tiempos de lluvia o heladas, y los cuales serán afectados por los ciclos térmicos diurnos.
- Diferencias en la composición mineral de la subrasante: parte de la construcción está localizada sobre una cimentación que contenga arcilla expansiva o contenido de sulfuros o sulfatos inestables, generando asentamientos diferenciales en la estructura.

---

<sup>19</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente-NSR-10” (Bogotá D. C.: AIS, 2010), capítulo C20.2.3.



- Diferencias en el contenido de humedad de la subrasante durante la construcción: puede darse por la ubicación del lote o factores antrópicos.

Los materiales y condiciones de la cimentación y de la subrasante deben ser examinados cuidadosamente si hay alguna posibilidad de que afecten el servicio o desempeño del concreto. <sup>20</sup>

**Tabla 2 Profundidad mínima a perforar según el tipo de elemento y su espesor.**

Tipos de Construcción	Espesor de la Sección (m)	Profundidad Mínima a ser Muestreada (m)
Placas, pavimentos, muros, recubrimientos, elementos estructurales accesibles desde un solo lado.	0,3 o menos 0,3 o más	toda la profundidad 0,3
Placas aéreas <sup>B</sup> , muros, conductos, cimentaciones, elementos estructurales expuestos a la atmósferas en dos o más lados, productos de concreto	0,15 o menos 0,15 - 0,6	toda la profundidad la mayor entre la mitad del espesor y 0,15
Secciones Masivas	0,6 o más	0,6

**B:** cuando se taladran placas aéreas, es recomendable dejar los 25 mm inferiores sin perforar, para no perder el

**Fuente:** ASTM C823 Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions.

Las observaciones hechas, la información relevante recolectada por medio de reportes, documentos legales y entrevistas, como también los resultados de la evaluación preliminar, deberán ser incluidas en un reporte remitido a todos aquellos para quienes se realizó y preparó el estudio, dicho reporte debe ser anexado a un documento más extenso que cubra otras fases en una investigación de alcance más amplio. <sup>21</sup>

## 8. MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

### 8.1 Ensayos no destructivos

Actualmente no hay pruebas in-situ que proporcionen mediciones directas de la resistencia a la compresión del hormigón en una estructura existente. Los ensayos no destructivos en una edificación ofrecen ventajas de velocidad, costo y afectación de los elementos ensayados, en comparación con los métodos de prueba que requieren la extracción de muestras. El rango de propiedades que se pueden medir

<sup>20</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido”, p. 6.

<sup>21</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido”, p.6.

con estos ensayos es considerable <sup>22</sup>. Se requiere de cuidado para establecer relaciones certeras de resistencia a la compresión basadas en estos ensayos <sup>23</sup>

Los ensayos no destructivos (END) también permiten evaluar el estado del concreto en cimentaciones profundas, puentes, edificios, pavimentos, presas y otras construcciones de concreto reforzado. Los ensayos no destructivos se definen como pruebas que no causan daños estructurales significativos al concreto <sup>24</sup> y se aplican a las construcciones en concreto por cuatro razones principales:

- Control de calidad de obra nueva;
- Solución de problemas con la nueva construcción;
- Evaluar la condición actual de edificaciones antiguas en concreto con propósitos de rehabilitación; y
- Garantizar la calidad de las reparaciones del hormigón.

Existen diferentes clases de ensayos no destructivos e invasivos distintos a los que aquí se tratan. Se ha decidido hacer énfasis en pruebas como número de rebote del concreto endurecido, velocidad de pulso ultrasónico y profundidad del frente de carbonatación, ya que son las recomendadas por el reglamento sismo resistente NSR-10 en su capítulo C.5.6.5 y la NTC 3693 (práctica para la inspección y muestreo en construcciones de concreto endurecido), además de ser los más prácticos, económicos y los que menos afectan los elementos que componen las edificaciones.

Dichos ensayos resultan fáciles de llevar a cabo en los elementos donde se extraen núcleos por taladrado que posteriormente se fallan a compresión, lo que permite la correlación de sus resultados.

### **8.1.1 Aplicaciones de los ensayos no destructivos**

La calidad de las estructuras en concreto se ha garantizado, normalmente, por medio de la inspección visual de los procesos constructivos y del muestreo del concreto para realizar pruebas estándar a especímenes frescos y endurecidos. En algunos casos, estos registros no proporcionan información suficiente para obtener datos confiables acerca de la resistencia de las estructuras. Los END ofrecen la ventaja de proporcionar información sobre las propiedades del concreto endurecido,

---

<sup>22</sup> British Standards Institution, '1881-201-Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete' (Londres, Reino Unido: BSI, 1986), pp. 1–12.

<sup>23</sup> "13. ACI 437R - Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings.pdf", p.4.

<sup>24</sup> American Concrete Institute, "228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures" (Farmington Hills, Estados Unidos, 1998), p 4.

como las constantes elásticas, la densidad, la resistividad, el contenido de humedad y las características de penetrabilidad.<sup>25</sup>

La norma ACI 228.2R señala que los ensayos no destructivos son cada vez más usados para la investigación de estructuras de concreto endurecido y menciona algunas de sus ventajas:

- Mejoras tecnológicas en hardware y software para la recolección y análisis de datos;
- Las ventajas económicas en la evaluación de grandes volúmenes de hormigón en comparación con la extracción de muestras;
- capacidad para realizar evaluaciones rápidas e integrales de la construcción existente; y
- Posibilidad de probar la calidad de cimentaciones profundas y reparaciones de concreto.

Según el British Standard 1881 los END en estructuras existentes generalmente se relacionarán con una evaluación de la integridad o adecuación estructural, ya sea por sí solas o como complemento de otro tipo de pruebas. Menciona que los END son útiles para los siguientes casos:

- Solucionar incertidumbres sobre la aceptación de material suministrado, ocasionadas por aparente incumplimiento de especificaciones,
- Resolver dudas sobre mano de obra involucrada en los procesos de mezclado, colocación, compactación y curado del concreto,
- Monitorear la evolución de la resistencia con respecto a el desmonte de la formaleta, la finalización del curado, la aplicación de cargas u otras actividades,
- Ubicar y determinar la extensión de fisuras, vacíos, hormigueros, y defectos similares dentro de la estructura de concreto,
- Determinar la posición, cantidad, y/o condición del acero de refuerzo,
- Determinar la uniformidad del concreto, posiblemente como actividad preliminar a la extracción de núcleos, pruebas de carga u otros ensayos más costosos o destructivos,
- Aumentar el nivel de confianza de un pequeño número de ensayos destructivos,
- Determinar el grado de variabilidad del concreto con el fin de ayudar en la selección de ubicaciones de muestreo representativas de la calidad a ser evaluada,

---

<sup>25</sup> American Concrete Institute, "228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures", p. 4.

- Confirmar o ubicar posibles daños en el concreto, ocasionados por sobrecargas, fatiga, ataques o cambios químicos externos o internos, fuego, explosión o efectos ambientales,
- Evaluar la posible durabilidad del concreto,
- Monitorear cambios a largo plazo en propiedades del concreto,
- Proporcionar información para cualquier cambio de uso de una estructura, para aseguradoras, o por cambio de propietario.

La norma ACI 228.2R indica que los estudios de la condición del concreto para realizar evaluaciones estructurales se han basado principalmente en inspección visual, sondeo de las superficies, y extracción de núcleos, enfoque que no resulta del todo confiable al limitar lo que puede detectarse, por ejemplo, los núcleos solo proporcionan información de la ubicación de donde se extrajeron. Dichos estudios se pueden complementar con END para proporcionar información más completa del desempeño estructural del concreto en la edificación. Algunos datos importantes que se pueden obtener son:

- Dimensiones de los miembros;
- Ubicación de fisuras, delaminación y desprendimiento;
- Grado de consolidación, y presencia de vacíos y colmenas;
- Ubicación y tamaño del acero de refuerzo;
- Corrosión del refuerzo; y
- Grado de daño por heladas, incendio o exposición química.

En conclusión, los ensayos no destructivos proporcionan información de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del concreto de edificaciones sin realizar prácticas que afecten la seguridad o integridad de las estructuras.

### **8.1.2 Detección del acero de refuerzo**

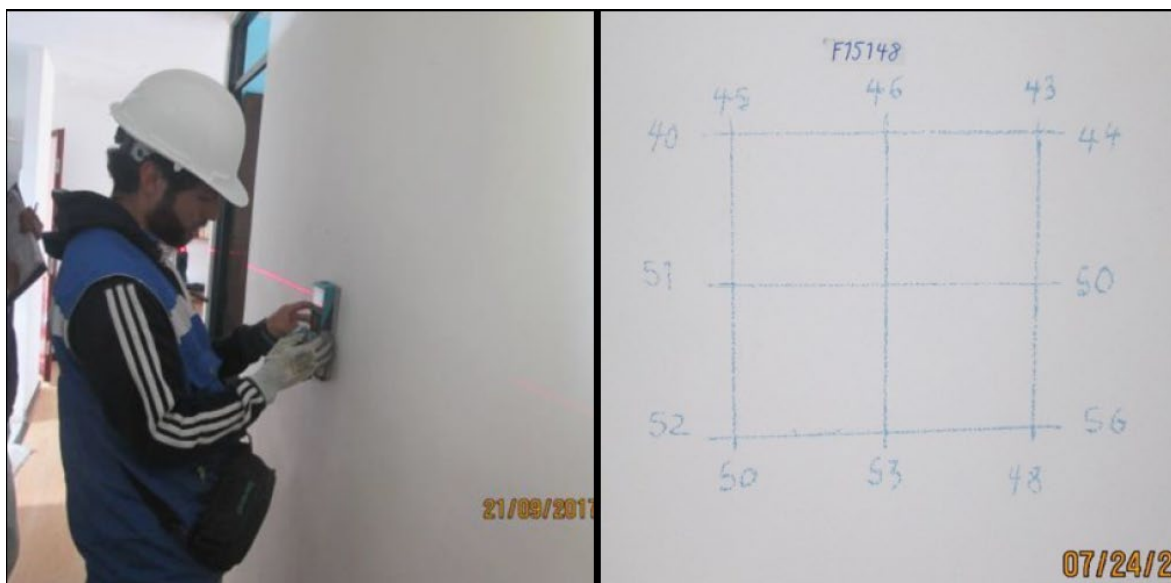
Antes de llevar a cabo ensayos no destructivos (END) sobre muros de carga en concreto reforzado, se debe realizar inicialmente un barrido para detectar y localizar el acero de refuerzo (generalmente refuerzo electrosoldado), presente en el elemento al que se desea intervenir, con el fin de evitarlo tanto como sea posible al momento de su realización, ya que el acero puede alterar sus resultados.

En cada ensayo descrito durante el desarrollo de este documento se describirá la incidencia que puede tener el acero en sus resultados.

La localización del refuerzo en el concreto puede realizarse estudiando los planos y diseños iniciales de las edificaciones si se realizan verificaciones puntuales para

confirmar su información. <sup>26</sup> Se recomienda contar con un detector de metales (pacómetro), ya que es una herramienta más precisa que, además de mostrar la posición, indica el recubrimiento de las barras dentro del concreto como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6** Detección de refuerzo: procedimiento (izquierda), marcación (derecha).



Fuente: propia.

En lugares donde el recubrimiento es inferior a 50 mm (2 pulg.), el tamaño, el espaciamiento y recubrimiento del refuerzo mostrados por el pacómetro son lecturas confiables (si el equipo está bien calibrado); Se debe tener especial cuidado con las lecturas en puntos donde los recubrimientos sean mayores.

Los levantamientos realizados con pacómetro también pueden ser poco precisos en áreas congestionadas de acero de refuerzo, como, columnas o vigas, y en áreas de interferencia, por ejemplo, donde hay ductos metálicos.

Los datos obtenidos por medio del pacómetro deben verificarse (revisar profundidad y diámetro del refuerzo electrosoldado), mediante la medición física del refuerzo al exponerlo en aperturas exploratorias. <sup>27</sup>

<sup>26</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente-NSR-10” (Bogotá D. C.: AIS, 2010), capítulo C20.2.2.

<sup>27</sup> American Concrete Institute, “364.4T-TechNote: Determining the Load Capacity of a Structure When As-Built Drawings are Unavailable” (Farmington Hills, Estados Unidos: ACI, 2010), p. 6.

### **8.1.3 Resistencia del acero de refuerzo**

Si se conoce la resistencia especificada del acero de refuerzo, se debe permitir el uso de propiedades nominales o específicas del material sin pruebas adicionales, de no conocerse, al menos dos muestras de este deben retirarse de la edificación para realizar pruebas de resistencia. <sup>28</sup>

### **8.1.4 Número de rebote del concreto**

Los elementos de hormigón a ensayar deben tener un espesor de al menos 100 mm y estar fijo dentro de una estructura. Los elementos con menor espesor se pueden analizar siempre que estén rígidamente apoyados. Deben evitarse las áreas que exhiban textura rugosa o alta porosidad. <sup>29</sup>

Según la NTC 3692, este ensayo se debe realizar con un Martillo de Schmidt o esclerómetro, el cual es un martillo de acero impulsado por resorte que golpea con una determinada cantidad de energía un émbolo en contacto con la superficie de concreto y mide la distancia que el martillo rebote (la dureza), como un número adimensional.

Para el desarrollo del ensayo de esclerometría se debe pulir la superficie del concreto con una piedra abrasiva hasta suavizarla y luego de secar el agua presente <sup>30</sup> se realiza una marcación de diez puntos separados entre sí mínimo veinticinco milímetros, se sostiene el martillo frente a la superficie de tal forma que el émbolo la golpee perpendicularmente, esto con el fin de determinar la dureza superficial del concreto, datos que como conjunto dan una idea de la uniformidad del concreto en sitio y de la resistencia del concreto fundido en general, a partir de su correlación con datos de resistencia a la compresión de núcleos extraídos en el mismo punto. Con este ensayo se logra caracterizar el concreto de una edificación en general de forma no invasiva.

Se deben descartar las lecturas que difieran del promedio de diez lecturas en más de siete unidades, si más de dos lecturas son descartadas, el conjunto de lecturas de ese ensayo debe ser rechazado y se debe realizar nuevamente en un área distinta. <sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> American Concrete Institute, “364.4T-TechNote: Determining the Load Capacity of a Structure When As-Built Drawings are Unavailable”, p.6.

<sup>29</sup> British Standards Institution, “12504-2-Non-destructive Testing-Determination of Rebound Number” (Londres, Reino Unido: BSI, 2001), p. 4.

<sup>30</sup> British Standards Institution, “12504-2-Non-destructive Testing-Determination of Rebound Number”, p. 4.

<sup>31</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido” (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2018), p. 5.

Este método de ensayo es aplicable para evaluar la uniformidad del concreto colocado en el sitio, para delimitar variaciones en la calidad de este a lo largo de una estructura, y para estimar la resistencia en sitio <sup>32</sup>, siempre y cuando se haya desarrollado una correlación. Las relaciones entre el número de rebote y la resistencia del concreto que son provistas por los fabricantes del instrumento, se deben usar solamente para obtener indicaciones de la resistencia relativa del concreto en diferentes lugares de una estructura.

Para usar este método de ensayo con el fin de estimar la resistencia del concreto, es necesario establecer una relación entre la resistencia y el número de rebote, para un concreto y equipo dados. La relación se establece correlacionando los números de rebote medidos en la estructura con las resistencias de los núcleos tomados de los lugares correspondientes (Es posible que el uso de especímenes de ensayo moldeados para desarrollar una correlación no arroje una relación confiable debido a que la textura de la superficie y la profundidad de la carbonatación de los especímenes moldeados por lo general no son representativas del concreto en sitio). <sup>33</sup>

De cada seis lugares con número de rebote diferentes se deben tomar al menos dos réplicas de núcleos para obtener un rango amplio de números de rebote en la estructura. Los núcleos de ensayo se obtienen, preparan y ensayan de acuerdo con la NTC 3658, procedimiento que se describirá en la sección de Extracción y falla de núcleos. Si el número de rebote se ve afectado por la orientación del instrumento durante el ensayo, la relación de resistencia es aplicable para la misma orientación usada en la fecha de la correlación.

Los lugares donde se van a estimar las resistencias usando la correlación desarrollada deben tener una textura superficial similar y deben haber estado expuestos a condiciones similares a las de los lugares en los que se tomaron los núcleos para correlación. La funcionalidad del martillo de rebote se debe haber verificado antes de hacer las mediciones de correlación y por lo menos anualmente <sup>34</sup>. En la NTC 3692 se encuentra información de cómo realizar dicha verificación.

#### 8.1.4.1 Equipo

Consiste en un martillo de acero accionado mediante un resorte, que cuando es liberado golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie de concreto. El martillo accionado mediante el resorte debe viajar con una velocidad consistente y

---

<sup>32</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 1.

<sup>33</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 2.

<sup>34</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 4.

reproducibles. El número de rebote se basa en la distancia de rebote del martillo después de impactar el émbolo, o en la relación entre la velocidad del martillo después del impacto y la velocidad antes del impacto. Los números de rebote basados en estos dos principios de medición no son comparables.<sup>35</sup>

La NTC 3692 menciona que existen varios tipos y tamaños de martillos de rebote disponibles comercialmente para acomodarse a los ensayos de varios tamaños y tipos de construcciones de concreto.

El fabricante del instrumento debe suministrar los factores de corrección del número de rebote para los instrumentos que requieren que tal factor represente la orientación del instrumento durante el ensayo. Se permite que el instrumento aplique automáticamente el factor de corrección. El fabricante debe llevar un registro de los datos de ensayo usados como base para la determinación de los factores de corrección aplicables.<sup>36</sup>

#### 8.1.4.2 Área de ensayo e interferencias

Los miembros de concreto a ser ensayados deben ser al menos de 100 mm de espesor y estar fijos dentro de una estructura. Los especímenes más pequeños deben estar soportados rígidamente. Deben evitarse las áreas que exhiban hormigueros, escamado, o alta porosidad. No se deben comparar los resultados de ensayos si el material de la formaleta contra el cual se colocó el concreto no es similar. Donde se encuentran superficies formaleteadas con madera, se han notado incrementos generales en los números de rebote de 2,1 y de 0,4 para superficies con formaleta de madera de alta densidad.<sup>37</sup>

Las superficies de concretos secos dan mayores números de rebote que superficies húmedas. La presencia de carbonatación superficial también puede resultar en números de rebote superiores. Por tanto, puede ser necesario remover la capa carbonatada en el área de ensayo a través del pulimiento. para garantizar la obtención de números de rebote representativos del interior del concreto. No existe información disponible de la relación entre el número de rebote y el espesor de la capa de concreto carbonatado. El profesional encargado del ensayo debería usar su criterio profesional cuando se ensaye concreto carbonatado.<sup>38</sup>

---

<sup>35</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 3.

<sup>36</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 4.

<sup>37</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 4.

<sup>38</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.



Según la NTC 3692, las superficies alisadas con llana metálica exhiben números de rebote mayores que los de acabados de pantallas o formaleteados. Si es posible, las placas estructurales deben ser ensayadas desde la parte inferior para evitar superficies terminadas. Para que los resultados de este ensayo sean comparables, el impacto en cada uno de ellos debe realizarse en la misma dirección, de lo contrario es necesario aplicar factores de corrección, establecidos por el investigador en campo o edificación bajo estudio.

No se deben realizar ensayos directamente sobre barras de refuerzo con recubrimiento menor a 20 mm<sup>39</sup>.

**Nota:** Según la NTC 3692, el concreto húmedo a 0° C o menos puede exhibir valores de rebote muy altos. El concreto se debe ensayar solo después de que se ha descongelado. Las temperaturas del martillo de rebote en sí mismo pueden afectar el número de rebote: los martillos de rebote a 18° C pueden exhibir números de rebote reducidos en cerca de 2 o 3 unidades.

#### 8.1.4.3 Procedimiento

Se debe sostener firmemente el martillo en una posición que permita que el émbolo golpee perpendicularmente la superficie de ensayo. Se debe registrar la orientación del instrumento con respecto a la horizontal, con incrementos de 45 grados. Se usa un ángulo positivo si el martillo apunta hacia arriba, y negativo si apunta hacia abajo con respecto a la horizontal durante el ensayo, a continuación, se incrementa gradualmente la presión sobre el instrumento hasta que el martillo golpee.<sup>40</sup>

Después del impacto, se debe mantener la presión sobre el instrumento y, si fuera necesario, se oprime el botón sobre el lado del instrumento para cerrar al émbolo en su posición retraída. Se debe registrar el número de rebote aproximándolo al número entero más cercano. Se deben tomar diez lecturas de cada área de ensayo. Las distancias entre puntos de impacto deben ser de al menos 25 mm y la distancia entre puntos de impacto y bordes del miembro de al menos 50 mm. Se debe tener cuidado con la impresión hecha sobre la superficie después del impacto, si el impacto agrieta o rompe una superficie cercana con vacíos, inmediatamente tome otra lectura.<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.

<sup>40</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.

<sup>41</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.

#### 8.1.4.4 Cálculos

Se deben descartar las lecturas que difieran del promedio de diez lecturas en más de seis unidades y determine el promedio de las lecturas remanentes. Si más de dos lecturas difieren del promedio en seis unidades, descarte el conjunto completo de lecturas y determine el número de rebote de diez nuevos lugares dentro del área de ensayo.<sup>42 43</sup>

Cuando sea necesario, aplique el factor de corrección al número de rebote promedio, de modo que el número de rebote corresponda a una posición horizontal del martillo. Cuando no se tengan los factores de corrección para  $\pm 45$  grados, se permite que estos sean calculados a través de interpolación.<sup>44</sup>

#### 8.1.4.5 Interpretación

La clave para comprender las limitaciones inherentes de esta prueba para estimar la resistencia es reconocer los factores que influyen en la distancia de rebote. Desde un punto de vista fundamental, la prueba es un problema complejo de carga de impacto y propagación de ondas de esfuerzo. La distancia de rebote depende de la energía cinética en el martillo antes del impacto con el émbolo y la cantidad de esa energía que es absorbida durante el impacto. Parte de la energía se absorbe como fricción mecánica en el instrumento, y parte de la energía se absorbe en la interacción del émbolo con el concreto. Es este último factor es el que hace que el número de rebote sea un indicador de las propiedades del concreto.<sup>45</sup>

La energía absorbida por el concreto depende de la relación de tensión-deformación del concreto, por lo tanto, dicha energía está relacionada con la resistencia y la rigidez del hormigón, un concreto de baja resistencia y rigidez absorberá más energía que un concreto de alta resistencia y alta rigidez, por lo tanto, el concreto de baja resistencia dará como resultado un número de rebote más bajo.<sup>46</sup>

Debido a que el tipo de agregado usado en una mezcla afecta la rigidez del concreto, es necesario desarrollar la relación de resistencia en el concreto hecho con los mismos materiales que se utilizarán para el concreto en la estructura.<sup>47</sup>

---

<sup>42</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 6.

<sup>43</sup> British Standards Institution, “12504-2-Non-destructive Testing-Determination of Rebound Number”, p. 5.

<sup>44</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.

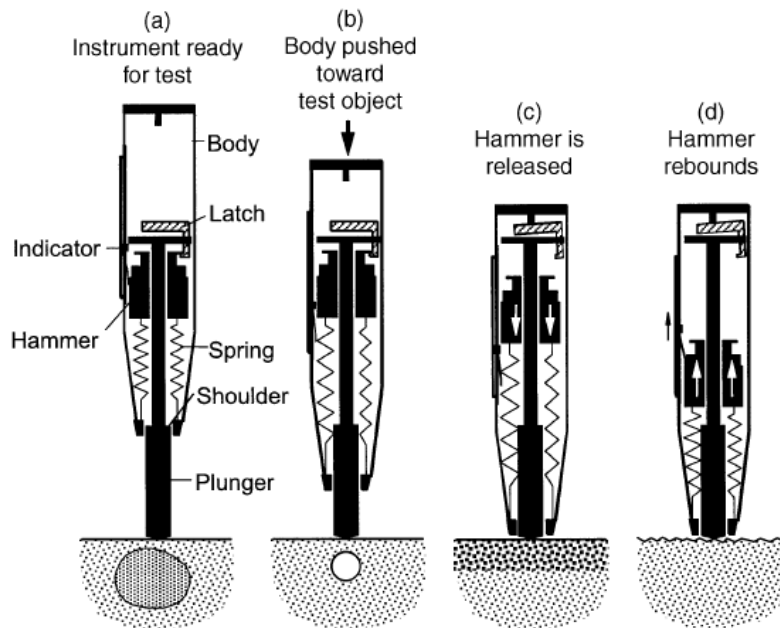
<sup>45</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, *ACI Committee Reports* (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003), p. 30.

<sup>46</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, p. 30.

<sup>47</sup> International Atomic Energy Agency, “Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures” (Vienna, Austria, 2002), p. 62.

En las pruebas del número de rebote del concreto endurecido, los resultados son sensibles a las condiciones del concreto en el lugar donde se realiza la prueba. Si el émbolo está ubicado sobre una partícula de agregado (Figura 7 (a)), se obtendrá un número de rebote inusualmente alto. Por otro lado, si el émbolo está ubicado sobre un gran vacío de aire (Figura 7 (b)) o sobre una partícula de agregado blando, se producirá un número de rebote más bajo. Las barras de refuerzo con recubrimientos bajos también pueden afectar los números de rebote si las pruebas se realizan directamente sobre estas.<sup>48</sup>

**Figura 7 Operación del martillo de rebote.**



**Fuente: ACI 228.1R In-Place Methods to Estimate Concrete Strength.**

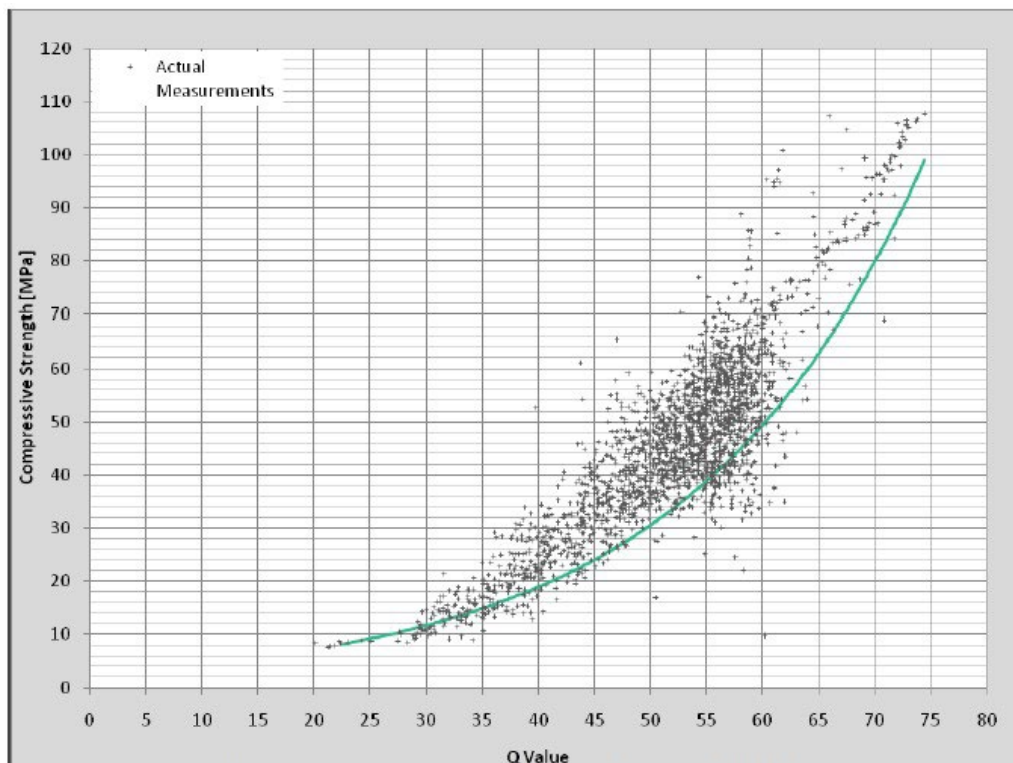
Debido a que el número de rebote se ve afectado principalmente por la capa de concreto cerca de la superficie, el número de rebote puede no representar el concreto interior. La presencia de carbonatación en la superficie (Figura 7 (c)) puede resultar en un mayor número de rebote que no es representativo del concreto interior. De manera similar, una superficie seca resultará en mayores números de rebote que para el concreto húmedo en su interior. Las condiciones de curado también afectan la resistencia y la rigidez del concreto cercano a la superficie más que el concreto interior. La textura de la superficie también puede influir en el número de rebote. Cuando la prueba se realiza en concreto rugoso (Figura 7 (d)),

<sup>48</sup> American Concrete Institute, "228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength", p. 4.

se produce una trituración local debajo del émbolo y la resistencia indicada del concreto será menor que el valor real.<sup>49</sup>

Las superficies ásperas deben pulirse antes de la prueba. Si las superficies a ensayar son lisas, el rectificado no es necesario. Una superficie dura y lisa, como una superficie producida por el acabado de la paleta, puede resultar en números de rebote más altos. Finalmente, la distancia de rebote se ve afectada por la orientación del instrumento y la relación de fuerza aplicada para la misma orientación del Martillo de Schmidt.<sup>50</sup>

**Figura 8 Relación entre resistencia a la compresión y el número de rebote.**



**Fuente: Manual Esclerómetro Silver Schmidt.**

El resultado del ensayo se llama “número de rebote del concreto endurecido”. Una curva típica que describe la relación de este con la resistencia del concreto es mostrada en la Figura 8 y se basa en los resultados de pruebas detalladas llevadas a cabo por el Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales de Berlín,

---

<sup>49</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, p 4.

<sup>50</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, p 4.

Alemania (BAM) en tres diseños de mezclas que diferenciarán entre sí a través de la relación agua/cemento. <sup>51</sup>

#### 8.1.4.6 Informe

El informe debe contener, si se conoce, la siguiente información para cada área de ensayo:

- Información General:
  - Fecha de Ensayo.
  - Temperatura ambiente y hora de ensayo.
  - Edad del concreto, y
  - Identificación del lugar del ensayo en la estructura de concreto y dimensiones del miembro ensayado,
- Información sobre el concreto:
  - identificación de la mezcla y tipo de agregado grueso, y
  - Resistencia de diseño del concreto
- Descripción del área de ensayo:
  - Características de la superficie (superficie alistada con llana de madera. pulida, formaleteada),
  - De ser aplicable, tipo de material de formaleta usado en el área de ensayo,
  - Si la superficie fue pulida y espesor pulido,
  - De ser aplicable, condiciones de curado, y
  - Condiciones de humedad de la superficie (húmeda o seca)
- Información del martillo:
  - identificación del martillo o número de serie, y
  - Fecha de verificación del martillo
- Datos de numero de rebote:
  - Nombre del operador,
  - Orientación del martillo durante el ensayo,
  - Cuando se realice el ensayo sobre superficies verticales (muros, columnas, vigas de gran altura), reportar la elevación relativa de la zona de ensayo,
  - Números de rebote individuales
  - Observaciones en cuanto a lecturas descartadas,
  - Número de rebote promedio,
  - Si fuera necesario, el número de rebote corregido para orientación horizontal del instrumento, y

---

<sup>51</sup> Proceq, 'Manual de Operación SilverSchmidt y Hammerlink' (Suiza, 2016), p. 14.

- De ser aplicable, la descripción de condiciones inusuales que pueden afectar las lecturas del ensayo.

#### 8.1.4.7 Precisión

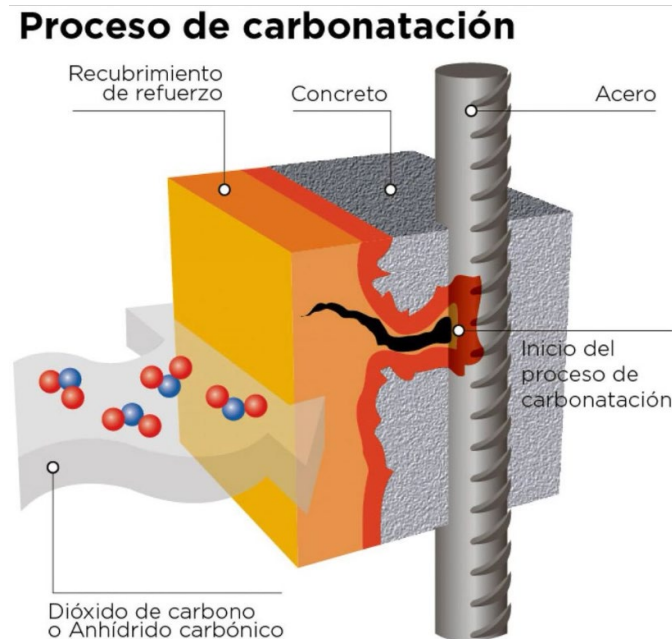
La precisión para un solo espécimen, un solo operador, máquina y día es de 2,5 unidades (1s) como se define en la norma ASTM C670, por lo tanto, el rango de diez lecturas no debería exceder 12.

#### 8.1.5 Determinación de la profundidad del frente de carbonatación

El concreto, además de sus propiedades de resistencia, también cumple la función de proteger al acero de refuerzo de la intemperie, lo cual se da gracias a su alcalinidad, evitando que este se oxide o en el peor de los casos, sufra procesos de corrosión. La profundidad del frente de carbonatación da una idea de la durabilidad del concreto reforzado o su vida útil.

El proceso de carbonatación del concreto es un proceso químico natural, normal y se conoce como difusión. La profundidad del frente de carbonatación no es más que la penetración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el concreto. Dependiendo de la cantidad, características y disposición de los poros que se crean en el concreto fraguado, se facilita o impide el ingreso del  $\text{CO}_2$ ; cuando este alcanza el acero embebido en el concreto se da lugar a un proceso de oxidación, el cual lo afecta de manera importante llevándolo hasta la corrosión (Figura 9).

Figura 9 Proceso de carbonatación.



Fuente: <https://twitter.com/hashtag/carbotantacion>

Originalmente se consideraba que la carbonatación podía ocurrir solamente por penetración de CO<sub>2</sub> del aire atmosférico; sin embargo, se ha comprobado que también puede suceder por presencia de CO<sub>2</sub> en el suelo.<sup>52</sup>

Más específicamente, la carbonatación del concreto ocurre cuando hay un descenso significativo en su pH (del valor usual de trece, baja hasta valores del orden de nueve) y al perder su basicidad deja de ser un elemento protector e la corrosión del acero de refuerzo. Esto quiere decir que a medida que avanza la penetración del CO<sub>2</sub> en el concreto, <<conocida como frente de carbonatación>>, se pierde el efecto de capa pasivadora que tiene su recubrimiento<sup>53</sup>.

**Figura 10 Profundidad de carbonatación marcado por el indicador de fenolftaleína sobre el núcleo.**



**Fuente:** <https://www.cytemsl.com/patologia-en-edificacion>

La profundidad de carbonatación puede medirse al aplicar una solución de 1% fenolftaleína en una solución de 70% de alcohol etílico y 30% agua<sup>54</sup>, sobre el concreto en profundidad (perforado), o núcleos recién extraídos, si el color del concreto cambia a magenta, indica que el concreto tiene un pH mayor a nueve; si no cambia de color, indica que en este punto el concreto está carbonatado, como lo

---

<sup>52</sup> Diego Sánchez de G., 'Durabilidad y Patología Del Concreto' (Bogotá D. C.: ASOCRETO, 2011), p. 182.

<sup>53</sup> Sánchez de G, p 183.

<sup>54</sup> International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, "CPC-18 Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth", *Materials and Structures*, 2006, p. 453.

muestra la Figura 10, y que cualquier acero de refuerzo dentro de esta profundidad es vulnerable a la corrosión inducida por la carbonatación.<sup>55</sup>

La determinación de la profundidad del frente de carbonatación se puede llevar a cabo utilizando núcleos extraídos de estructuras de concreto endurecido y posteriormente divididos. El diámetro de dicho núcleo perforado debe ser de al menos 50 mm. Si se requiere una estimación aproximada como información acerca de si la línea de carbonatación ya ha alcanzado el acero de refuerzo, entonces la superficie del concreto puede romperse con cincel y la prueba se puede realizar directamente en el sitio.<sup>56</sup>

Según el libro Durabilidad y Patología del Concreto, la velocidad a la cual avanza el frente de carbonatación, dependen de muchas variables, entre ellas se pueden mencionar las siguientes<sup>57</sup>:

- La cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera cercana a la superficie del concreto y su velocidad de difusión al interior del concreto.
- La humedad relativa, la temperatura y la presión del medio ambiente. La difusión de CO<sub>2</sub> sólo es posible en poros llenos de aire; por ello, el concreto no se carbonata cuando está totalmente saturado de agua.
- El tipo y cantidad del cemento en la mezcla de concreto. Por ejemplo, los cementos siderúrgicos, experimentan mayores profundidades de carbonatación que los cementos Pórtland convencionales.
- la relación agua/cemento o agua/cementante.
- La compactación de la capa de recubrimiento del concreto. El tamaño y volumen de los macro poros y los poros capilares del concreto y/o la presencia de micro fisuras, fisuras y planos de falla. El concreto permeable se carbonata más rápidamente.
- El tiempo y perfección de los procedimientos de curado del concreto. Se ha comprobado que la carbonatación es mayor, en la medida en que el tiempo de curado haya sido menor.

#### 8.1.5.1 Interpretación

Los resultados del ensayo de carbonatación aportan a la estimación de la durabilidad del concreto presente en las edificaciones evaluadas, así como su resistencia.

---

<sup>55</sup> American Concrete Institute, "437-Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings" (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003), p. 12.

<sup>56</sup> Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, p. 454.

<sup>57</sup> Sánchez de G., Diego, "Durabilidad y Patología del Concreto". ASOCRETO, Bogotá D.C., p. 127, 2011.

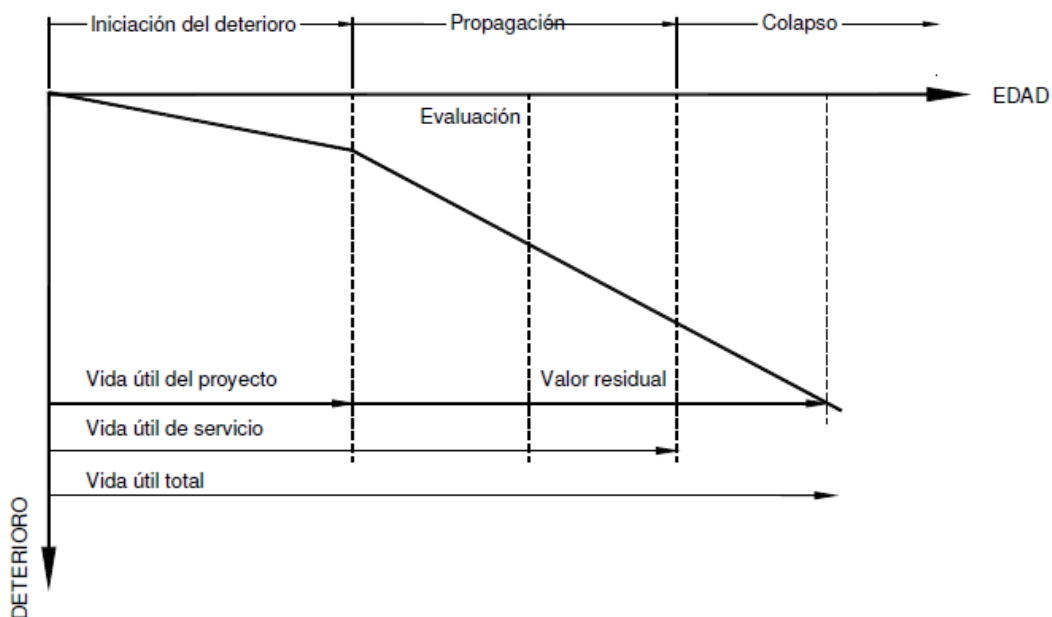


La velocidad de avance del frente de carbonatación depende de varios factores tales como el CO<sub>2</sub> presente en el ambiente, la humedad relativa, relación agua cemento, tipo y cantidad de cemento y tipo y tiempo de curado <sup>58</sup>. En términos generales un concreto presenta una menor velocidad de carbonatación entre mayor sea la resistencia a compresión del mismo.

El tiempo total para que el ataque sea significativo comprende dos etapas, el tiempo que tarda el CO<sub>2</sub> en llegar al refuerzo y provocar la corrosión (vida útil del proyecto); y, el periodo de propagación en el cual la corrosión genera una degradación significativa (vida útil de servicio) <sup>59 60</sup>. Estos periodos se plasman en la Figura 11.

Se deben comparar las profundidades del frente de carbonatación con el recubrimiento disponible en cada elemento, si dicho avance supera al recubrimiento, se considera que el acero de refuerzo está expuesto (sin la barrera protectora otorgada por la alcalinidad del concreto), por lo que corre riesgo de sufrir procesos de corrosión, lo que afectaría de forma considerable la resistencia en general de la estructura.

**Figura 11 Vida útil de las estructuras.**



*Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.*

**Fuente: NTC 5551 Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto.**

<sup>58</sup> Sánchez de G, p. 132.

<sup>59</sup> N Lilian et al., "Avances en la Normalización de la Resistencia a la Carbonatación de Estructuras de Hormigón Armado", 2011, p. 3.

<sup>60</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '5551-Concretos. Durabilidad de Estructuras de Concreto' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2007), p. 4.

De manera aproximada, la profundidad de la carbonatación es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, de acuerdo con la segunda ley de difusión de Fick <sup>61</sup>, que se expresa de la siguiente manera:

$$x = k\sqrt{t}$$

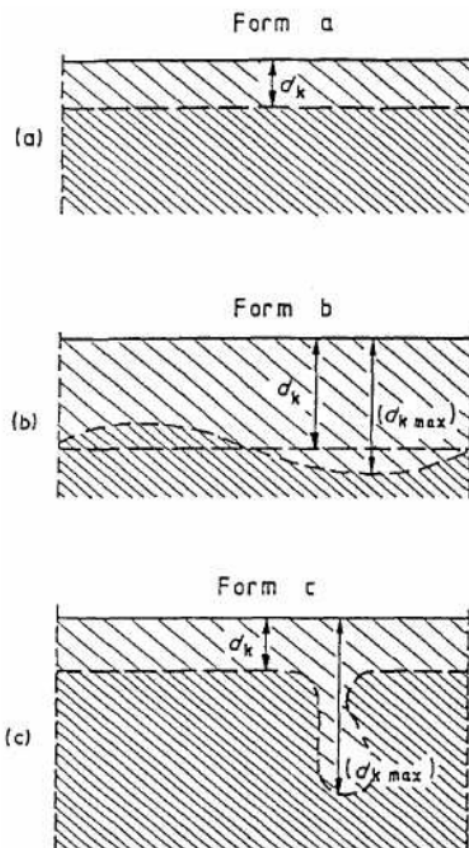
Donde:

x = Profundidad del frente de carbonatación en mm.

k = Coeficiente de carbonatación.

t = Tiempo transcurrido en años.

Figura 12 Detalle del avance del frente de carbonatación.



Fuente: RILEM recommendation. CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth

Conociendo la edad de la edificación a ensayar y los resultados del ensayo de carbonatación del concreto, es posible calcular el coeficiente de carbonatación “k”

<sup>61</sup> Sánchez de G, p. 129.

para cada elemento estructural y en general de toda la estructura. De esta manera es posible calcular el avance del frente de carbonatación y establecer el tiempo restante para que afecte directamente al acero de refuerzo de la estructura (vida útil del proyecto).

Definido el coeficiente de carbonatación en un elemento, se debe decidir si este es alto al compararlo con un coeficiente de carbonatación normal, el cual está dado por el avance que tiene el frente de carbonatación durante un periodo de vida útil razonable para el proyecto igual a 50 años hasta afectar al acero de refuerzo con 40 mm de recubrimiento, establecido por el reglamento NSR-10 para elementos no expuestos directamente al suelo ni a la intemperie.

#### 8.1.5.2 Informe

La profundidad del frente de carbonatación debe reportarse con aproximación a 1mm.

El reporte de la prueba debe contener los siguientes detalles <sup>62</sup>:

- Identificación de la estructura
- Edad del concreto a ensayar
- Localización del lugar donde se extrae el núcleo y orientación de la superficie expuesta al CO<sub>2</sub> en la edificación (vertical u horizontal)
- Fecha de la extracción y de la prueba
- Promedio de la profundidad de carbonatación, con detalles del avance de su frente, de acuerdo a la figura 1, a: regular; b: irregular y profundidad máxima; c: regular y profundidad máxima, de acuerdo a la Figura 12.

#### 8.1.6 Determinación de la velocidad del pulso ultrasónico

Con el ensayo de determinación de la *velocidad del pulso ultrasónico* se determina la velocidad con que una onda viaja de transductor emisor a receptor a través del concreto, teniendo en cuenta el tiempo de tránsito, que es el necesario para que un pulso ultrasónico realice dicho recorrido. Esta información da una idea de la uniformidad del concreto endurecido y su resistencia. <sup>63</sup>

*“La heterogeneidad del concreto de un elemento estructural o entre miembros, causa variaciones de velocidad del pulso, las cuales, a su vez, están relacionadas*

---

<sup>62</sup> Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, p. 455.

<sup>63</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto” (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1997), p. 18.

*con las variaciones de calidad. Las mediciones de velocidad de pulso suministran los medios para el estudio de la homogeneidad”.* <sup>64</sup>

Los pulsos de las ondas de tensión longitudinales son generados por un transductor electroacústico que se mantiene en contacto con una superficie del concreto bajo prueba. Después de atravesar el concreto, los impulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor ubicado a una distancia L del transductor de transmisión. El tiempo de tránsito T se mide electrónicamente. La velocidad de pulso V se calcula dividiendo L por T.

Si bien la dirección en la que se propaga la energía máxima está en ángulos rectos con la cara del transductor de transmisión, es posible detectar pulsos que viajan a través del concreto en otra dirección. Por lo tanto, es posible realizar mediciones de la velocidad del pulso en una estructura de hormigón o espécimen, colocando los dos transductores en caras opuestas (transmisión directa), en caras adyacentes (transmisión semi directa) o en la misma cara (transmisión indirecta o de superficie). <sup>65</sup> (Figura 13).

Este método de prueba es aplicable para evaluar la uniformidad y la calidad relativa del concreto, para indicar la presencia de huecos y grietas, y para evaluar la efectividad de las reparaciones de grietas. También es aplicable para indicar cambios en las propiedades del concreto y en el levantamiento de estructuras, para estimar la severidad del deterioro o agrietamiento. Si se usa para monitorear los cambios en la condición a lo largo del tiempo, la ubicación de los ensayos debe marcarse en la estructura para asegurar que las pruebas se repitan en las mismas posiciones. <sup>66</sup>

La dimensión mínima del elemento a ensayar debe exceder la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas (La longitud de onda de las vibraciones es igual a la velocidad del pulso dividida por la frecuencia de las vibraciones. Por ejemplo, para una frecuencia de 54 kHz y una velocidad de pulso de 3500 m/s, la longitud de onda es  $3500/54000 = 0.065$  m <sup>67</sup>).

La precisión de la medición depende de la capacidad del operador para determinar con la distancia entre los transductores y del equipo para medir con precisión el tiempo de tránsito del pulso. La intensidad de la señal recibida y el tiempo de tránsito

---

<sup>64</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 18.

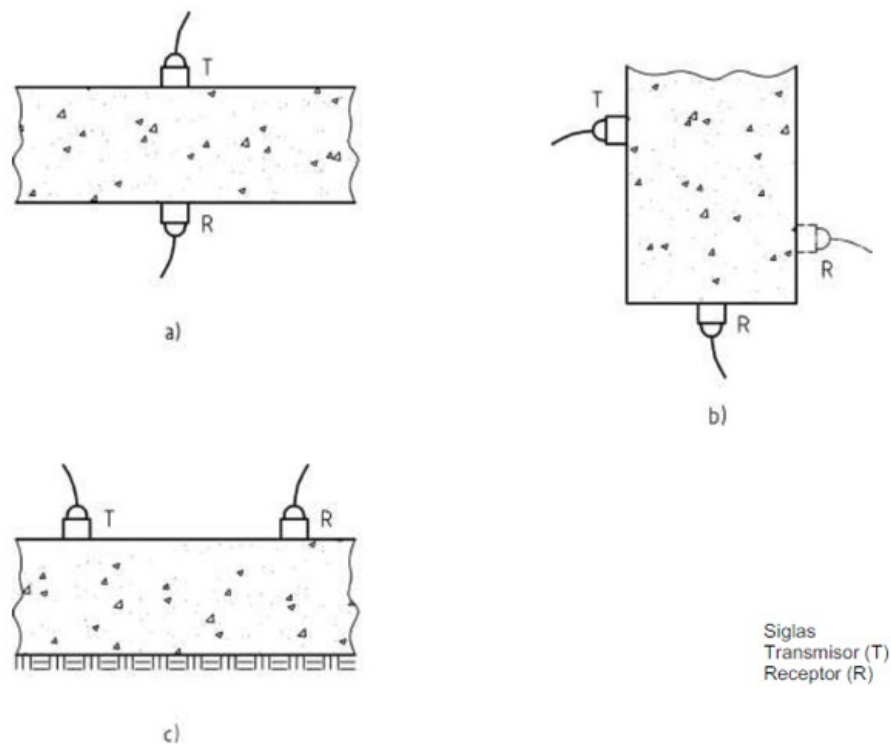
<sup>65</sup> British Standards Institution, “12504-4-Determination of Ultrasonic Pulse Velocity” (Londres, Reino Unido: BSI, 2004), p. 5.

<sup>66</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 22.

<sup>67</sup> American Society for Testing and Materials, “C597-Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete” (West Conshohocken, Pennsylvania, 2016), p. 2.

medido se ven afectados por el acoplamiento de los transductores a las superficies de concreto. Se debe aplicar suficiente agente de acoplamiento y presión (gel) a los transductores para garantizar tiempos de tránsito estables. La intensidad de la señal recibida también se ve afectada por la longitud del recorrido y por la presencia y el grado de agrietamiento o deterioro en el concreto probado <sup>68</sup>.

Figura 13 Posicionamiento de los transductores; a) directa, b) semidirecta, c) indirecta.



Fuente: BS EN 12504-4 Determination of ultrasonic pulse velocity

La descripción completa del equipo para ensayo, su funcionamiento y disposición de transductores (transmisor y receptor), se encuentra en la norma NTC 4325.

#### 8.1.6.1 Aplicaciones

Según la norma NTC 4325, el ensayo de ultrasonido puede ser usado para las siguientes aplicaciones:

- Determinación de la uniformidad del concreto de un elemento o entre elementos.

<sup>68</sup> American Society for Testing and Materials, "C597-Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", p. 3.

- La detección de grietas y la evaluación aproximada de su tamaño, así como de vacíos y otros defectos del concreto,
- La medición de los cambios en las propiedades del concreto a través del tiempo,
- La correlación de la velocidad del pulso con la resistencia mecánica del concreto, como una medida de la calidad del mismo,
- La determinación en el concreto del módulo de elasticidad y del módulo dinámico de Poisson.

#### 8.1.6.2 Factores que influyen en las mediciones de velocidad del pulso

Es necesario tener en cuenta varios factores que pueden influir en la velocidad del pulso y su correlación con varias propiedades físicas del concreto, si se quiere obtener mediciones reproducibles y que dependan exclusivamente de las propiedades del concreto bajo estudio.<sup>69</sup>

- Contenido de humedad

El contenido de humedad tiene dos efectos sobre la velocidad del pulso, uno químico y el otro físico. Estos efectos son de importancia al establecer correlaciones para estimar la resistencia a compresión del concreto. Existe una gran diferencia entre la velocidad de pulso a través de un cubo estándar de concreto, debidamente curado, y un elemento estructural elaborado con el mismo concreto. Es de gran importancia tener en cuenta todos estos efectos al estimar la resistencia<sup>70</sup>

- Temperatura del concreto

Se ha encontrado que las variaciones de la temperatura dentro del rango de 10° C a 30° C no tienen un efecto significativo sin la existencia de cambios correspondientes en la resistencia o en las propiedades elásticas. Las correcciones a las mediciones de velocidad del pulso se deben hacer sólo si la temperatura se sale del rango anteriormente citado y pueden hacerse de acuerdo con la Tabla 3<sup>71</sup>.

- Longitud de la trayectoria

La longitud de la trayectoria sobre la cual se va a determinar la velocidad del pulso debe ser lo suficientemente larga para que no se vea influenciada de manera significativa por la heterogeneidad natural del concreto. Se recomienda que la longitud mínima de trayectoria del pulso sea de 100 mm para concreto con agregado

---

<sup>69</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 10.

<sup>70</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 11.

<sup>71</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 11.

de tamaño máximo nominal menor o igual a 20 mm y de 150 mm para concreto con agregado de tamaño máximo nominal entre 20 mm y 40 mm. <sup>72</sup>

**Tabla 3 Efecto de la temperatura en la transmisión del pulso ultrasónico.**

Temperatura	Factores de corrección en la medida de la velocidad de pulso	
	Concreto seco al aire	Concreto saturado en agua
°C	%	%
60	+ 5	+ 4
40	+2	+ 1.7
20	0	0
0	- 0.5	-1
-4	- 1.5	- 7.5

Fuente: BS EN 12504-4 Determination of ultrasonic pulse velocity

- Forma y tamaño del espécimen

La velocidad de pulsos cortos de vibración es independiente del tamaño y la forma del espécimen en el cual viajen, excepto cuando la menor dimensión lateral del elemento sea menor que un cierto valor mínimo. Por debajo de este valor, la velocidad del pulso puede verse reducida considerablemente. Esta reducción depende primordialmente de la relación entre la longitud de onda de la vibración del pulso y la menor dimensión lateral del espécimen, pero es insignificante si dicha relación es menor que la unidad. <sup>73</sup>

**Tabla 4 Efecto de las dimensiones del espécimen en la transmisión del pulso.**

Frecuencia del transductor	Velocidad de pulso en el concreto en (km/s)		
	Vc= 3,5	Vc= 4,0	Vc= 4,5
	Dimensión lateral mínima permisible del elemento		
kHz	mm	mm	mm
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

Fuente: NTC 4325 Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto

La Tabla 4 proporciona la relación entre la velocidad del pulso en el concreto, la frecuencia de los transductores y la mínima dimensión lateral permisible para el espécimen.

<sup>72</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 11.

<sup>73</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 12.

Si la mínima dimensión lateral es menor que la longitud de onda o si se está utilizando el arreglo para transmisión indirecta, el modo de propagación cambia y, por lo tanto, la velocidad medida es diferente. Esto es particularmente importante en los casos en que se esté comparando elementos de concreto de tamaños significativamente diferentes.<sup>74</sup>

- Efecto del acero de refuerzo

La velocidad del pulso medida en concreto reforzado cerca del acero de refuerzo es normalmente mayor que en concreto que tenga la misma composición, pero no esté reforzado, esto se debe a que la velocidad del pulso en el acero es hasta dos veces mayor que en el concreto simple y, bajo ciertas condiciones, el primer pulso en llegar al transductor receptor viaja parcialmente en el concreto y en el acero.<sup>75</sup>

El incremento aparente en la velocidad depende de la proximidad de la medición con el acero de refuerzo, el diámetro, el número de barras y su orientación con respecto a la trayectoria de propagación<sup>76</sup>. Cálculos y generalidades de esta característica se encuentran en la NTC 4325.

#### 8.1.6.3 Determinación de la uniformidad del concreto

La heterogeneidad del concreto de un elemento estructural o entre miembros causa variaciones en la velocidad del pulso, las cuales, a su vez, están relacionadas con las variaciones en la calidad. Las mediciones de velocidad de pulso suministran los medios para el estudio de la homogeneidad y con este fin, se debe escoger un sistema de puntos de medición que cubra uniformemente el volumen apropiado de concreto a investigar.<sup>77</sup>

El número de puntos de medición depende del tamaño de la estructura, la exactitud requerida y la variabilidad del concreto. En un elemento de grandes dimensiones con concreto bastante uniforme, se puede considerar adecuado medir sobre una longitud de 1 m, pero en elementos más pequeños o sobre concreto muy variable, puede ser necesario estrechar la zona de medición.<sup>78</sup>

En aquellos casos donde la longitud de la trayectoria permanece constante durante la inspección, el tiempo de tránsito determinado puede utilizarse para evaluar la

---

<sup>74</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, 12.

<sup>75</sup> British Standards Institution, “1881-201-Guide to the use of Non-destructive Methods of Test for Hardened Concrete”, p. 12.

<sup>76</sup> British Standards Institution, “1881-201-Guide to the use of Non-destructive Methods of Test for Hardened Concrete”, p. 13.

<sup>77</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 18.

<sup>78</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 18.



uniformidad del concreto, sin tener que convertirlo a velocidad. Esta técnica se usa especialmente en evaluaciones donde todas las mediciones de velocidad se hacen por transmisión indirecta. <sup>79</sup>

Entre las funciones prácticas del ultrasonido, está la detección de defectos, aplicando esta técnica es posible detectar y definir la extensión de defectos internos en una estructura. Esto debe dejarse en manos de personal calificado y con experiencia en la interpretación de resultados de evaluaciones <sup>80</sup>.

Entre las anomalías que se pueden detectar con esta técnica está la detección de vacíos, estimación de la profundidad de una grieta superficial y la detección de cambios en las propiedades del concreto en un mismo elemento estructural.

#### 8.1.6.4 Correlación entre la velocidad de pulso y la resistencia

La calidad del concreto se especifica generalmente en términos de su resistencia mecánica. En ocasiones es de interés usar pulsos ultrasónicos para estimar dicha resistencia. <sup>81</sup>

La relación entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia se ve afectada por diversos factores entre los cuales se cuentan: la edad del concreto, las condiciones de curado, las condiciones de humedad, las proporciones de la mezcla, el tipo de agregado y el tipo de cemento. <sup>82</sup>

Si se requiere estimar la resistencia es necesario, por lo tanto, establecer la correlación entre resistencia y velocidad del pulso para un concreto en particular que esté siendo investigado. Dicha correlación debe establecerse de manera experimental mediante el ensayo de un número adecuado de especímenes que abarque el rango de resistencias esperado y que proporcione confiabilidad estadística. La confianza que se puede atribuir a los resultados depende del número de muestras ensayadas.

Es posible encontrar una correlación entre velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia de cilindros moldeados o de núcleos extraídos de la estructura de concreto, llevando a cabo un estudio sobre la estructura completa o una parte de

---

<sup>79</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 19.

<sup>80</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 23.

<sup>81</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 23.

<sup>82</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 24.

ella. La confiabilidad de la correlación depende, en gran medida, del grado en que los especímenes representen la estructura a ser evaluada.<sup>83</sup>

#### 8.1.6.5 Correlación mediante ensayos con núcleos de concreto

Al realizar una correlación a partir de ensayos sobre núcleos, no es posible variar deliberadamente la resistencia del concreto. Los ensayos de velocidad de pulso deben emplearse, por lo tanto, para localizar áreas de diferente calidad y los núcleos extraídos de dichos sitios proporcionan un rango de resistencias. Las velocidades de pulso obtenidas al medir sobre los núcleos extraídos y secos serán normalmente mayores que las medidas en la estructura y no deben usarse para hacer correlaciones directas.<sup>84</sup>

La resistencia a compresión de los núcleos extraídos se debe evaluar de acuerdo con la NTC 3658 (ASTM C42). La forma de la línea de correlación es la misma para cualquier concreto, independientemente de las condiciones de curado. Por lo tanto, es posible usar la curva derivada de especímenes de referencia para extrapolar a partir del rango limitado obtenido normalmente de los núcleos.<sup>85</sup>

En la NTC 4325 se encuentran más posibles correlaciones y cómo determinar otros tipos de propiedades del concreto a partir del ultrasonido, como el módulo de elasticidad, módulo dinámico, entre otros.

#### 8.1.6.6 Interpretación

Los datos proporcionados por el ensayo de determinación de la velocidad del pulso ultrasónico pueden proporcionar información acerca de:

- La calidad del concreto,
- Resistencia del concreto, y
- Uniformidad del concreto evaluado.

En un miembro de concreto la velocidad de propagación de las ondas de tensión depende de la densidad y las constantes elásticas, sus variaciones pueden surgir de la consolidación no uniforme, y las variaciones en las propiedades elásticas pueden ocurrir debido a las variaciones en los materiales, las proporciones de la mezcla o el curado. Por lo tanto, al determinar la velocidad del pulso en diferentes ubicaciones en una estructura, es posible hacer inferencias sobre la uniformidad del

---

<sup>83</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 24.

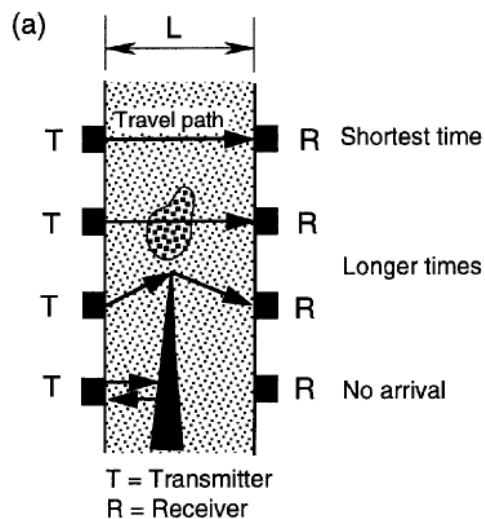
<sup>84</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 24.

<sup>85</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 25.

concreto que la conforma. La velocidad de la onda de compresión se determina midiendo el tiempo de viaje del impulso de esfuerzo en una distancia conocida.<sup>86</sup>

La Figura 14 representa las rutas de los pulsos ultrasónicos a medida que se desplazan desde un lado a otro de un elemento de concreto. El caso superior representa el camino directo más corto a través del concreto y el tiempo de viaje más corto o la velocidad de onda aparente más rápida; el segundo caso desde la parte superior representa un camino que pasa a través de una porción de concreto inferior, y el tercer caso muestra un camino difractado alrededor del borde de un gran vacío (o grieta).

Figura 14 Efecto de los defectos del concreto en el tiempo de viaje de un pulso ultrasónico (a).



Fuente: ACI 228.2R Non-destructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures

En estos últimos casos, el tiempo de viaje sería mayor que el primer caso. El último caso indica una ruta de viaje que se interrumpe por un vacío. Esta interfaz aérea da como resultado la reflexión total de las ondas de tensión y no habría llegada al lado opuesto. Las velocidades de onda aparentes se determinarían dividiendo el grosor del miembro por el tiempo de viaje medido.<sup>87</sup>

*“Una comparación de las velocidades de onda en los diferentes puntos de prueba indicaría las áreas de anomalías dentro del miembro. También puede ser posible usar la atenuación de la señal como un indicador de la calidad relativa del concreto,*

<sup>86</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures”, p. 6.

<sup>87</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures”, p. 6.

*pero esto requiere un cuidado especial para asegurar un acoplamiento constante de los transductores en todos los puntos de prueba.”* <sup>88</sup>

A partir de los principios de propagación de ondas elásticas, la velocidad del pulso es proporcional a la raíz cuadrada del módulo elástico <sup>89</sup>.

Como lo menciona la ACI 228.1R, debido a que el módulo elástico y la resistencia de un concreto dado aumentan con la madurez, se deduce que la velocidad del pulso puede proporcionar un medio para estimar la resistencia del concreto, aunque no haya una relación física directa entre estas dos propiedades. Sin embargo, a medida que el concreto madura, el módulo elástico y la resistencia a la compresión aumentan a diferentes velocidades. A edades tempranas, el módulo elástico aumenta a una tasa mayor que la resistencia, y en edades avanzadas, el módulo elástico aumenta a una tasa más baja. Como resultado, en un amplio rango de madurez, la relación entre la resistencia a la compresión y la velocidad del pulso es no lineal<sup>90</sup>. La Figura 15 muestra una relación típica entre la fuerza de compresión y la velocidad del pulso.

La velocidad de pulso también puede verse afectada por la presencia de grietas o vacíos a lo largo de la trayectoria de propagación desde el transductor transmisor al receptor. El pulso puede ser difractado alrededor de las discontinuidades, aumentando así la trayectoria y el tiempo de viaje. Sin un conocimiento adicional sobre la condición interior del miembro de concreto, la disminución aparente en la velocidad del pulso podría interpretarse incorrectamente como una baja resistencia a la compresión <sup>91</sup>.

Los agregados que componen una mezcla de concreto influyen en su resistencia. Se puede calificar un concreto endurecido por su calidad a partir de la velocidad del pulso ultrasónico, teniendo en cuenta factores como el tipo de cemento, relación agua cemento, edad del concreto y componentes en general <sup>92</sup>. Para concretos con densidad aproximadas a 2400 Kg/m<sup>3</sup> Whitehurst<sup>93</sup> sugiere las calificaciones dadas en la Tabla 5.

---

<sup>88</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures”, p. 6.

<sup>89</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures”, p. 7.

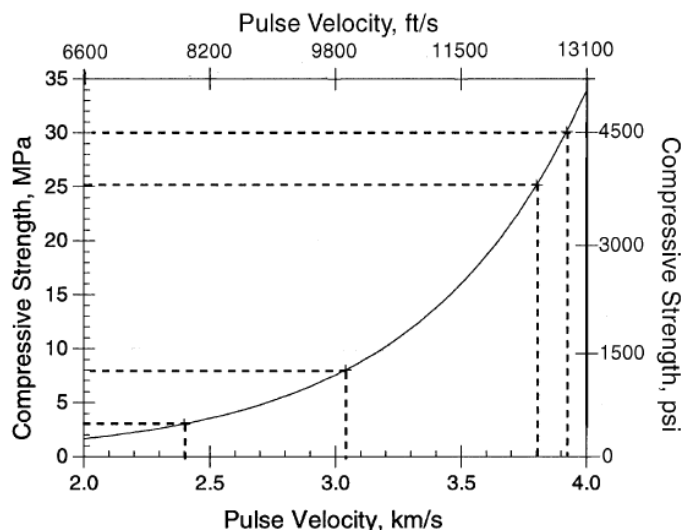
<sup>90</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures”, p. 7.

<sup>91</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, p. 7.

<sup>92</sup> V Malhotra y Nicholas Carino, “Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition”, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition*, 2010, p. 7.

<sup>93</sup> Whitehurst, E.A., Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests, ACI Monograph 2, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1966, 94 pp.

**Figura 15 Relación típica entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto dada.**



**Fuente: ACI 228.1R In-Place Methods to Estimate Concrete Strength**

**Tabla 5 Clasificación de la calidad del concreto con base en la velocidad de pulso.**

Longitudinal pulse velocity		Quality of concrete
km/s.10 <sup>3</sup>	ft/s	
>4.5	>15	excellent
3.5-4.5	12-15	good
3.0-3.5	10-12	doubtful
2.0-3.0	7-10	poor
<2.0	<7	very poor

**Fuente: Guidebook on non-destructive testing of concrete structures.**

#### 8.1.6.7 Informe

En el informe se debe dejar constancia que la velocidad del pulso ultrasónico fue determinada de acuerdo con las recomendaciones dada anteriormente y además se debe incluir la siguiente información:

- Fecha, hora y lugar de la investigación
- Ubicación de la prueba
- Descripción del elemento de la estructura o de los especímenes ensayados
- Composición nominal del concreto, incluyendo
  - Tipo de cemento
  - Contenido de cemento

- Relación agua/cemento
- Tipo de agregado y tamaño máximo nominal
- Aditivos usados en la elaboración del concreto
- Condiciones de curado, temperatura y edad del concreto en el momento del ensayo
- Especificación del medio ambiente para el cual fue diseñado el concreto
- Distancia entre los centros de los transductores
- Tiempo de tránsito, con aproximación a  $0,1 \mu\text{s}$
- Diagramas mostrando la localización del punto de aplicación de los transductores y las trayectorias de la propagación del pulso. El diagrama debe mostrar los detalles del acero de refuerzo o de ductos en la vecindad de las áreas de ensayo.
- Condiciones de la superficie en los puntos de ensayo (afinada, pañetada, rugosa, presencia de agrietamientos o descascamientos)
- Condiciones de humedad interna del concreto estimada en el momento del ensayo y condiciones de curado prolongado, si son conocidas superficie húmeda, superficie seca (recientemente desformateadas), o seco al aire (desformateado en condición seca por algún tiempo).
- Tipo y fabricante del aparato, su precisión, frecuencia del pulso y cualquier otra característica especial.
- Longitud de las trayectorias, método de medición y estimación de la exactitud de las mediciones.
- Valores medidos de la velocidad del pulso aproximados a 10 m/s
- Valores de la velocidad de pulso corregidos por presencia de acero de refuerzo, cuando se considere necesario

### 8.1.7 Extracción y falla de núcleos

Conocer la resistencia a la compresión del concreto que conforma los diferentes elementos estructurales de las edificaciones, y su estado, constituye el objetivo principal de los ensayos de caracterización de materiales. Para esto, se extraen muestras que son llevadas a laboratorio para realizar ensayos de compresión; a esta muestra se le conoce como “núcleo”, es una muestra cilíndrica de concreto endurecido obtenida por medio de un taladro extractor de núcleos dispuesto perpendicularmente a una cara del elemento del que se desea extraer el espécimen<sup>94 95</sup>. Aunque esta resistencia suele compararse con su especificación inicial para efectos de control de calidad, habrá algunas situaciones en las que se demostrará

---

<sup>94</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas” (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2018), p. 5.

<sup>95</sup> British Standards Institution, “EN 12504-1-Cored specimens-Taking, examining and testing in compresion” (Londres, Reino Unido: BSI, 2000), p. 5.

que, aunque el concreto se ajuste, desde un punto de vista estructural puede ser aún inadecuado.<sup>96</sup>

Para conocer la resistencia a la compresión del concreto, indispensable como indicador de su calidad, se toman muestras estándar en campo durante la construcción de las edificaciones, siendo la verificación más práctica de su resistencia potencial.

La determinación de la resistencia real del concreto en una estructura no es tarea fácil porque depende de las prácticas de curado y de su capacidad de compactación, por lo tanto, una pregunta que los diseñadores hacen con frecuencia es si las muestras de prueba estándar pueden representar o no la resistencia real del concreto in situ, esto suele convertirse en un dilema mayor cuando las muestras recogidas no cumplen los requisitos de resistencia de las construcciones, al no conocerse a ciencia cierta si la resistencia del concreto endurecido es baja o las muestras no representan realmente el concreto de la estructura.<sup>97</sup>

Este problema es generalmente resuelto al extraer y fallar núcleos del susodicho miembro estructural, convirtiéndose esta técnica en la forma más común de conocer la resistencia del concreto in-situ. Aunque el método consiste en operaciones costosas y lentas, los núcleos proporcionan resultados confiables y útiles, ya que se someten a pruebas mecánicas de destrucción. Sin embargo, los resultados de la prueba deben interpretarse cuidadosamente ya que la resistencia del núcleo se ve afectada por una serie de factores como el diámetro, la relación l/d y el estado de humedad de la muestra central, la dirección de perforación, la presencia de barras de acero de refuerzo en la muestra<sup>98</sup>.

La extracción y ensayo de núcleos se incluye en la mayoría de códigos de construcción, tales como el colombiano, egipcio, británico y estadounidense. Aunque el ensayo puede ser costoso y demorado, proporciona resultados confiables y útiles para evaluar propiedades del concreto en una estructura existente. Existe un amplio registro bibliográfico, sin embargo, se encuentra variación en los factores considerados para la interpretación de los resultados, debido principalmente a que los materiales que componen al concreto tienen diferentes propiedades en cada lugar. La Tabla 6 resume los factores considerados en el código egipcio, el código estadounidense, el código europeo, el código

---

<sup>96</sup> British Standards Institution, '6089-Assessment of in-Situ Compressive Strength in Structures and Precast Concrete Components' (Londres, Reino Unido: BSI, 2018), pp. 1–3.

<sup>97</sup> Shafik Khoury, Ali Abdel Hakam Aliabdo, y Ahmed Ghazy, "Reliability of core test - Critical assessment and proposed new approach", *Alexandria Engineering Journal*, 53.1 (2014), p. 170.

<sup>98</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 170.

británico, japonés y la Sociedad de Concreto para interpretar la resistencia de los núcleos.<sup>99</sup>

**Tabla 6 Factores que influyen en la interpretación de resultados de ensayos a núcleos en diferentes códigos.**

List	Code/standard	Edition	Factors Considered					
			Aspect ratio	Diameter	Reinforcing	Moisture	Damage	Direction
1	Egyptian Code/Standard Specification	2008	✓		✓			✓
2	British Code/Standard Specification	2003	✓		✓			✓
3	American Concrete Institute ACI	1998	✓					
4	European Standard Specification	2012	✓	✓		✓	✓	
		1998	✓	✓			✓	
5	Japanese Standard	2009	✓		✓			
		1998	✓		✓			
6	Concrete Society	1987	✓		✓		✓	✓

Fuente: Reliability of core test – Critical assessment and proposed new approach. P 171.

#### 8.1.7.1 Muestreo

Un núcleo es una muestra cilíndrica de concreto endurecido obtenida por medio de un taladro extractor. Las muestras de concreto endurecido (especímenes), que se recuperan para ser utilizados en ensayos de resistencia, no deben tomarse hasta que el concreto se haya endurecido lo suficiente como para permitir la remoción de la muestra sin afectar la adherencia entre el mortero y el agregado grueso de la mezcla. En general, No es posible especificar una edad mínima en la que el concreto sea lo suficientemente fuerte para soportar daño durante su remoción, ya que la resistencia en cualquier edad depende del historial de curado y el grado de resistencia del concreto. Si el tiempo lo permite, no se debería extraer el espécimen de concreto antes de que tenga 14 días de edad.<sup>100</sup>

Las muestras que presenten condiciones anormales y defectos, o aquellas que han sido dañadas en el proceso de extracción o en el transporte, deben desecharse y no ser tenidas en cuenta para ensayos de resistencia.

Si los núcleos de concreto que se someterán a ensayos de compresión contienen refuerzos, pueden arrojar resultados poco confiables (valores tanto superiores como inferiores de resistencia con respecto a los núcleos sin acero), por lo que deben evitarse o desbastarse para eliminar el refuerzo, utilizando una relación L/D de 1,00 o mayor si es posible, si no es posible preparar un espécimen de ensayo que cumpla este requisito y que esté libre de refuerzo incrustado u otro metal, la persona que especifica los ensayos puede permitir el ensayo de núcleos con metal incrustado. Si un núcleo que se somete a ensayo de resistencia contiene metal incrustado, se

<sup>99</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 171.

<sup>100</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 4.



debe documentar en el informe de ensayo el tamaño, forma y ubicación del refuerzo dentro del núcleo <sup>101</sup>.

La presencia de refuerzo de acero, en forma diferente a fibras, u otro metal incrustado en un núcleo afecta la resistencia medida. Existen datos insuficientes para obtener factores de corrección confiables que se puedan aplicar a la resistencia medida para tener en cuenta el refuerzo incrustado perpendicular al eje del núcleo. Un ensayo de núcleos que contienen refuerzo incrustado requiere juicio técnico para evaluar la validez de los resultados. La persona que especifica los ensayos no debe permitir que se determine la resistencia de un núcleo si una barra de refuerzo, u otro objeto incrustado, metálico alargado, está orientado casi en paralelo al eje del núcleo <sup>102</sup>.

#### 8.1.7.2 Extracción de núcleos

Cuando se va a ensayar un núcleo para medir la resistencia del concreto, este debe extraerse de forma perpendicular a la superficie y a una distancia mínima de 150 mm (6 pulgadas) de las juntas formadas por el encofrado o bordes evidentes de un vaciado <sup>103</sup>. Se debe evitar que el núcleo extraído contenga acero de refuerzo en, o cerca de, su eje longitudinal <sup>104</sup>. Se debe registrar el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo extraído y el plano horizontal del concreto en el sentido de vaciado. Siempre que sea posible, se debe extraer el espécimen perpendicular a la superficie (vertical o inclinada), y cercano al punto medio de la porción vaciada. <sup>105</sup>

Inmediatamente después de extraer el núcleo se debe limpiar y marcar. Se debe registrar la ubicación y orientación dentro del elemento del cual se extrajo <sup>106</sup>, como también la fecha en que se extrajo el núcleo y, si se conoce, registre la fecha en que se colocó el concreto. <sup>107</sup>

---

<sup>101</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 4.

<sup>102</sup> American Society for Testing and Materials, “C42-Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete” (West Conshohocken, Pennsylvania, 2018), p. 3.

<sup>103</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

<sup>104</sup> British Standards Institution, “EN 12504-1-Cored specimens-Taking, examining and testing in compression”, p. 5.

<sup>105</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

<sup>106</sup> British Standards Institution, “EN 12504-1-Cored specimens-Taking, examining and testing in compression”, p. 5.

<sup>107</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 6.

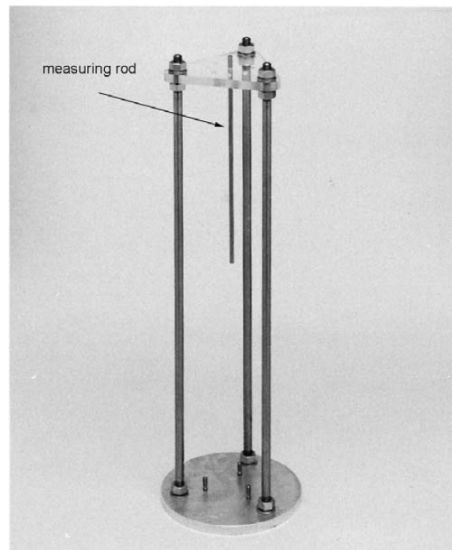
### 8.1.7.3 Determinación de la longitud

Este método de prueba requiere que al menos un extremo del núcleo de concreto sea una superficie terminada o formada, esto es que esté perpendicular al eje del núcleo.

Se debe usar un equipo que consiste en una placa base con tres postes dispuestos de tal forma que sostengan el núcleo en una dirección vertical, y una placa superior estableciendo un plano paralelo con altura conocida. Dicha altura está definida por los postes de soporte. El equipo incluye una varilla de medición que se usa para determinar la longitud axial del núcleo.<sup>108</sup>

Si bien los detalles del diseño mecánico no están prescritos en la norma, el equipo debe cumplir con una serie de requisitos a continuación descritos. Un ejemplo del equipo se ilustra en la Figura 16.

**Figura 16** Ejemplo de un equipo adecuado para medición de núcleos.



**Fuente:** ASTM C174 Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores.

- Requisitos del equipo

Los requisitos que debe cumplir el equipo, según la ASTM C174<sup>109</sup> son:

La base del aparato debe estar diseñada de manera que el núcleo se sostenga con su eje en posición vertical por tres soportes colocados simétricamente y apoyados contra el extremo inferior del núcleo. Estos soportes deben ser postes cortos de

---

<sup>108</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", 2017, p. 1.

<sup>109</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", p. 1-2.

acero duro, y los extremos que se apoyan contra la superficie del núcleo se deben redondear a un radio de no menos de 6 mm [1/4 pulg.] Y no más de 13 mm [1/2 pulg.].

El equipo debe permitir la medición de núcleos de diferentes longitudes nominales en un rango de al menos 100 mm a 250 mm [4 a 10 pulg.].

La placa superior debe diseñarse de modo que sea posible realizar una medición de longitud en el centro del extremo superior del núcleo, y en ocho puntos adicionales separados a intervalos iguales a lo largo de la circunferencia de un círculo cuyo punto central coincide con el del área final del núcleo y cuyo radio no es inferior a la mitad ni más de tres cuartos del radio del núcleo.

La barra de medición en contacto con el extremo superior del núcleo se redondeará a un radio de 3 mm [1/8 pulg.]. La escala en la varilla de medición debe tener marcas graduadas claramente visibles, definidas y espaciadas con precisión. El espacio entre las marcas graduadas no debe ser mayor que 1.0 mm o 0.10 pulg. La barra de medición se debe usar para medir la distancia desde la parte inferior de la placa superior hasta la parte superior del núcleo (ver Figura 16).

El equipo debe ser estable y lo suficientemente rígido para mantener su forma y alineación sin una distorsión o desviación de más de 0.25 mm [0.01 pulg.] Durante todas las operaciones de medición.

Se debe realizar una verificación y calibración al equipo, los bloques de calibración adecuados para dicha verificación son los cilindros circulares rectos con extremos planos y un diámetro aproximadamente igual al diámetro de los núcleos que se pretende medir y una longitud en el rango de las mediciones requeridas. Para minimizar la incertidumbre en la medición, la longitud del cilindro en el perímetro debe determinarse con precisión de 0.05 mm [0.002 pulg.] Usando instrumentos de medición calibrados. La planitud de los extremos no debe apartarse de un plano más de 0.02 mm [0.001 pulg.] en cilindros de 150 mm [6 in.] de diámetro o más; o en más de 0.02 mm [0.001 pulg.] En el diámetro de cualquier cilindro más pequeño.

- Especímenes de ensayo

Los núcleos utilizados para medición de su longitud deben obtenerse de acuerdo a lo tratado en el numeral "Muestreo". Los núcleos son perforados con el eje axial normal a la superficie de la estructura.

Si al extraer un núcleo de una losa, incluye partículas de agregado adheridas a la superficie inferior del concreto, estas deben eliminarse para exponer la superficie inferior del concreto. Si durante la eliminación del agregado, el hormigón se rompe, de modo que las mediciones obtenidas no puedan ser representativas de la longitud

original del núcleo, el núcleo no debe usarse para la determinación de su longitud <sup>110</sup>.

Si el concreto se coloca directamente sobre un curso de base, el mortero puede rodear algunas partículas. Use la fuerza suficiente para retirar, pero no para fracturar, las partículas ligadas al núcleo por el mortero <sup>111</sup>. Si durante la eliminación de estas el hormigón se rompe de modo que las mediciones obtenidas no puedan ser representativas de la longitud original del núcleo, el núcleo no debe usarse para la determinación de su longitud.

- Procedimiento

Antes de realizar cualquier medición de la longitud del núcleo se debe realizar una verificación o calibración del equipo, como se mencionó anteriormente, para que se conozcan los errores causados por imperfecciones mecánicas en el equipo. Si la diferencia entre la longitud medida con el equipo y la longitud conocida del medidor de verificación excede de 0.25 mm [0.01 pulg.], se deben aplicar las correcciones adecuadas a las mediciones de longitud del núcleo.

Se debe colocar el núcleo en el equipo de medición con el extremo plano hacia abajo, es decir, el extremo que representa la superficie superior de una losa de pavimento o una superficie formada en el caso de otras estructuras, para que sea soportado por los tres soportes de acero. El núcleo debe estar en los soportes en una posición tal que la medición central del equipo esté directamente sobre el centro del extremo superior del núcleo.

Se deben tomar nueve mediciones desde la parte inferior de la placa superior hasta la parte superior del núcleo, una en la posición central y una en cada una de las ocho posiciones adicionales separadas a intervalos iguales a lo largo de la circunferencia del círculo de medición. Lea cada una de estas nueve medidas con la precisión de 1.0 mm [0.05 pulg.]. Se promedian las nueve mediciones y se calcula la longitud del núcleo utilizando este promedio y la distancia conocida entre los dos planos establecidos. <sup>112</sup>

Si, en el curso de la operación de medición, se descubre que en uno o más de los puntos de medición, la superficie del núcleo no es representativa del plano general del extremo del núcleo debido a una pequeña proyección o depresión, el núcleo debe girarse ligeramente sobre su eje y tomar las nueve mediciones con el núcleo

---

<sup>110</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", p. 2.

<sup>111</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", 2.

<sup>112</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", p. 2.

en la nueva posición. Con los núcleos de losas colocados sobre bases de agregados, las disposiciones anteriores con frecuencia no se pueden cumplir debido a la gran cantidad de proyecciones o vacíos en la superficie inferior. <sup>113</sup>

- Informe

Según la ASTM C174, el informe sobre la determinación de la longitud del núcleo, debe registrar la longitud del núcleo aproximada a 1.0 mm [0.05 pulg.].

#### 8.1.7.4 Resistencia a la compresión

El diámetro de los especímenes de núcleos para la determinación de la resistencia a la compresión debe ser de mínimo 94 mm (3,70 pulg.) o de mínimo dos veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso, lo que sea mayor. Si el espesor limitado de un elemento hace imposible obtener núcleos con relación longitud-diámetro (L/D) de mínimo 1,0 o si la distancia evidente entre el refuerzo es limitada, se permiten núcleos con diámetros inferiores a 94 mm (3,70 pulg.). Si se emplea un núcleo con diámetro inferior a 94 mm (3, 70 pulgadas), se debe reportar la razón. <sup>114</sup>

la longitud preferida del espécimen refrentado o pulido se encuentra entre 1,9 y 2,1 veces el diámetro. Si la relación entre longitud y diámetro (L/D) del núcleo excede 2,1, se debe reducir la longitud del núcleo. Los especímenes de núcleo con relaciones de (L/D) igual o inferior a 1,75 requieren correcciones de acuerdo con la resistencia a la compresión medida como lo menciona la sección de Cálculos para resultados de resistencia de núcleos (ver Tabla 15). No se requiere un factor de corrección de resistencia para L/D superior a 1,75. No se deben ensayar núcleos con longitud inferior al 95 % de su diámetro antes de refrentar o longitud inferior a su diámetro después de refrentar, recortar o pulir sus extremos. <sup>115</sup>

Cuando la resistencia de los núcleos se va a comparar con la de cubos normalizados, los núcleos se deben ensayar con L/D de 1,00 a 1,05 y no se deben aplicar los factores de corrección de la Tabla 15. <sup>116</sup>

---

<sup>113</sup> American Society for Testing and Materials, "C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores", p. 2.

<sup>114</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas", p. 6.

<sup>115</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas", p. 6.

<sup>116</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas", p. 6.

- Acondicionamiento de la humedad

Los procedimientos de acondicionamiento de humedad tienen como fin preservar la humedad del núcleo extraído.

Después de extraer un núcleo se debe secar su superficie y dejar que la humedad restante se evapore. Cuando las superficies se vean secas, pero no antes de una hora, se deben guardar los núcleos en bolsas plásticas selladas hasta el momento del refrentado y no más de dos horas antes de la falla.<sup>117</sup>

- Preparación de las bases

Las bases del espécimen de núcleo que se ensaya a compresión deben ser planas, perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del espécimen de acuerdo con la NTC 673.<sup>118</sup>

Si no se cumplen los requisitos de planitud y perpendicularidad indicados en la NTC 673, se deben cortar o pulir las bases del espécimen que va a ser refrentado, para que antes del refrentado, cumplan con lo siguiente:

- Las protuberancias, si existen, no deben exceder los 5 mm (0,2 pulgadas) sobre la superficie de las bases.
- Las superficies de las bases no deben desviar su perpendicularidad con el eje longitudinal en una pendiente mayor de 1:8 d (6 1:0,3 d) donde d es el diámetro promedio de núcleo en mm (o pulgadas).

- Densidad calculada

Si el núcleo se va a someter a ensayo de resistencia a la compresión, se debe medir la masa del núcleo justo antes del refrentado o justo antes del ensayo si no se emplea refrentado adherido. Divida la masa por el volumen del núcleo calculado a partir del diámetro promedio y la longitud. Se debe registrar la densidad calculada con aproximación a 20 kg/m<sup>3</sup> (1 lb/pie<sup>3</sup>).<sup>119</sup>

#### 8.1.7.5 Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto

Antes de llevar a cabo el ensayo de compresión se debe verificar que las superficies de los extremos de los núcleos satisfagan los requisitos de planitud y

---

<sup>117</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 7.

<sup>118</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 7.

<sup>119</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 7.

perpendicularidad exigidos por la NTC 673, si no se cumplen, se debe refrentar las bases o caras de los especímenes.

Refrentar es generar superficies planas en los extremos de los especímenes elaboradas con materiales apropiados para asegurar una correcta distribución de esfuerzos en la aplicación de carga durante el ensayo de compresión.

## EQUIPO DE REFRENTADO

- Platos de refrentado

El refrentado con cemento puro y con yeso de alta resistencia se debe llevar a cabo contra un vidrio de al menos 6 mm [1/4 pulg.] de espesor; una placa de metal mecanizado de mínimo 13 mm [0.45 pulg.] de espesor o una placa de granito pulido o diabasa de espesor mínimo 76 mm [3 pulg.]. La superficie del mortero de azufre se forma contra placas similares de piedra o metal. En todos los casos el diámetro de los platos debe ser al menos 25 mm [1 pulg.] mayor que el diámetro del espécimen de ensayo y la superficie de trabajo no debe desviarse del plano en más de 0,05 mm [0.002 pulg.] por cada 152 mm [6 pulg.].

La rugosidad superficial de los platos metálicos recién terminados no debe exceder lo establecido en la Tabla 7 para cualquier tipo de superficie y dirección en que se mida <sup>120</sup>. La superficie, cuando es nueva, debe estar libre de raspaduras, surcos o hendiduras más allá de las causadas por la operación de acabado. Las placas de metal que se han estado utilizando deben estar libres de raspaduras, ranuras y abolladuras mayores de 0.25 mm [0.010 pulg.] de profundidad o mayores de 30 mm<sup>2</sup> [0.05 pulg.<sup>2</sup>] en el área de la superficie <sup>121</sup>.

En dispositivos verticales de refrentado, el uso de platos metálicos de refrentado de 2 piezas es ventajoso ya que facilita la elaboración nuevamente de las superficies de refrentado si esto llega a ser necesario. En tales dispositivos la sección inferior es un plato sólido y la superior tiene un orificio circular. Se acostumbra unir las 2 secciones con tornillos.

Es conveniente que la superficie superior del plato inferior sea endurecida. Se sugiere una dureza Rockwell 48 HRC. Para refrentado con morteros de azufre de cilindros de concreto endurecido, puede utilizarse un aparato igual o equivalente al indicado en la Figura 17. <sup>122</sup>

---

<sup>120</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto” (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1995), p. 2.

<sup>121</sup> American Society for Testing and Materials, “C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens” (West Conshohocken, Pennsylvania, 2015), p. 1.

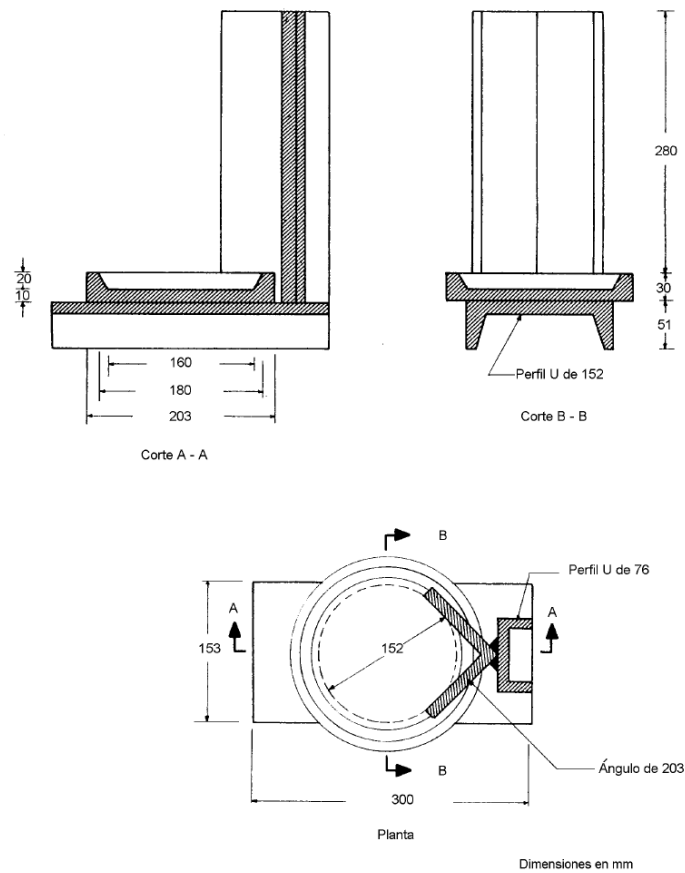
<sup>122</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, p. 3.

Tabla 7 Tolerancia para la rugosidad superficial de los platos metálicos.

Promedio de Rugosidad $\mu\text{m}$	Tolerancia, Porcentaje del Valor Nominal
0,025 - 0,10	+ 250 -35
0,20	+ 20 -30
0,40	+ 15 -25
0,80 y mayor	+ 15 -20

Fuente: ANSI B 46 *Surface texture (Surface roughness, waviness, and lay)*

Figura 17 Equipo para refrentado de cilindros de concreto endurecido.



Fuente: NTC 504 Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto.

- Dispositivos de alineación

Los dispositivos de alineación adecuados, como las barras de guía o los niveles de ojo de buey, se deben utilizar junto con las placas de refrentado con el propósito de garantizar que cada refrentado individual salga de la perpendicularidad con respecto



al eje del espécimen cilíndrico en más de 0.5° (una desviación de la perpendicularidad de 0.5° es igual a una pendiente de aproximadamente 1.0 mm en 100 mm [1/8 pulg. en 12 pulg.]). El mismo requisito es aplicable a la relación entre el eje del dispositivo de alineación y la superficie de una placa de protección cuando se utilizan barras de guía. Además, la ubicación de cada barra con respecto a su placa debe ser tal que ninguna tapa quede descentrada en una muestra de prueba más de 2 mm [1/16 in.].<sup>123</sup>

- Recipientes de fundición para morteros de azufre

Los recipientes utilizados en la fundición de los morteros de azufre deben estar equipados con controles automáticos de temperatura y estar fabricados en metal o revestidos con un material que no reaccione con el azufre fundido.<sup>124</sup>

**Advertencia:** Los recipientes de fundición dotados de calentamiento periférico deben garantizar que se eviten los accidentes durante el proceso de recalentamiento de la mezcla enfriada de azufre, la cual tiene una superficie en forma de capa fina. Cuando se empleen recipientes de fundición que no estén dotados de ese mecanismo se debe evitar el incremento de la presión por debajo de la capa fina superior endurecida durante los procesos posteriores de recalentamiento empleando una varilla metálica que hace contacto con el fondo del recipiente y sobresale por encima de la superficie de la mezcla de azufre líquido a medida que se enfría.<sup>125</sup>

Los recipientes para fundición de azufre se deben usar bajo una campana de extracción de humo hacia el exterior. El calentamiento realizado encima de una llama es peligroso ya que el punto de inflamación del azufre es de aproximadamente 227°C [405°F] y la mezcla puede hacer combustión debido al sobrecalentamiento. En caso de que la mezcla comience la combustión, al cubrirla se apagará la llama. El recipiente debe llenarse nuevamente con material fresco después de que se haya extinguido la llama.<sup>126</sup>

- Materiales para refrentar

La resistencia del material de refrentado y el grosor de las tapas deben cumplir con los requisitos de la Tabla 8.

---

<sup>123</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 2.

<sup>124</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto", p. 3.

<sup>125</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto", p. 3.

<sup>126</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto", p. 5.

**Tabla 8 Resistencia a la compresión y espesor máximo de los materiales de recubrimiento.**

Cylinder Compressive Strength MPa [psi]	Minimum Strength of Capping Material	Maximum Average Thickness of Cap	Maximum Thickness Any Part of Cap
3.5 to 50 MPa [500 to 7000 psi]	35 MPa [5000 psi] or cylinder strength whichever is greater	6 mm [¼ in.]	8 mm [5/16 in.]
greater than 50 MPa [7000 psi]	Compressive strength not less than cylinder strength.	3 mm [1/8 in.]	5 mm [3/16 in.]

**Fuente: ASTM C617 Standard practice for capping cylindrical concrete specimens**

Según la ASTM C617, si se va a usar mortero de azufre, pasta de yeso de alta resistencia y otros materiales, excepto pasta de cemento pura, para refrenar y ensayar concreto de resistencia superior a 50 MPa [7000 psi] y su resistencia a la compresión es inferior a la resistencia a la compresión del cilindro de concreto, el fabricante o el usuario del material debe proveer ensayos y documentación de:

- Que la resistencia promedio de 15 cilindros refrentados con el material no sea menor que el 98% de la resistencia promedio de 15 cilindros acompañantes refrentados con pasta de cemento pura,
- Que la desviación estándar de las resistencias de los cilindros refrentados no es mayor que 1.57 veces la de la desviación estándar de los cilindros de referencia (acompañantes),
- Que los requisitos de espesor de la tapa se cumplieron en las pruebas de calificación, y
- Del tiempo de endurecimiento de las tapas utilizadas en las pruebas de calificación.

Adicionalmente, el informe de prueba de calificación debe incluir la resistencia a la compresión de los cubos de 50 mm [2 pulg.] del material a usar para refrentar y de los cubos de pasta de cemento puro, si se utiliza. Se permite el uso de materiales de refrentado que cumplen con los requisitos, para cilindros con resistencias hasta un 20% mayores que el concreto probado en estas pruebas de calificación. El usuario del material debe conservar una copia de los resultados de calificación y las fechas de fabricación del material calificado y del material que se esté utilizando actualmente <sup>127</sup>.

---

<sup>127</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 2.

En la Tabla 9 se presenta un ejemplo de informe de los resultados de las pruebas de calificación a un material para refrenado.

**Tabla 9 Ejemplo de reporte de calificación de un material para refrenado.**

NOTE 1—Manufacturer: Testing Supplies Co.  
 Capping Material: Super Strong AAA-Sulfur mortar  
 Lot: 12a45 Date Tested: 11/3/XX  
 Signed by: \_\_\_\_\_ (testing agency and responsible official)

Item	Capping Material	Control Cylinders	Ratio Cap/Control	Criteria	Pass/Fail
Concrete Cylinder Test Data					
Type of capping material	Sulfur	Ground			
Average Concrete Strength, psi	11 061	11 008	1.005	>0.98	Pass
Standard Deviation, psi	376	250	1.504	≤1.57	Pass
Number of cylinders tested	15	15			
Cap age when cylinders tested	7 days	na			
Capping Material Test Data					
Average cap thickness, in.	0.11	na			
Compressive strength of 2 in. cubes, psi	12 195				
Cube age when tested.	7 days				
Maximum concrete strength qualified, psi					1.2 Av. Str = 13 273 <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Nominally a specified strength of 11 000 psi and perhaps somewhat higher.

**Fuente: ASTM C617 Standard practice for capping cylindrical concrete specimens**

La resistencia a la compresión de los materiales de refrenado se debe determinar ensayando cubos de 50 mm [2 pulg.] usando el método descrito en NTC 220. El acabado se debe realizar con el mínimo de manipulación necesaria para producir una superficie lisa uniforme que esté nivelada con el borde o filo del molde y que no tenga depresiones o protuberancias de más de 3,2 mm.<sup>128</sup>

- Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas.

Según la NTC 220, el mortero usado está compuesto de una parte de cemento y 2,75 partes de arena, en proporción en masa. Los cementos portland o los cementos portland con incorporadores de aire se deben mezclar con una relación agua/cemento especificada. Para los demás cementos, la cantidad de agua de mezclado debe ser aquella que produzca una fluidez de  $110 \pm 5$  en 25 golpes con la mesa de flujo. Los cubos de ensayo de 50 mm o 2 pulgadas se apisonan en dos capas. Los cubos se curan en un día en los moldes, luego se desmoldan y se sumergen en agua con cal hasta el momento del ensayo.

Este método de prueba proporciona un modo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros. Los resultados se pueden usar para determinar el cumplimiento de los materiales a distintas especificaciones. Además, este método de ensayo está referenciado por numerosas otras especificaciones y métodos de prueba. Se debe tener precaución

<sup>128</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrenado de Especímenes Cilíndricos de Concreto", p. 3.

al usar los resultados de este método de prueba para predecir la resistencia de los concretos <sup>129</sup>.

- Moldes para muestras

**Tabla 10 Variaciones permisibles de los moldes para muestras.**

Parámetro	Cubos de 50 mm		Cubos de 2 pulgadas	
	Moldes nuevos	Moldes en uso	Moldes nuevos	Moldes en uso
Planitud de los lados	< 0,025 mm	< 0,05 mm	< 0,001 pulgadas	< 0,002 pulgadas
Distancia entre lados opuestos	50 mm ± 0,13 mm	50 mm ± 0,50 mm	2 pulgadas ± 0,005 pulgadas	2 pulgadas ± 0,02 pulgadas
Altura de cada compartimiento	50 mm + 0,25 mm a - 0,13 mm	50 mm + 0,25 mm a - 0,38 mm	2 pulgadas + 0,01 pulgadas a - 0,005 pulgadas	2 pulgadas + 0,01 pulgadas a - 0,015 pulgadas
Ángulo entre caras adyacentes <sup>(A)</sup>	90° ± 0,5°	90° ± 0,5°	90° ± 0,5°	90° ± 0,5°
<sup>(A)</sup> Medido en puntos ligeramente retirados de la intersección. Medido separadamente para cada compartimiento entre todas las caras interiores y la cara adyacente y entre las caras interiores y la parte plana superior e inferior del molde.				

**Fuente: NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas**

Los moldes para las muestras de cubos de 50 mm [2 pulg.] deben tener ajuste hermético, no deben tener más de tres compartimientos para cubos y se deben separar en máximo dos partes. Cuando se ensamblan, las partes de los moldes se deben unir adecuadamente. Los moldes deben estar hechos de metal duro no atacable por el mortero de cemento. Para moldes nuevos, el número de dureza Rockwell del metal no debe ser inferior a 55 HRB. Las partes de los moldes deben ser lo suficientemente rígidos para evitar que se expandan o deformen. Las caras interiores de los moldes deben ser superficies planas y deben ajustarse a las tolerancias de la Tabla 10. <sup>130</sup>

Los moldes cúbicos deben verificarse para cumplir con los requisitos de diseño y dimensiones de este método de prueba al menos cada 2½ años, según la NTC 220.

- Compactador

Debe fabricarse en un material que no sea absorbente, ni abrasivo y no quebradizo, tal como un compuesto de caucho de dureza Shore A 80 ± 10; o madera de roble curado que no presente absorción después de haber sido sumergido en parafina

<sup>129</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “220-Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a la Compresión Usando cubos de 50 mm o 2 pulg. de Lado.” (Bogotá D. C., 2017), p. 3.

<sup>130</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ‘220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.’, p. 3.

durante 15 min a 200° C [392° F] aproximadamente. La sección transversal del compactador debe ser de 13,0 mm ± 1,6 mm por 25,0 mm ± 1,6 mm (0,50 pulgadas ± 0,06 pulgadas por 1,00 pulgadas ± 0,06 pulgadas) y una longitud de entre 120 mm y 150 mm (5 pulgadas y 6 pulgadas). La cara de apisonamiento debe ser plana y en ángulo recto a la longitud del compactador <sup>131</sup>.

Se debe verificar la conformidad de los compactadores con el diseño y los requisitos dimensionales de este método de ensayo al menos cada seis meses, como lo menciona la NTC 220.

- Máquina de ensayo

Como lo especifica la NTC 220, puede ser de tipo hidráulico o de tornillo. Debe contar con una separación suficiente entre la superficie del cojinete superior y la superficie del cojinete inferior de la máquina para permitir el uso de aparatos de verificación. La carga aplicada a la probeta de ensayo se debe medir con una precisión de ± 1.0%. Si la carga aplicada por la máquina de compresión se registra en un dial, este deberá contar con una escala de graduación que pueda ser leída al menos a 0.1% del mayor valor de carga en la escala dada; Si la carga de la máquina de prueba se indica en forma digital, la pantalla numérica debe ser lo suficientemente grande como para ser leída fácilmente.

El incremento numérico debe ser igual o menor que 0.10% de la carga de escala completa o de un rango de carga dado. En ningún caso, el rango de carga verificado incluye cargas menores que el incremento numérico mínimo multiplicado por 100. La precisión de la carga indicada debe estar dentro del 1.0% para cualquier valor mostrado dentro del rango de carga verificado. Se deben prever los ajustes necesarios para que el indicador marque el cero verdadero cuando la máquina esté ejerciendo carga igual a cero. Debe haber un indicador de carga máxima que indique en todo momento, hasta que sea reposicionado, la carga máxima aplicada a la probeta, con una precisión del 1 % de exactitud del sistema <sup>132</sup>. Más detalles de la máquina de ensayo se pueden encontrar en NTC 220 y ASTM C109 / C109M.

- Temperatura y humedad

Según la NTC 220, la temperatura del aire en el lugar de la mezcla, los materiales secos, los moldes, las placas de base y el recipiente de mezcla se deben mantener entre 23.0° ± 3.0° C [73.5° ± 5.5° F]. La temperatura del agua para la mezcla, de la

---

<sup>131</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 4.

<sup>132</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 5.

cámara húmeda, y el agua en el tanque de almacenamiento deben mantenerse a  $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$  [ $73.5^{\circ} \pm 3.5^{\circ} \text{ F}$ ]. La humedad relativa del laboratorio no debe ser inferior al 50%.<sup>133</sup>

- Especímenes de prueba

Se deben hacer dos o tres muestras (cubos) de una misma mezcla de mortero para cada período o edad de ensayo especificado<sup>134</sup>.

- Preparación de moldes para muestras

En las caras interiores de los moldes y en la placa base no absorbente, se debe aplicar un recubrimiento delgado de un agente desmoldante como aceites o grasas usando un paño o tela impregnado u otro medio apropiado. Se debe eliminar cualquier exceso del agente desmoldante mediante un trapo, hasta lograr una capa delgada y uniforme sobre las superficies interiores. Cuando se emplee un lubricante en aerosol, debe aplicarse sobre las caras de los moldes y la placa de base a una distancia de 150 mm a 200 mm (6 pulgadas a 8 pulgadas) para alcanzar un total cubrimiento. Una vez terminado este proceso, limpie la superficie con un trapo para remover cualquier cantidad de aerosol en exceso. La capa resultante debe ser al menos la suficiente para permitir que una huella dactilar se pueda distinguir después de un leve contacto<sup>135</sup>.

Se deben sellar las superficies donde las mitades de los moldes se unen aplicando una capa de grasa liviana tal como vaselina. La cantidad debería ser suficiente para que se produzca una pequeña extrusión cuando se unen fuertemente las dos mitades. Se debe remover cualquier exceso de grasa con un paño o tela<sup>136</sup>.

- Composición de los morteros

Las proporciones de los materiales para el mortero estándar deben ser una parte de cemento por 2,75 partes de arena normalizada gradada seca, en masa. Para todos los cementos portland debe emplearse una relación agua/cemento de 0,485, y para todos los cementos portland con incorporadores de aire debe emplearse una relación de 0,460. Para los cementos hidráulicos, la cantidad de agua en la mezcla

---

<sup>133</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 7

<sup>134</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 6.

<sup>135</sup> American Society for Testing and Materials, "C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-mm ] Cube Specimens)", 2016, p. 3.

<sup>136</sup> American Society for Testing and Materials, "C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-mm ] Cube Specimens)", p. 3.

debe ser la que produzca una fluidez de  $110 \pm 5$  y debe expresarse como un porcentaje en masa de cemento. <sup>137</sup>

las cantidades de los materiales a mezclar simultáneamente, para obtener seis, nueve y doce cubos de ensayo, se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11 Cantidad de materiales a mezclar por número de probetas.**

Material	6 cubos	9 cubos	12 cubos
Cemento, g	500	740	1 060
Arena, g	1 375	2 035	2 915
Agua, (mL)			
- Otros (fluidez de $110 \pm 5$ )	-	-	-
- Portland (0,485)	242	359	514
- Portland con aire incorporado (0,460)	230	340	488

**Fuente: NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas**

#### 8.1.7.6 Determinación de la fluidez:

Como lo menciona la NTC 220, para cementos portland y portland con incorporadores de aire solamente se debe registrar la fluidez, en caso de cementos hidráulicos diferentes al portland y portland con incorporadores de aire, realice ensayos de morteros variando el porcentaje de agua hasta obtener la fluidez dentro del rango especificado. Se debe realizar cada ensayo con mortero fresco.

inmediatamente después de finalizado el ensayo de fluidez, se debe retornar el mortero de la mesa de flujo al recipiente de mezcla. Se raspa con una espátula, el mortero adherido a las paredes hacia el fondo del recipiente y se remezcla durante 15 s a velocidad media. Al finalizar el mezclado, debe sacudirse la paleta para remover el exceso de mortero para recibirlo dentro del recipiente de mezcla. <sup>138</sup>

Cuando se vaya a duplicar una nueva mezcla inmediatamente para cubos adicionales, puede omitirse el ensayo de fluidez y se deja reposar el mortero en el recipiente de mezcla durante 90 s sin cubrirlo. Durante los 15 s finales de este

<sup>137</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 7.

<sup>138</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 8.

intervalo, rápidamente se raspa hacia abajo el mortero adherido en las paredes del recipiente de mezcla. Luego se remezcla durante 15 s a velocidad media <sup>139</sup>.

- Procedimiento
  - Llenado de los moldes

Según la NTC 220, se debe completar la consolidación del mortero en los moldes ya sea mediante apisonamiento manual o utilizando un método alternativo calificado. Los métodos alternativos incluyen, entre otros, el uso de una mesa vibratoria o dispositivos mecánicos.

- Apisonado manual

Como lo estipula la NTC 220, se debe iniciar el proceso de llenado de los moldes antes de 150 s, contados desde la terminación de la mezcla inicial del mortero. En cada compartimiento se debe colocar una capa de mortero de 25 mm (1 pulgada) (aproximadamente la mitad de la profundidad del molde) y apisonar con 32 golpes del compactador en 10 s en 4 rondas de 8 golpes continuos sobre la superficie de la probeta, como se ilustra en la Figura 18. En cada ronda debe golpearse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. La presión del compactador debe ser justo la suficiente para asegurar el llenado uniforme de los moldes. Se deben completar las 4 rondas de compactación (32 golpes) en cada compartimiento antes de pasar al siguiente. Una vez apisonada la primera capa en todos los compartimientos, se llenan los compartimientos con una segunda capa con el mortero restante y se apisonan como se explicó anteriormente.

Durante el apisonamiento de la segunda capa, se debe reintroducir el mortero que se desborda en la parte superior del molde después de cada ronda con ayuda de los dedos protegidos con guantes de caucho, realizar esta operación al terminar cada ronda y antes de iniciar la siguiente ronda de compactación. Al finalizar el apisonamiento, las caras superiores de los cubos deben quedar un poco más altas que los bordes superiores del molde. Se reintroduce en los compartimientos el mortero que se ha depositado en los bordes, con ayuda del palustre o llana plana, y se alisa la superficie de los cubos con el lado plano (con el borde delantero ligeramente elevado) una sola vez en sentido perpendicular a la longitud del molde. A continuación, con el fin de nivelar el mortero y hacer el mortero que sobresale por encima de la parte superior del molde, de espesor más uniforme, se mueve el lado plano del palustre o llana plana (con el borde delantero levemente elevado) ligeramente a lo largo del molde. Se debe enrasar el mortero con la parte superior

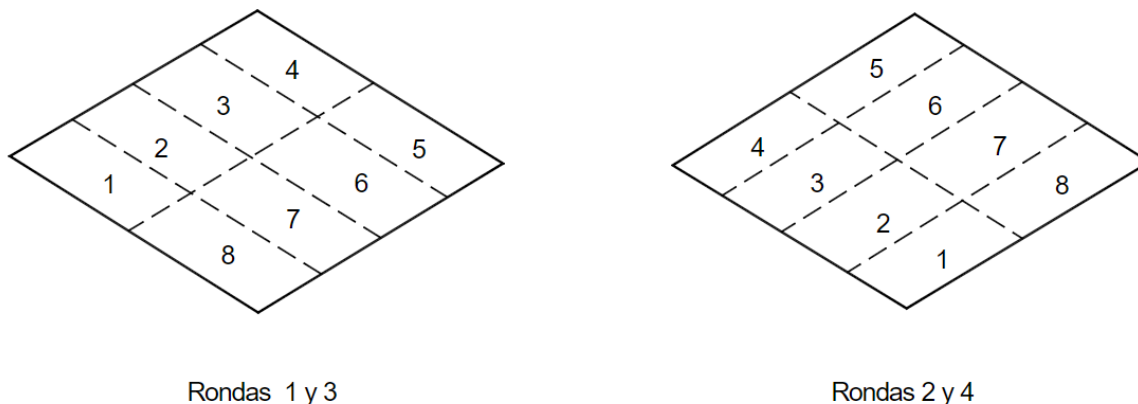
---

<sup>139</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 8.



del molde, moviendo el borde recto del palustre o llana plana (sostenida casi perpendicular al molde) con un movimiento de vaivén a lo largo del molde. <sup>140</sup>

Figura 18 Orden en que se deben apisonar las probetas en el molde.



Fuente: NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas

#### 8.1.7.7 Métodos alternativos

La NTC 220 precisa que se puede usar cualquier método de consolidación que cumpla los requisitos de calificación. El método de consolidación consta de un procedimiento específico, equipo y dispositivo de consolidación, seleccionados y usados de forma consistente por un laboratorio específico. El tamaño de la bachada de mortero se puede modificar para ajustarse al aparato siempre y cuando se mantengan las mismas proporciones indicadas anteriormente en la Tabla 11.

**Nota:** Se requieren distintas calificaciones para distintas clases de cemento. Revisar NTC 220.

#### 8.1.7.8 Almacenamiento de los cubos

La ASTM C109 y la NTC 220 establecen que, terminada la operación de llenado, se deben colocar las probetas en un gabinete húmedo o cuarto húmedo. Inmediatamente después del llenado, se deben mantener los cubos en los moldes sobre las placas base, en el gabinete o cuarto húmedo durante un periodo de 20 h a 72 h, con las caras superiores de los cubos expuestos al aire húmedo, pero protegidas contra la eventual caída de gotas de agua. Si los cubos se retiran de los moldes antes de 24 h, se deben dejar en los estantes de la cámara o cuarto húmedo hasta que se complete este tiempo. Los cubos que no van a ser ensayados a las 24

---

<sup>140</sup> ICONTEC, "NTC 220 - Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usado cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado.", *Norma Técnica Colombiana*, 2004, p. 9.

h se deben sumergir en agua saturada con cal. El agua de almacenamiento debe cambiarse según se requiera para mantenerla limpia.

#### 8.1.7.9 Determinación de la resistencia a la compresión

Se deben Ensayar los cubos inmediatamente después de retirarlos de la cámara hornada en el caso de cubos de 24 horas, y del agua de almacenamiento en el caso de todos los demás cubos. Todos los cubos de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de la tolerancia permisible prescrita en la Tabla 12.

141

**Tabla 12 Tolerancias permisibles para falla de probetas.**

Edad del ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 1/2$ h
3 d	$\pm 1$ h
7 d	$\pm 3$ h
28 d	$\pm 12$ h

**Fuente: NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas.**

Si más de un cubo a la vez es retirado de la cámara húmeda para los ensayos de 24 h, mantenga estos cubos cubiertos con un paño húmedo hasta el momento del ensayo. Si más de un cubo a la vez es retirado del agua de almacenamiento para el ensayo, guarde estos cubos en agua a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $73,5^{\circ}\text{F} \pm 3,5^{\circ}\text{F}$ ) y a profundidad suficiente para sumergir completamente cada cubo hasta el momento de ensayarlos <sup>142</sup>.

Se debe secar la superficie de los cubos con un paño y remover los granos de arena sueltos o las incrustaciones sobre las caras que van a estar en contacto con los bloques de apoyo de la máquina de ensayo. Se debe verificar, por medio de una regla, que estas caras sean perfectamente planas, ya que, si no lo son, los ensayos pueden arrojar resultados mucho menores a la resistencia real. En caso de que tengan una curvatura apreciable, se deben pulir hasta obtener superficies planas; si

---

<sup>141</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 11.

<sup>142</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 11.

esto no es posible, se desecha el cubo. Se debe medir de forma periódica del área de la sección transversal de los cubos. <sup>143</sup>

Se debe colocar el cubo cuidadosamente en la máquina de ensayo, teniendo en cuenta que las superficies sobre las que se va a ejercer presión sean las que estuvieron en contacto con las paredes del molde. Se centra el cubo debajo del bloque superior de la máquina de ensayo y se comprueba que el bloque con asiento esférico pueda inclinarse libremente en cualquier dirección. No se deben utilizar materiales amortiguadores entre el cubo y los bloques. Se coloca el bloque con asiento esférico en contacto uniforme con la superficie del cubo. La velocidad de carga debe ser relativa de movimiento entre los discos superiores e inferiores, correspondiente a una carga sobre el cubo, en un rango de 900 N/s a 1 800 N/s (200 lb/s a 400 lb/s) <sup>144</sup>. Se debe obtener esta velocidad de movimiento designada de la placa durante la primera mitad de la carga máxima anticipada y no hacer ningún ajuste en la velocidad de movimiento de la placa en la segunda mitad de la carga, especialmente mientras el cubo está cediendo antes de la rotura.

#### 8.1.7.10 Cálculos

Según la NTC 220, se debe registrar la carga máxima total indicada por la máquina de ensayo, y calcular la resistencia a la compresión mediante la siguiente expresión:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde,

$f_m$  = resistencia a la compresión en MPa (psi)

$P$  = máxima carga total en N (lbf), y

$A$  = área de la superficie cargada. mm<sup>2</sup> (pulgada<sup>2</sup>)

Para la determinación de la resistencia a la compresión se pueden usar especímenes de cubos de 50 mm [2 pulgadas], ya sea que se usen unidades en SI o en libras-pulgada. Si el área real de la sección transversal de una probeta varía en más del 1,5 % de la nominal, el cálculo de la resistencia a la compresión se hace en función del área real. La resistencia a la compresión de todas las probetas de

---

<sup>143</sup> American Society for Testing and Materials, "C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-mm ] Cube Specimens)", p. 4.

<sup>144</sup> American Society for Testing and Materials, "C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-mm ] Cube Specimens)", p. 6.

ensayo aceptables preparadas con la misma muestra y ensayadas en el mismo periodo se debe promediar y expresar con una aproximación a 0,1 MPa (10 psi).

#### 8.1.7.11 Informe

El informe de la fluidez se debe dar con una aproximación al 1% y la del agua utilizada con una aproximación al 0,1% más cercano. El promedio de la resistencia a la compresión de todas las probetas de la misma muestra se debe expresar con aproximación a 0,1 MPa (10 psi) <sup>145</sup>.

#### 8.1.7.12 Especímenes defectuosos y reensayos

En la determinación de la resistencia a la compresión no se tienen en cuenta los cubos que están notoriamente defectuosos. El intervalo máximo permisible entre probetas de la misma mezcla de mortero para la misma edad de ensayo es de 8.7% del promedio cuando una edad de ensayo está representada por tres cubos y 7,6% cuando la edad de ensayo está representada por dos cubos <sup>146</sup>.

Si el intervalo de variación de los tres cubos excede el máximo dado en el párrafo anterior, se descarta el resultado que difiere más del promedio, y se verifica el rango de los dos cubos restantes. El ensayo se debe repetir si quedan menos de dos cubos después descartar los cubos defectuosos, o descartar los ensayos que no cumplen con el intervalo máximo permisible de dos cubos. <sup>147</sup>

Rangos de precisión y ejemplo del procedimiento se puede encontrar en la NTC 220.

Con excepción de los morteros de azufre, los procedimientos de moldeo deben ser como en el método de prueba descrito anteriormente, a menos que se requieran otros procedimientos para eliminar grandes vacíos de aire atrapados. En ASTM C472 se encuentran métodos de prueba para procedimientos de compactación alternativos. Se deben curar los cubos en el mismo ambiente durante el mismo periodo de tiempo que el material utilizado para refrentar los especímenes.

La resistencia del material de refrentado se determinará al recibir un nuevo lote y en intervalos que no excedan los tres meses. Si un lote dado del material de recubrimiento no cumple con los requisitos de resistencia, no se debe utilizar, y las pruebas de resistencia del material de reemplazo se deben realizar semanalmente

---

<sup>145</sup> American Society for Testing and Materials, "C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-mm ] Cube Specimens)", p. 6.

<sup>146</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 12.

<sup>147</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.', p. 12.

hasta que cuatro determinaciones consecutivas cumplan con los requisitos de especificación.<sup>148</sup>

#### 8.1.7.13 Pasta de cemento hidráulico puro

Se deben realizar pruebas de calificación a la pasta de cemento hidráulico puro antes de usarla como material de refrentado para establecer los efectos de la relación de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión de los cubos de 50 mm [2 pulg.].<sup>149</sup>

**Nota:** Los cementos utilizados generalmente cumplen con la especificación C150 Tipos I, II o III; sin embargo, se puede usar la especificación C595 de cementos combinados, aluminato de calcio u otros cementos hidráulicos que produzcan una resistencia aceptable.<sup>150</sup>

Se debe mezclar la pasta de cemento puro hasta obtener la consistencia deseada con una relación agua-cemento igual o inferior a la requerida para producir la resistencia requerida, generalmente de 2 a 4 h antes de usar la pasta (las pastas recién mezcladas tienden a exudar, encogerse y hacer tapas inaceptables. El período de 2 a 4 h es generalmente apropiado para los cementos portland). Se mezcla de nuevo según sea necesario para mantener una consistencia aceptable (la consistencia requerida de la pasta está determinada por el aspecto de la tapa cuando se despega. La pasta fluida produce vetas en la tapa. La pasta dura da como resultado tapas gruesas.). Es aceptable retomar la pasta si no se supera la relación de agua y cemento requerida. La consistencia óptima generalmente se produce en relaciones agua-cemento de 0,32 a 0,36 para masas de cemento Tipo I y Tipo II; y de 0,35 a 0,39 para masas de cemento Tipo III.<sup>151</sup>

#### 8.1.7.14 Pasta cementante de yeso de alta resistencia

Como lo menciona la ASTM C617, no se pueden agregar rellenos ni extensores a la pasta cementante de yeso pura de alta resistencia después de la fabricación del cemento. Se deben realizar pruebas de calificación para determinar los efectos de la relación agua-cemento y la edad en la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm [2 pulg.]. Los retardadores pueden usarse para prolongar el tiempo de trabajo, pero deben determinarse sus efectos sobre la relación y la resistencia de agua-cemento requeridas. La relación agua-cemento de yeso debe estar entre 0.26

---

<sup>148</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 2.

<sup>149</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 2.

<sup>150</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 3.

<sup>151</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 2.

y 0.30. El uso de bajas relaciones agua-cemento y una mezcla vigorosa generalmente permitirá el desarrollo de 35 MPa [5000 psi] a edades de 1 o 2 h. Las proporciones más altas de agua y cemento de yeso prolongan el tiempo de trabajo, pero reducen la resistencia.<sup>152</sup>

Se debe realizar la mezcla de pasta de cemento de yeso y agua en la proporción deseada y utilizarse de inmediato, ya que fragua rápidamente.

**Nota:** Los moldes de baja resistencia de masilla de yeso, comúnmente llamado yeso de París o mezcla de yeso y cemento Portland son inapropiados para el refrentado de los especímenes.<sup>153</sup>

#### 8.1.7.15 Mortero de azufre

Se permiten morteros de azufre patentados o preparados en el laboratorio si se dejan endurecer por lo menos 2 h antes de probarse con concretos de resistencia menor a 35 MPa [5000 psi]. Para concretos con resistencias de 35 MPa [5000 psi] o más, se debe permitir que las tapas de mortero de azufre se endurezcan al menos 16 h antes de la prueba, a menos de que se demuestre por medio de una prueba de calificación que un tiempo más corto es suficiente.<sup>154</sup>

#### 8.1.7.16 Determinación de la resistencia a la compresión

Se deben preparar muestras de prueba utilizando un molde cúbico y una placa base que cumplan con los requisitos del método de prueba C109 / C109M, descrito anteriormente, y una placa de cubierta de metal que se ajuste en principio al diseño que se muestra en la Figura 19. Se llevan las diversas partes del equipo a una temperatura de 20° a 30° C [68° a 86° F], y se cubre ligeramente las superficies que estarán en contacto con el mortero de azufre con aceite mineral y ensambla cerca del crisol. Se debe graduar la temperatura del mortero de azufre fundido en la olla dentro de un rango de 130° a 145° C [265° a 290° F], agitar bien y se comienza a fundir los cubos. Con un cucharón u otro dispositivo de vertido adecuado, se llenan rápidamente cada uno de los tres compartimentos hasta que el material fundido llegue a la parte superior del molde de llenado. Se debe dejar suficiente tiempo para que se contraiga el máximo, debido al enfriamiento y se dé la solidificación (aproximadamente 15 minutos), se rellena cada orificio con material de fundición. Este segundo relleno ayuda a prevenir la formación de grandes vacíos o ductos de contracción en el cuerpo de los cubos. Sin embargo, tales defectos pueden darse

---

<sup>152</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 3.

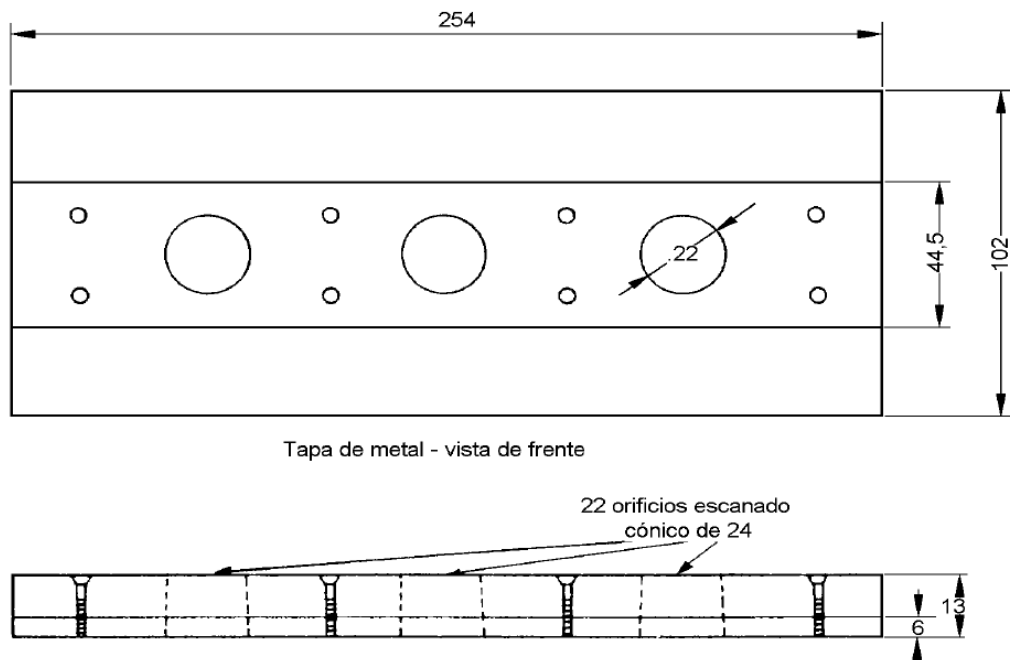
<sup>153</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 3.

<sup>154</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 3.

sin importar cuánto cuidado se tenga en la elaboración, y, por lo tanto, es recomendable inspeccionar el interior de los cubos de mortero de azufre ensayados para determinar la homogeneidad cuando los valores de resistencia obtenidos sean significativamente más bajos que lo esperado.<sup>155</sup>

Una vez completada la solidificación, retire los cubos del molde sin romper la perilla formada por el orificio de llenado en la placa de la cubierta. Se retira el aceite, los bordes afilados y las aletas de los cubos y se verifica la planitud de las superficies de los cojinetes de la manera descrita anteriormente en el método de prueba de la NTC 220. Después se almacenan a temperatura ambiente hasta la edad deseada, pero no menos de 2 h<sup>156</sup>. Se ensayan los cubos a compresión siguiendo el procedimiento descrito anteriormente en el método de prueba de la NTC 220, y se calcula su resistencia.

Figura 19 Esquema de la tapa de metal para molde cúbico de 50 mm [2 pulg.].



Fuente: ASTM C617 Standard practice for capping cylindrical concrete specimens.

<sup>155</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 3.

<sup>156</sup> American Society for Testing and Materials, "C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", p. 4.

#### 8.1.7.17 Procedimientos de refrentado

- Cilindros moldeados frescos

Según la NTC 504, Se debe usar únicamente pasta de cemento Pórtland puro para refrentar los cilindros moldeados frescos. Se hacen las capas tan delgadas como sea posible. No se debe aplicar la pasta mencionada hasta que el concreto suspenda el asentamiento en el molde, generalmente de 2 h a 4 h después de moldeado. Durante el moldeo del cilindro, se engrasa la parte superior a nivel o ligeramente debajo del plano del borde. Se debe mezclar la pasta pura de 2 h a 4 h antes de usarla para obtener una consistencia rígida antes de ser usada, con el propósito de permitir que la pasta termine su período inicial de contracción.

- Especímenes de concreto endurecido

Las capas deben ser de aproximadamente 3 mm [1/8 pulg.] y en ningún caso superior a 8 mm [5/16 pulg.]. Si uno o varios especímenes contienen recubrimiento o depósito de materiales aceitoso o de cera, que pueden disminuir la adherencia de la capa se debe remover y si es necesario la base del espécimen se debe hacer ligeramente rugosa mediante un cepillo de alambre o una lima de acero. Si se desea, las placas para refrentado se pueden untar con una capa delgada de aceite mineral o grasa para evitar que el material refrentado se adhiera a la superficie de las placas.<sup>157</sup>

- Refrentado con yeso de alta resistencia

Como lo menciona la NTC 504, se debe mezclar el yeso de alta resistencia para el refrentado teniendo en cuenta que el porcentaje de agua en peso del yeso de alta resistencia debe estar entre el 26% y 30%. Cuanto menor sea el porcentaje de agua empleada y más fuerte sea la mezcla se logran resistencias aceptables a la edad de 1 h a 2 h. El uso de porcentajes mínimos de agua de mezcla, sumado a un mezclado riguroso, en general permite el desarrollo de resistencias notables a la edad de 1 ó 2 h.

- Refrentado con mortero de azufre

Como lo establece la NTC 504, el azufre se debe calentar hasta una temperatura alrededor de los 130° C [266° F], y controlarse periódicamente con un termómetro metálico insertado cerca al centro de la masa. Se debe vaciar y se carga nuevamente el recipiente con material fresco a intervalos tan frecuentes como para garantizar que el material no se haya usado más de cinco veces. (Se recomienda antes de efectuar el refrentado secar con un compresor de aire o algo similar la

---

<sup>157</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto", p. 8.



superficie de los extremos del espécimen. Se debe limpiar la superficie de cada espécimen de concreto, se remueve el aceite completamente, humedad o residuos, y si es necesario se cepillan los extremos del espécimen para mejorar la adherencia).

El mortero fresco de azufre debe estar seco en el momento en que se coloca en el recipiente, ya que la humedad puede provocar espuma. Por esta razón se debe evitar que el mortero de azufre derretido entre en contacto con el agua. La placa para refrentado se debe calentar ligeramente antes de su uso para impedir un enfriamiento brusco con el objeto de permitir la producción de capas de refrentado delgadas. Antes de hacer el primer refrentado se aplica una capa delgada de aceite al plato de refrentado e inmediatamente se vierte el mortero de azufre teniendo la precaución de agitarla antes de proceder al vaciado.<sup>158</sup>

Los especímenes curados en húmedo deben estar lo suficientemente secos para evitar la formación de bolsas o espumas de vapor o de cavidades ubicadas por debajo o en el refrentado que tengan un diámetro superior a 6 mm para garantizar que el refrentado se una a la superficie del espécimen; el extremo de este no debe ser aceptado antes de la aplicación de la capa.<sup>159</sup>

Con una brocha se debe recubrir con aceite mineral o grasa el plato, se adiciona azufre derretido en el plato caliente e inmediatamente se alinea el cilindro, con el extremo limpio hacia abajo, sobre el plato utilizando las guías de refrentado. Esta operación debe hacerse rápidamente para garantizar buena adherencia entre el refrentado y el cilindro. Se retira el cilindro del plato de refrentado y se limpia el otro extremo del espécimen, nuevamente se limpia con aceite el plato de refrentado. Se refrenta el otro extremo teniendo precaución que los cilindros queden bien alineados.<sup>160</sup>

**Nota:** Se debe restringir el doble uso del material con el propósito de minimizar la pérdida de resistencia y porosidad ocasionada por la contaminación del mortero con aceite e impurezas y la pérdida del azufre en la volatilización. Así mismo, se debe limpiar periódicamente el recipiente para retirar el material adherido a las paredes.<sup>161</sup>

---

<sup>158</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto” , p. 9.

<sup>159</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto” , p. 8.

<sup>160</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto” , p. 9.

<sup>161</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto” , p. 9.

**Advertencia:** Se puede producir gas de sulfuro de hidrógeno durante el refrentado cuando el mortero de azufre se contamina con materiales orgánicos, parafina o aceite. El gas expela un olor a huevo podrido. Sin embargo, el olor no se debe considerar como una señal de prevención.<sup>162</sup>

#### 8.1.7.18 Revisión diaria

Durante cada día de operación de refrentado, la planitud del refrentado de al menos tres especímenes representativos del comienzo, la mitad y el final debe ser revisada por medio de una regla y una lámina calibradora, haciendo un mínimo de tres medidas en diámetros diferentes para asegurar que las superficies están dentro del límite de planitud de 0,05 mm [0.002 pulg.].<sup>163</sup>

#### 8.1.7.19 Protección de los especímenes después del refrentado

La NTC 504 aclara que los especímenes curados se deben mantener en condición húmeda después del refrentado y hasta el momento del ensayo llevándolos a una cámara húmeda o cubriéndolos con una capa doble de lona húmeda. Los especímenes con superficies refrentadas de yeso de estucar no se deben sumergir en agua ni se deben almacenar en un cuarto húmedo por más de 4 h. Si se almacenan en un ambiente húmedo, las superficies refrentadas del yeso se deben proteger contra el goteo sobre sus superficies.

#### 8.1.7.20 Mediciones

Si el núcleo se probará con tapas unidas, determine la longitud promedio antes y después del refrentado, y use esta última longitud para calcular la relación longitud-diámetro (L / D). Si el núcleo se probará con tapas no unidas, se debe determinar la longitud promedio del núcleo antes de la prueba con aproximación a 1 mm [0.05 pulg.] utilizando el calibrador pie de rey. El diámetro medio se determina promediando 2 mediciones tomadas en ángulos rectos una a la otra, cerca de la altura media del espécimen. Se deben registrar el diámetro promedio del núcleo aproximado a 0.2 mm [0.01 pulg.] si la diferencia en los diámetros del núcleo no excede el 2% de su promedio, de lo contrario, reporte con aproximación a 1 mm [0.05 pulg.]. No se debe ensayar un núcleo si la diferencia entre el diámetro más grande y el más pequeño excede el 5% de su promedio.<sup>164 165</sup>

---

<sup>162</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, p. 9.

<sup>163</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, p. 9.

<sup>164</sup> American Society for Testing and Materials, “C42-Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”, p. 3.

<sup>165</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 8.

#### 8.1.7.21 Ensayo

El ensayo de los especímenes se debe realizar de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM C39. El método de prueba desarrollado en esta norma cubre la determinación de la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos perforados o extraídos. Se limita al concreto que tiene una densidad superior a  $800 \text{ kg / m}^3$  [ $50 \text{ lb/ft}^3$ ]. Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los núcleos de concreto a una velocidad dentro de un rango prescrito hasta que se produce la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante la prueba por el área de la sección transversal de la muestra.

#### 8.1.7.22 Máquina de ensayo

Según la norma NTC 673 (ASTM C39), la máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad y ser capaz de proveer las siguientes velocidades de carga: La carga debe ser aplicada a una velocidad, medida desde la platina a la cruceta, correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de  $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,05 \text{ MPa/s}$  [ $35 \text{ psi/s} \pm 7 \text{ psi/s}$ ]. La velocidad designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga anticipada. Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga anticipada, debe ser permitida una velocidad de carga mayor. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

Se debe verificar la calibración de la máquina de ensayo antes de usarse, esta debe haberse realizado como mínimo dentro de los últimos 13 meses o antes si la máquina fue trasladada. <sup>166</sup>

La norma NTC 673 (ASTM C39) contempla que la máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de apoyo de acero con caras endurecidas (deben tener una dureza Rockwell no menor a 55 HRC), uno de los cuales es un bloque de asiento esférico que se apoyará sobre la superficie superior del espécimen y el otro un bloque sólido sobre el cual se debe apoyar el espécimen. Las dimensiones mínimas de las caras de apoyo de los bloques deben tener como mínimo más del 3 % del valor del diámetro del espécimen que será ensayado, excepto por los círculos concéntricos descritos abajo, las caras de soporte no se deben desviar de cada plano más  $0,02 \text{ mm}$  [ $0,001 \text{ pulg.}$ ] en cualquier parte de los  $150 \text{ mm}$  [ $6 \text{ pulg.}$ ] de bloques de  $150 \text{ mm}$  [ $6 \text{ pulg.}$ ] de diámetro o mayores, o en más de  $0,02 \text{ mm}$  [ $0,001 \text{ pulg.}$ ] en el diámetro de cualquier bloque más pequeño. Los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara de apoyo del bloque de asiento esférico excede el diámetro del espécimen por más de

---

<sup>166</sup> American Society for Testing and Materials, "C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", *American Society for Testing and Materials*, 2018, p. 3.

13 mm [0,5 pulg.], los círculos concéntricos de no más de 0,8 mm [0,03 pulg.] de profundidad y no más de 1 mm [0,04 pulg.] de ancho deben estar inscritos para facilitar un centrado adecuado. <sup>167</sup>

El bloque de apoyo inferior está diseñado con el objetivo de proveer una superficie que se abra fácilmente para realizar los debidos mantenimientos. Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas. Sí la máquina de ensayo está diseñada para que la platina por sí sola sea fácilmente mantenida en la condición de la superficie especificada, no se requiere un bloque inferior. Su dimensión horizontal mínima debe ser 3 % mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. El bloque de apoyo inferior debe ser de al menos de 25 mm [1 pulgada] de espesor cuando es nuevo y al menos de 22,5 mm [0,9 pulgadas] de espesor después de cualquier operación de realizado. <sup>168</sup>

El diámetro máximo de la cara de apoyo del bloque de asiento esférico suspendido no debe exceder los valores dados en la Tabla 13:

**Tabla 13 Diámetro máximo de la cara de apoyo.**

Nominal Diameter of Specimen, mm [in.]	Maximum Diameter of Round Bearing Face, mm [in.]	Maximum Dimensions of Square Bearing Face, mm [in.]
50 [2]	105 [4]	105 by 105 [4 by 4]
75 [3]	130 [5]	130 by 130 [5 by 5]
100 [4]	165 [6.5]	165 by 165 [6.5 by 6.5]
150 [6]	255 [10]	255 by 255 [10 by 10]
200 [8]	280 [11]	280 by 280 [11 by 11]

**Fuente: ASTM C39 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens**

Más especificaciones de la máquina para ensayo se pueden encontrar en la norma NTC 673 (ASTM C39).

#### 8.1.7.23 Especímenes

Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2 %. <sup>169</sup>

---

<sup>167</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “673-Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, *Norma técnica colombiana NTC 673* (Bogotá D. C., 2010) , p. 4.

<sup>168</sup> American Society for Testing and Materials, “C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” , p. 4.

<sup>169</sup> American Society for Testing and Materials, “C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” , p. 4.

#### 8.1.7.24 Procedimiento

Acorde a la norma ASTM C39, los ensayos de compresión de especímenes curados en aire húmedo deben ser hechos tan pronto como sea posible después de sacarlos de la cámara húmeda.

Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en la condición húmeda.

Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas en la Tabla 14.

Se debe ubicar el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque de apoyo de asiento esférico (superior). Se deben limpiar las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Se deben alinear cuidadosamente los ejes del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico.<sup>170</sup>

**Tabla 14 Edad de ensayo de los especímenes.**

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	± 0,5 h o 2,1 %
3 d	2 h o 2,8 %
7 d	6 h o 3,6 %
28 d	20 h o 3,0 %
90 d	2 d o 2,2 %

**Fuente: ASTM C39 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens**

Previo al ensayo del espécimen, se debe verificar que el indicador de carga esté en cero. En los casos en los que el indicador no está adecuadamente puesto en cero, se debe ajustar. Como el bloque de asiento esférico es llevado a apoyar sobre el espécimen, gire manualmente y suavemente su parte móvil de modo tal de obtener un asentamiento uniforme.<sup>171</sup> La velocidad de aplicación de carga se mencionó anteriormente en “Máquina de Ensayo”.

---

<sup>170</sup> American Society for Testing and Materials, “C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, p. 5.

<sup>171</sup> American Society for Testing and Materials, “C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, p. 5.

Se debe aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (en la NTC 673 (ASTM C39/39M) se encuentran esquemas de los patrones de fractura definidos).

Una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se debe apagar automáticamente hasta que la carga registre un valor menor que el 95% de la carga pico. Se debe continuar comprimiendo el espécimen hasta que el usuario esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Se debe registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y anotar el tipo de fractura de acuerdo a la norma ASTM C39/39M, si el tipo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados allí, bosqueje y describa brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia medida es menor de lo esperado, se debe examinar el concreto fracturado y registrar la presencia de vacíos de aire grandes, evidencia de segregación, si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso y se verifica si los procedimientos se llevaron de acuerdo con la normatividad de referencia.<sup>172</sup>

#### 8.1.7.25 Cálculos

Las normas NTC 3658 y ASTM C39 establecen que se debe calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen usando el área de la sección transversal con base en el diámetro medio del espécimen. Como se mencionó anteriormente, si la relación longitud/diámetro del espécimen excede 2,10, se debe reducir la altura del espécimen para que esté dentro de los valores límites de la relación (1,94 a 2,10). Los especímenes con estas relaciones L/D no requieren de corrección.

Si la relación entre la longitud y el diámetro del espécimen es menor o igual a 1,75, se aplican los factores de corrección mostrados en la Tabla 15, al resultado obtenido en la parte de cálculos.

**Tabla 15 Factores de corrección para especímenes de concreto basado en la relación longitud/diámetro.**

Relación longitud-diámetro (L/D)	Factor de corrección de la resistencia
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Fuente: NTC 3658 Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos

<sup>172</sup> American Society for Testing and Materials, "C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens" , p. 5.

Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos, de pesos específicos entre 1600 kg/m<sup>3</sup> y 1920 kg/m<sup>3</sup> y para el concreto de peso específico normal, siendo aplicables tanto al concreto seco como al húmedo al momento de la carga. Los valores que no se han tabulado, pueden calcularse por interpolación.<sup>173</sup>

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto entre 14 MPa y 42 MPa (2000 psi a 6000 psi)<sup>174</sup> y dependen de varias condiciones, como la resistencia y el módulo de elasticidad del concreto.

#### 8.1.7.26 Interpretación

Los resultados de los ensayos de falla de núcleos dan una idea de la resistencia del concreto de los elementos de una edificación objeto de estudio. Estos concretos se pueden clasificar por su resistencia para facilitar el manejo, proceso e interpretación de datos.

Los resultados de la falla de los núcleos se pueden afectar por varios factores que deben tenerse en cuenta para su interpretación, ya que se ha comprobado gran incidencia de ellos en su resistencia. Algunos factores que influyen en la reducción de la resistencia de los núcleos son: aumento de la relación de aspecto, la reducción del diámetro del núcleo, la presencia de acero de refuerzo, la incorporación de grava en el hormigón, el aumento del contenido de humedad del núcleo y la perforación perpendicular a la dirección de fundición<sup>175</sup>.

Algunos efectos de las variables anteriormente mencionadas en la resistencia de los núcleos se mencionan a continuación:

- Efecto de la Relación Longitud/Diámetro (L/D)

La relación entre la longitud y el diámetro ( $l/d$ ) de los núcleos ha sido reconocida como un factor primordial que influye en la carga de falla. Este efecto depende de varias condiciones, como la resistencia del hormigón, el módulo de elasticidad y, ciertamente, la relación ( $l/d$ ). Los factores de corrección de la resistencia para la relación ( $l/d$ ) se determinan mediante la conversión de la resistencia de un núcleo con una ( $l/d$ ) entre 1 y 2 a la resistencia de un núcleo estándar equivalente con ( $l/d$ ) igual a 2 y se encuentran en la Tabla 15. El cilindro estándar que tiene una relación longitud/diámetro de 2.0 es considerado aquí como una relación de referencia.<sup>176</sup>

---

<sup>173</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “673-Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, p. 10.

<sup>174</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 10.

<sup>175</sup> American Concrete Institute, “214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results” (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003), p. 7.

<sup>176</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 173.

A medida que aumenta la relación, la resistencia medida disminuye debido a la forma en que la muestra distribuye la tensión.

Se ha comprobado que el factor de corrección para la relación ( $l/d$ ) depende del nivel de resistencia, el diámetro de la muestra y la humedad.<sup>177</sup>

En general, se acepta que los núcleos para las pruebas de compresión deben tener una relación longitud/diámetro de entre 1.0 y 2.0, pero las opiniones varían con respecto al valor óptimo. BS EN 12504-1 recomienda una relación de 2.0 si los resultados deben estar relacionados con las resistencias del cilindro o 1.0 para las resistencias del cubo.<sup>178</sup>

- Efecto del Diámetro del Núcleo (D)

Cuando se utiliza el núcleo para las pruebas de compresión, los estándares británicos y estadounidenses requieren que el diámetro sea al menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado. En muchos países, incluido el Reino Unido, se utiliza un diámetro mínimo de 100 mm, prefiriéndose 150 mm, aunque en Australia se considera aceptable 75 mm.

En general, la precisión disminuye a medida que aumenta la relación entre el tamaño del agregado y el diámetro del núcleo y no se deben usar núcleos de 100 mm de diámetro si el tamaño máximo del agregado supera los 25 mm, y este debería ser preferiblemente inferior a 20 mm para los núcleos de 75 mm. En algunas circunstancias, se utilizan diámetros más pequeños, especialmente en miembros de pequeñas dimensiones donde los orificios grandes serían inaceptables.<sup>179</sup> La elección del diámetro del núcleo también se verá influida por la longitud del espécimen.

Según el artículo "*Reliability of core test*" de la universidad de Alejandría, el diámetro del núcleo juega un papel importante en la resistencia del núcleo. A medida que el diámetro disminuye, la relación entre el área de la superficie de corte y el volumen aumenta, y, por lo tanto, la posibilidad de reducción de la resistencia debido al daño por corte aumenta. Para diámetros de núcleo superiores a 100 mm, este efecto no es significativo, pero tampoco se puede descuidar. Los núcleos más pequeños, extraídos del mismo lugar que sus pares de mayor diámetro, tienen resistencias menores.

Existen pruebas experimentales contradictorias sobre la resistencia de los núcleos con diferentes diámetros, aunque hay un consenso de que las diferencias entre las

---

<sup>177</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 174.

<sup>178</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 129.

<sup>179</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 129.



muestras de 4 y 6 pulgadas (100 y 150 mm) de diámetro son insignificantes, hay menor concordancia con las muestras de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro.<sup>180</sup>

En un estudio que involucró núcleos de 12 mezclas de concreto diferentes, la relación entre la resistencia promedio de cinco núcleos de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro y la resistencia promedio de tres núcleos de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro varió de 0.63 a 1.53.<sup>181 182</sup>

El análisis de los datos de resistencia de 1080 núcleos probados por varios investigadores indicó que la resistencia de un núcleo de 2 pulg. (50 mm) de diámetro, en promedio, tiene un 6% menos que la resistencia de un núcleo de 4 pulg. (100 mm) de diámetro<sup>183</sup>.

La dispersión en las resistencias de los núcleos de 2 pulg. (50 mm) a menudo excede la observada para los núcleos de 4 o 6 pulg. (100 o 150 mm) de diámetro. La variabilidad de la resistencia en el lugar dentro del elemento que se está ensayando influye en la variabilidad de la resistencia de las muestras de pequeño volumen. Los núcleos perforados verticalmente a través del espesor de una losa pueden ser particularmente susceptibles a este efecto<sup>184</sup>. A menudo es difícil obtener una muestra de 2 pulg. (50 mm) de diámetro que no se vea afectada por el proceso de perforación o que no contenga un pequeño defecto que influya en su resultado.

*The Concrete Society* sugiere que los núcleos se mantengan lo más cortos posible ( $L/D = 1,0 \rightarrow 1,2$ ) por razones de costos de perforación, daños, variabilidad a lo largo de la longitud e influencias geométricas en las pruebas.

Si se requieren factores de corrección para convertir la resistencia de los núcleos de 2 pulg. (50 mm) a la resistencia de los núcleos de diámetro equivalente de 4 o 6 pulg. (100 o 150 mm), el investigador debe derivarlos directamente utilizando los núcleos de cada diámetro obtenidos de la estructura en cuestión.<sup>185</sup>

---

<sup>180</sup> Concrete Society, 'Concrete Core Testing for Strength' (Londres, Reino Unido: Technical Report No. 11, 1987), p. 44.

<sup>181</sup> W. K. Yip and C. T. Tam, 'Concrete Strength Evaluation through the Use of Small Diameter Cores' (Magazine of Concrete Research, V. 40, No. 143, 1988), pp. 99–105.

<sup>182</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 7.

<sup>183</sup> J. G. Bartlett, F. M. and MacGregor, 'Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths' (ACI Materials Journal, V. 91, No. 5, 1994), pp. 460–70.

<sup>184</sup> R. K. Lewis, 'Effect of Core Diameter on the Observed Strength of Concrete Cores' (Melbourne: CSIRO Division of Building Research, 1976), p. 13.

<sup>185</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 8.

- Condición de Humedad

Según la norma ACI 214.4R, los diferentes tratamientos de acondicionamiento de la humedad tienen un efecto considerable en las resistencias medidas. Los núcleos secados al aire son, en promedio, 10% a 14% más fuertes que los núcleos empapados <sup>186</sup>, aunque la proporción real para núcleos de un concreto específico puede diferir considerablemente de estos valores. El remojo hace que el concreto en la superficie de la muestra se hinche, y la contención de esta hinchazón por la región interior causa tensiones auto equilibradas que reducen la resistencia a la compresión medida <sup>187</sup>. A la inversa, el secado de la superficie provoca una contracción que, cuando se restringe, crea una distribución de tensión residual favorable que aumenta las fuerzas medidas. En ambos casos, los cambios en la condición de humedad son inicialmente muy rápidos, según los datos reportados por Bloem <sup>188</sup>. Si los núcleos no reciben un acondicionamiento de humedad estandarizado antes de la prueba, o si el período entre el final del tratamiento de humedad y la prueba varía significativamente, entonces se puede introducir una variabilidad adicional de las resistencias medidas.

El porcentaje de pérdida de resistencia causada por remojar el núcleo depende de varios factores. El concreto menos permeable exhibe una menor pérdida de resistencia. Existe una pérdida de resistencia más severa en los núcleos de 2 pulg. (50 mm) en comparación con los núcleos de 4 pulg. (100 mm) de diámetro del mismo elemento <sup>189</sup>. Extender el período de remojo más allá de las 40 horas puede causar una mayor reducción de la resistencia del núcleo. La diferencia entre las resistencias de los núcleos remojados y secados al aire puede ser menor para el concreto estructural de agregados livianos <sup>190</sup>.

- Presencia de Barras de Refuerzo u Otras Inclusiones

Según la norma ACI 214.4R el investigador debe evitar las muestras que contengan refuerzo incrustado porque puede influir en la medida de la resistencia a la compresión. Las ediciones anteriores de ASTM C42 / C42M han recomendado recortar el núcleo para eliminar el refuerzo, siempre que se pueda mantener una l/d de al menos 1.0.

---

<sup>186</sup> A. M. Neville, 'Properties of Concrete, Third Edition' (Londres, Reino Unido: Pitman Publishing Ltd., 1981), p. 779.

<sup>187</sup> S. Popovics, 'Effect of Curing Method and Final Moisture Condition on Compressive Strength of Concrete' (ACI JOURNAL, Proceedings V. 83, No. 4, 1986), pp. 650–57.

<sup>188</sup> D. L. Bloem, 'Concrete Strength Measurements— Cores versus Cylinders' (Proceedings, V. 65, ASTM International, 1965), pp. 668–96.

<sup>189</sup> J. G. Bartlett, F. M. and MacGregor, 'In-Place Strength of High-Performance Concretes' (High Strength Concrete: An International Perspective, 1996), pp. 211–28.

<sup>190</sup> Bloem.

Aunque existen datos insuficientes para obtener factores de corrección confiables que se puedan aplicar a la resistencia medida para tener en cuenta el refuerzo incrustado perpendicular al eje del núcleo, estos pueden ser tenidos en cuenta según el juicio del profesional encargado del estudio. No se deben permitir que se determine la resistencia de un núcleo si una barra de refuerzo u otro objeto incrustado metálico alargado está orientado casi en paralelo al eje del núcleo.<sup>191</sup>

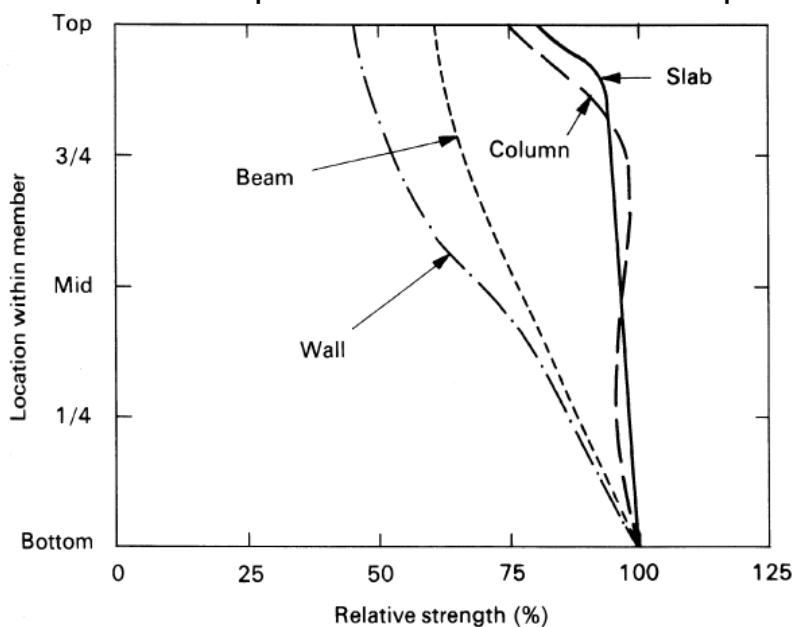
Investigaciones de algunos autores brindan factores de corrección para la resistencia de los núcleos con el refuerzo perpendicular al eje del núcleo.

- Ubicación del Núcleo:

La distribución de resistencia del concreto varia dentro de un mismo elemento. Datos típicos de variación de resistencia para concretos normales de acuerdo al tipo de elemento estructural se muestran en la Figura 20. Estos resultados son producto de numerosos reportes de ensayos no destructivos<sup>192</sup>

Se ha encontrado que el concreto de los muros y losas tienden a perder resistencia con la altura. Aunque hay pocos datos disponibles para los cambios en losas, algunos autores han encontrado una tendencia de reducción de resistencia en las esquinas.<sup>193</sup>

Figura 20 Variaciones en la resistencia para concretos normales de acuerdo al tipo de elemento.



Fuente: Testing of Concrete in Structures. 4ª edición

<sup>191</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

<sup>192</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 18.

<sup>193</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 19.

La NTC 3658 ha recomendado realizar la extracción del núcleo en un punto cercano al punto medio de la porción vaciada de concreto.

- Dirección de Perforación

Según las normas NTC 3658 y ASTM C42/C42M, *“cuando se va a ensayar un núcleo para medir la resistencia del concreto, se debe extraer de forma perpendicular a la superficie”*.

Se debe registrar el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo extraído y el plano horizontal del concreto en el sentido de vaciado. Siempre que sea posible, se debe extraer el espécimen perpendicular a la superficie (vertical o inclinada), y cercano al punto medio de la porción vaciada.<sup>194</sup> La NTC 3658 menciona que la resistencia del núcleo se ve afectada por la orientación del mismo en relación con el plano horizontal del concreto como se fundió: tiende a disminuirse cuando se mide de forma paralela al plano horizontal. Se deben tener en cuenta estos factores en la planificación de las ubicaciones para la extracción de las muestras de concreto y en el análisis de los resultados de ensayos de resistencia.<sup>195</sup>

De acuerdo con ACI 214.4R, La diferencia en la resistencia del núcleo debida a la dirección de perforación se atribuye generalmente a la exudación del concreto fresco, que crea unas bolsas de pasta débiles debajo de las partículas de agregados gruesos y que dan como resultado un enlace de pega débil. Los resultados indican que la relación media entre la resistencia del núcleo perforado verticalmente y la del núcleo perforado horizontalmente varía entre 1.075 y 1.08, como se muestra en la Figura 21. Se observa que el efecto de la dirección de la extracción del núcleo no depende de la relación de aspecto o del nivel de resistencia del concreto.<sup>196</sup>

Tomando como referencia el argumento mencionado anteriormente, puede ser razonable suponer que el factor de corrección que influye la dirección de la extracción de muestras es constante y se puede considerar igual a 1.0 y 1.075 para la extracción de muestras horizontal y vertical, respectivamente.<sup>197</sup>

La norma ACI 214.4R<sup>198</sup> menciona que para determinar si la resistencia en el lugar se ve afectada por la dirección de la perforación, el investigador debe evaluar esto directamente utilizando muestras perforadas en diferentes direcciones de la

---

<sup>194</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

<sup>195</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 4.

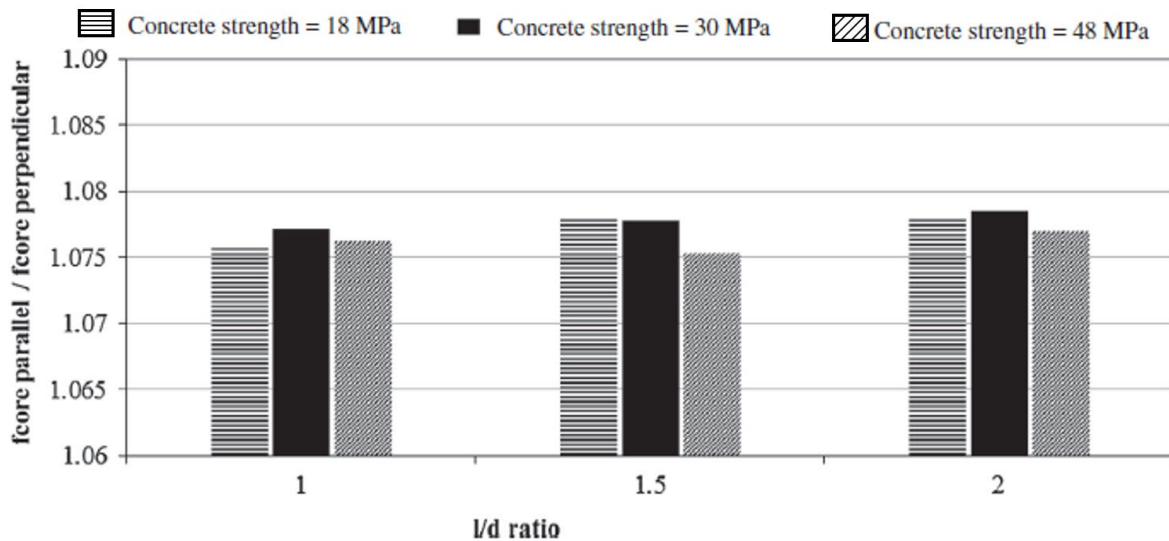
<sup>196</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 179.

<sup>197</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 179.

<sup>198</sup> American Concrete Institute, “214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results”, p. 8.

estructura en cuestión. Por otro lado, las normas BS EN 13791: 2007 y BS EN 12504-1 recomiendan que la resistencia a la compresión de los núcleos no se modifique por la dirección de perforación, mientras que la normatividad colombiana no especifica nada al respecto.

**Figura 21 Efecto de la dirección de extracción en la resistencia de núcleos para distintas relaciones de (l/d).**



Fuente: Reliability of core test- Critical assessment and proposed new approach

#### 8.1.7.27 Informe

Según las normas ASTM C42, ACI 214.4R y NTC 673, se deben Informar los resultados incluyendo la siguiente información:

- Longitud del núcleo una vez extraído con aproximación a 5 mm (1/4 de pulgada).
- Si el diámetro del núcleo es inferior a 94 mm (3,70 pulgadas), exponga la razón para emplear el diámetro inferior.
- Longitud del espécimen de ensayo antes y después del refrentado o preparación final, con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas) y diámetro promedio de núcleo con aproximación a 0,2 mm (0,01 pulgadas) o 1 mm (0,05 pulgadas).
- Resistencia a la compresión con aproximación a 0, 1 MPa (10 psi) cuando se mida el diámetro con aproximación a 0,2 mm (0,01 pulgadas): y con aproximación a 0,5 MPa (50 psi) cuando el diámetro se mida con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas), después de la corrección para la relación longitud-diámetro, cuando se requiera.
- Dirección de la aplicación de la carga en el espécimen con respecto al plano horizontal en el cual se ha colocado el concreto.

- El historial de acondicionamiento de humedad:
  - Fecha y hora en que se obtuvo el núcleo, se colocó por primera vez en bolsa sellada o contenedor no absorbente.
  - Si se empleó agua durante la preparación final, fecha y hora en que se completó la preparación final y se colocó el núcleo en bolsa sellada o contenedor no absorbente.
- Fecha en que se colocó el concreto, si se conoce.
- La fecha y hora en que se ensaya.
- Tamaño máximo nominal del agregado de concreto.
- Densidad calculada con aproximación a  $20 \text{ kg/m}^3$  (1 libra/pie<sup>3</sup>).
- Ubicación, forma y tamaño del metal incrustado, si la persona que especifica los ensayos permite el ensayo de núcleos con metal incrustado.
- Si es del caso, descripción de defectos en los núcleos que no se pudieron ensayar.
- Si se requirió cualquier desviación de este método de ensayo, se describe la desviación y se explica por qué fue necesaria.

#### 8.1.7.28 Precisión

Según la NTC 3658, El coeficiente de variación en núcleos, para el caso de un único operario se ha estimado en 3,2% para un rango de resistencias a compresión entre 32 MPa y 48,3 MPa [4500 psi y 7000 psi]. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos llevados a cabo apropiadamente, sobre núcleos obtenidos de una misma muestra, por un mismo operario, no deben diferir en sus valores medios por más del 9%.

El coeficiente de variación en los resultados sobre núcleos, para el caso de diferentes laboratorios, se ha encontrado que es igual al 4,7 % para un rango de resistencias a compresión entre 32,0 MPa y 48,3 MPa [4500 psi y 7000 psi]. Por tanto, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente, sobre núcleos obtenidos del mismo concreto endurecido (donde se define un ensayo simple como el promedio de dos observaciones (núcleos) cada una hecha en perforaciones adyacentes de 100 mm de diámetro), y ensayado por dos laboratorios diferentes, no deben diferir el uno del otro en más de un 13 % en relación con sus valores medios.

#### 8.1.8 Medición de la geometría de los elementos

De acuerdo a los diseños estructurales y normatividad vigente (al momento de diseñarlos), los elementos estructurales de las edificaciones deben tener unas dimensiones determinadas (largo, ancho y alto). Se deben corroborar dichas medidas con lo que está construido para determinar si existe alguna irregularidad o una alerta ante una posible falla de los elementos que no están acordes a su diseño inicial, y por ende de toda la estructura o edificación.

## 9. INTERPRETACIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS

Después de digitalizar la información, organizarla y tratarla, se procede a procesarla. Cuando se realiza más de una prueba, se debe comparar la variabilidad de los resultados para comprobar la uniformidad en las propiedades de la estructura, y definir áreas con diferente calidad. Se recomienda la aplicación de métodos gráficos para facilitar esta tarea.

Se deben tener claras las diferencias que hay entre las pruebas de laboratorio, para las que normalmente se calibran las curvas de los equipos, y las condiciones reales in-situ. Por lo anterior, es indispensable realizar la calibración de curvas de variación propias de la estructura bajo estudio por medio de la extracción y ensayo de núcleos en los mismos lugares donde se realizaron los ensayos no destructivos.

Según Bungey, Millard y Grantham, *“Las diferencias en las condiciones de madurez y humedad son especialmente relevantes. La calidad del concreto variará entre los miembros y puede no ser necesariamente idéntica en composición o condición a los especímenes de laboratorio, además, las pruebas pueden no ser tan fáciles de realizar o controlar debido a condiciones climáticas adversas, dificultades de acceso o falta de experiencia de los operarios.”*<sup>199</sup>

La interpretación de los resultados de resistencia requiere de uso de procedimientos estadísticos, no es suficiente simplemente promediar los valores de los resultados de las pruebas. El reglamento NSR-10 en su capítulo C.20.2.3, recomienda los métodos descritos en la norma ACI 214.4R para encontrar una resistencia de diseño equivalente para la edificación bajo estudio.

Los ensayos no destructivos reflejan valiosas características del concreto in-situ. Los factores que afectan directamente sus resultados están debidamente explicados en el capítulo referente a ensayos no destructivos. A continuación, se expone lo que representa la información que arroja cada uno de los ensayos.

- Detección de refuerzo

El resultado de este ensayo indica con precisión la ubicación del acero de refuerzo en una estructura y su recubrimiento. Si alguna porción de la edificación demuestra una ubicación contraria a planos, o en el peor de los casos, no tenerlo, el concreto no trabajará de la manera como fue diseñado y el elemento soportará esfuerzos adicionales para los que no estaría diseñado en el momento de llegar una determinada sollicitación.

Por otro lado, si el acero se encuentra, pero no tiene el recubrimiento estipulado por el diseñador, y soportado en el reglamento vigente para construcción, se puede

---

<sup>199</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 26.

interpretar como una disminución de la durabilidad de la estructura además de una pérdida de resistencia de sus elementos al no cumplir los parámetros de diseño.

- Numero de rebote del concreto endurecido

Este método de ensayo da como resultado una evaluación de la uniformidad del concreto in-situ, mediante el cálculo de su coeficiente de variación, y sus cambios a lo largo de la estructura. Los datos arrojados también se pueden utilizar para estimar la resistencia del concreto siempre y cuando se haya desarrollado una correlación para un concreto y equipo dados <sup>200</sup>

- Ensayo de carbonatación

Los valores de la profundidad del frente de carbonatación de una estructura, permiten realizar una aproximación de su vida residual, (tiempo restante para cumplir su vida útil de servicio), a partir de la observación de sus patrones a lo largo de la estructura. En otras palabras, es un índice de durabilidad, ya que muestra el avance del CO<sub>2</sub> en el concreto y si ha logrado alcanzar el acero refuerzo o cuánto tardará en hacerlo.

- Velocidad de pulso ultrasónico

Este ensayo otorga información importante en cuanto a diferentes aspectos del concreto in-situ <sup>201</sup>, los cuales se tratan a continuación.

Determinación de la uniformidad del concreto: Las propiedades del concreto que determinan su resistencia y elasticidad también afectan la velocidad de pulso ultrasónico. Las variaciones en dicha velocidad en un mismo elemento estructural o edificación, reflejan la correspondiente variación en el estado del concreto que las compone.

Es posible expresar la homogeneidad en forma de parámetros estadísticos tales como la desviación estándar o el coeficiente de variación de las velocidades de pulso determinadas sobre una red de puntos.

Detección de defectos: Cuando se presenta en el concreto bajo ensayo una zona mal compactada, hormigueros o material deteriorado, se presenta una correspondiente reducción en la velocidad del pulso calculada y esto permite la determinación aproximada de la extensión, de la imperfección o del daño. Cuando una onda encuentra una interface aire-concreto, se presenta una transmisión de energía nula a través de dicha interface. Por esta razón, cualquier grieta o vacío

---

<sup>200</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 2.

<sup>201</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 5.



lentos con aire, localizados entre dos transductores obstruye la señal ultrasónica directa, si el tamaño del vacío proyectado es mayor que el ancho de la onda sónica usada.

Cambios en las propiedades del concreto a través del tiempo: Según el concreto madure o se deteriore, los cambios que ocurran con el tiempo en su estructura deben ser reflejados por un incremento o una reducción de la velocidad del pulso ultrasónico, respectivamente. Esto permite monitorear los cambios haciendo ensayos a intervalos de tiempo apropiados. Las mediciones de los cambios en la velocidad del pulso ultrasónico usualmente pueden ser tomadas como indicativos de los cambios en la resistencia

Se debe tener cuidado de usar los mismos transductores, los cuales se deben colocar cada vez en la misma posición.

Resistencia del concreto: Con las mediciones de la velocidad del pulso en estructuras se puede estimar la resistencia del concreto que las conforma, realizando una correlación a partir de ensayos de núcleos extraídos de los mismos lugares. Los ensayos de velocidad de pulso pueden emplearse para localizar áreas de diferente calidad y los núcleos extraídos de dichos sitios proporcionan un rango de resistencias.

Módulo de elasticidad y Poisson: Se pueden establecer relaciones empíricas entre la velocidad del pulso y los módulos estático y dinámico de elasticidad, así como entre dicha velocidad y la resistencia del concreto.

- Ensayo de núcleos

Se debe determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto extraídos de los elementos de la edificación y esta será representativa del lugar donde se extrajo. Dicha resistencia puede estar afectada por factores como la relación longitud/diámetro, el diámetro del núcleo, condición de humedad, presencia de acero de refuerzo y la ubicación del núcleo en el elemento de concreto.

Después de calcular la resistencia real del núcleo, afectada por los factores mencionados, se procede a calcular una resistencia de diseño  $f'_c$  equivalente, la cual representa, de forma conservadora la resistencia de la estructura.<sup>202</sup>

## **10. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO EQUIVALENTE**

Se deben utilizar procedimientos estadísticos estándar para interpretar las pruebas in situ. No es suficiente simplemente promediar los valores de los resultados de las pruebas en el lugar y luego calcular la resistencia a la compresión equivalente por

---

<sup>202</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, capítulo C.20.3.2.

medio de la relación de resistencia establecida previamente. Es necesario tener en cuenta las incertidumbres que existen. Si bien aún no se ha acordado ningún procedimiento para determinar la resistencia del percentil décimo en función de los resultados de las pruebas in-situ, los proponentes de las pruebas han desarrollado interpretaciones basadas en estadísticas.<sup>203</sup>

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 menciona que, para evaluar la resistencia de una estructura existente, se pueden usar los resultados de los ensayos de núcleos para calcular un  $f'_c$  equivalente. Para el cálculo de este factor el reglamento recomienda el uso de los métodos descritos en la norma ACI 214.4R, los cuales se basan en técnicas de análisis estadístico.

Los métodos tratados en la normatividad ACI, como lo son el Método del factor tolerancia (Hindo and Bergstrom 1988), Método general de tolerancia (Hindo and Bergstrom 1985), Método danés (Bickley 1982b), suelen ser demasiado conservadores,<sup>204</sup> por lo que se considera que el método más adecuado es el *Enfoque alternativo* (Bartlett and MacGregor (1995), descrito en la ACI 214.4R y que resulta de la constante investigación y mejora de los métodos anteriores.

La resistencia de diseño equivalente para la evaluación estructural, parte de los resultados de núcleos y puede ser reemplazada directamente en ecuaciones de resistencia convencionales que incluyen factores de reducción de resistencia habituales. Esta resistencia de diseño equivalente es el décimo percentil más bajo de la resistencia de una edificación y es consistente con la descripción estadística de la resistencia especificada del concreto.<sup>205</sup>

Los procedimientos descritos en la normatividad ACI solo son apropiados para el caso en el que la determinación de un  $f'_c$  equivalente es necesaria para la evaluación de la resistencia de una estructura existente y no se debe utilizar para investigar los resultados de las pruebas de resistencia del cilindro bajo.<sup>206</sup>

Antes de procesar los resultados de la falla de núcleos para determinar la resistencia de diseño equivalente, se debe transformar cada resistencia individual de los núcleos a resistencia equivalente o representativa del punto de donde fueron extraídos. Esto se logra afectando cada dato de resistencia por los factores de

---

<sup>203</sup> American Concrete Institute, "228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength", p. 30.

<sup>204</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 8.

<sup>205</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 9.

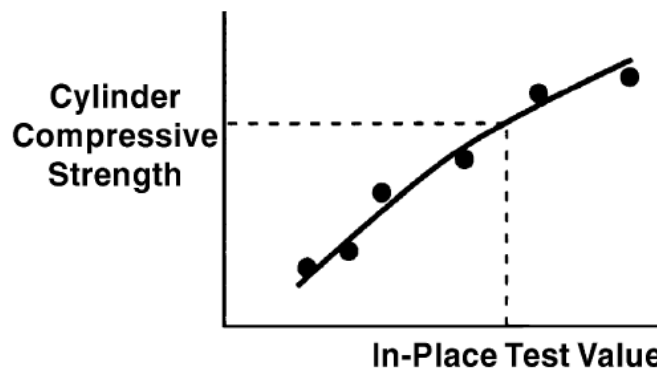
<sup>206</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", 2003, p. 9.

corrección para cada elemento que incide en dicha resistencia (relación l/d, diámetro, humedad, daño por extracción).

## 11. CORRELACIONES CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se requieren estimaciones confiables de la resistencia del concreto de las edificaciones para la caracterización de materiales de las estructuras existentes <sup>207</sup>. Históricamente, esta resistencia se ha estimado mediante la extracción y falla de núcleos. Los ensayos no destructivos pueden complementar la extracción de núcleos y permitir una evaluación de materiales más económica y con menos afectaciones a la estructura. El paso crítico en este proceso es establecer la relación entre los resultados de los END y la resistencia del concreto, el enfoque actual consiste en correlacionar los resultados, obtenidos en ubicaciones seleccionadas, con la resistencia de los núcleos correspondientes. <sup>208</sup>

Figura 22 Relación entre resistencia a la compresión de núcleos y valores de ensayos en campo.



Fuente: ACI 228.1R In-Place Methods to Estimate Concrete Strength

Los END no reemplazan la extracción de muestras (núcleos), pero pueden reducir la cantidad total de núcleos necesaria para evaluar un gran volumen de concreto. Se necesita un plan de muestreo sólido para adquirir los datos de correlación, y se deben utilizar métodos estadísticos apropiados para una interpretación confiable de los resultados obtenidos. <sup>209</sup>

<sup>207</sup> American Concrete Institute, "437-Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings", p. 9.

<sup>208</sup> American Concrete Institute, "228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength", p. 25.

<sup>209</sup> American Concrete Institute, "228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength", p. 25.

## **12. REVISIÓN DE INCONVENIENTES EN ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA EL PROYECTO DE INTERÉS PRIORITARIO *TORRES DEL PARQUE***

### **12.1 Procesamiento de información recolectada en campo**

Al manejar una cantidad considerable de datos, obtenidos de las diferentes etapas desarrolladas en este tipo de proyectos, es muy importante ordenarlos adecuadamente. El registro de la información en campo se hace mediante el diligenciamiento de formatos, usualmente a mano. De aquí surgen principalmente dos inconvenientes, el primero, muy usual, tiene que ver con la “digitalización” de la información recolectada, un proceso que suele requerir un tiempo considerable, y de bastante rigurosidad por parte de la(s) persona(s) que lo realiza(n). En esta etapa pueden cometerse errores de digitación que pueden ocasionar resultados e interpretaciones equivocadas. Por otro lado, la caligrafía de las personas que diligencian los formatos de campo, influye considerablemente en el tiempo que deberá ser empleado en la fase de “digitalización” y en algunas ocasiones deja a juicio de quien hace la transcripción la interpretación de algunos caracteres.

Como solución a este inconveniente, se propone el uso de aplicaciones móviles para la recolección de la información en campo, previa definición de la forma en que esta será recolectada. Los autores proponen un modelo de recolección de información y elaboración de registros de esta fase, el cual se explica y muestra en el anexo 2. Si la implementación de una aplicación móvil no puede ser llevada a cabo, se recomienda que los formatos de recolección de información sean fáciles de diligenciar, generosos con los espacios destinados a la escritura, y que se instruya al personal que realizará este trabajo en la correcta y clara escritura de cualquier información.

### **12.2 Confianza de los residentes**

Cuando se realizan ensayos no destructivos y parcialmente destructivos al concreto de las edificaciones se debe tener contacto directo con este, lo que requiere en ocasiones retirar la pintura u otros acabados de los elementos a ensayar. Estas limpiezas resultan escandalosas para algunos residentes o propietarios de las construcciones.

Con el fin de generar confianza en los ocupantes y permitan la intervención requerida, los autores recomiendan la implementación de un formato donde los responsables de los ensayos obtengan un permiso para la realización de los ensayos en el inmueble y, además de esto, se comprometan a realizar las reparaciones necesarias.

En el anexo 3, se presenta y explica un formato recomendado que se puede implementar en unidades habitacionales como el conjunto de interés prioritario *Torres del Parque*.

### **12.3 Procesamiento de resultados de ensayos de laboratorio**

Para agilizar la obtención de resultados y reportes del ensayo de compresión en núcleos de concreto, se elabora una hoja de cálculo de Microsoft Excel, cuyo código de programación puede ser consultado en el anexo 4, junto con su explicación y el reporte, para procesar la información obtenida del ensayo en la máquina universal SHIMADZU UH-I 500kN, con la que cuenta actualmente el laboratorio de materiales de la UPTC. Si los ensayos son realizados en una máquina diferente la herramienta brindada debe ser revisada, ya que fue programada para trabajar con los archivos de salida proporcionados por esta máquina.

## **13. GUÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN EDIFICACIONES CONSTRUIDAS CON SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO**

### **13.1 Presentación**

Los sistemas de construcción industrializados en Colombia, como en muchos otros países, fueron introducidos con la finalidad disminuir el gran déficit de vivienda digna y segura para la población de menos recursos. Es así, que los sistemas industrializados son considerados una evolución en la construcción de vivienda por su mayor velocidad, exactitud en los tiempos de producción, precisión dimensional y mejores acabados <sup>210</sup>.

La industrialización en la construcción demanda una adecuada planeación y organización de procesos y presupuestos del proyecto, para conseguir un rendimiento superior a un menor costo. Es bien entendido que se trata de un proceso especial, que requiere de mano de obra calificada y un mejor control de calidad. Sin embargo, actualmente existe en nuestro país un gran número de inconvenientes asociados al cumplimiento de estándares, que se ve agravado en los sistemas industrializados donde cualquier falta de control repercute en grandes desperfectos del sistema.

Los sistemas de muros delgados en concreto presentan ventajas estructurales, sin embargo, desde el punto de vista de durabilidad el sistema requiere un control de calidad riguroso dado los bajos niveles de tolerancias que pueden darse, los cuales, son mínimos en razón al limitado espacio en placas y muros para la colocación del refuerzo y otros sistemas como las redes eléctricas e hidráulicas ajenas al sistema pero que usualmente se embeben en los elementos estructurales. De la misma forma, la esbeltez de las placas y muros delgados del sistema, indica un riguroso control dimensional y de calidad de materiales, dado que cualquier pequeña imperfección puede acarrear en la fisuración o problemas de durabilidad

La aparición de patologías en estructuras de concreto suele generar sensación de inseguridad en sus ocupantes. Corroborar que la estructura está en condiciones adecuadas para soportar las sollicitaciones para las que fue diseñada no es tarea fácil, teniendo en cuenta que esta evaluación debe realizarse de manera que no se afecten o pierdan propiedades de los elementos estructurales a ensayar, es aquí donde aparecen los ensayos no destructivos (END) y parcialmente destructivos, como la extracción de núcleos, en los cuales la superficie debe ser reparada después de realizada la prueba.

---

<sup>210</sup> F. Ochoa Rojas F. Mayagoitia, 'Construcción de Vivienda Con Sistemas Industrializados de Muros En Concreto' (Bogotá D. C.: ASOCRETO, 2010), p. 109.

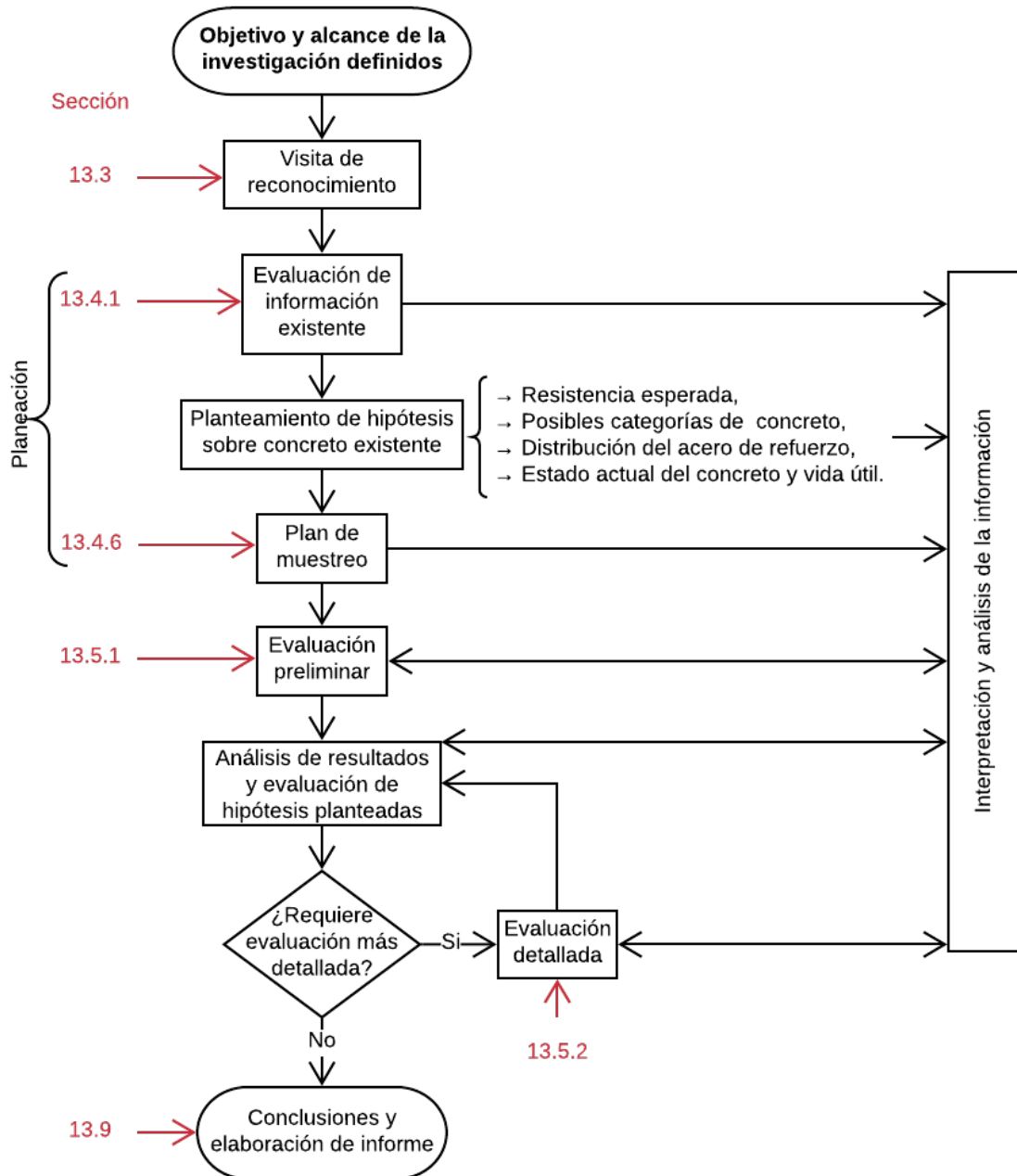
Debido a costos de extracción y prueba, la posible dificultad de acceso, y eventual debilitación de los elementos estructurales, el número de núcleos extraídos en una estructura en estudio puede ser relativamente pequeño, así que, para conocer la resistencia en una gran porción de esta, se deben usar correlaciones a partir de los END. Estos se deben distribuir de tal manera que cubran la totalidad de la edificación para obtener resultados confiables.

La cantidad de propiedades que pueden ser evaluadas mediante ensayos no destructivos y parcialmente destructivos es bastante grande e incluye parámetros como la densidad, el módulo de elasticidad y la resistencia, la dureza de la superficie del concreto, ubicación, recubrimiento y espaciamiento del acero de refuerzo. En algunos casos, también es posible verificar la calidad de la mano de obra y la integridad estructural con la detección vacíos, grietas y delaminación.

La caracterización de materiales no suele ser un proyecto como tal, sino que formará parte de un estudio para el cual sea necesaria la determinación de las propiedades mecánicas o físicas del concreto existente en una estructura, por este motivo los objetivos, alcance y extensión de este tipo de estudios dependerán del proyecto para el cual se requieran, generalmente:

- Determinación de la capacidad de una estructura para desempeñarse satisfactoriamente bajo solicitaciones futuras.
- Identificación de procesos o materiales que ocasionan daños o fallas.
- Establecimiento de métodos para la reparación o reemplazo de elementos estructurales sin peligro de recurrencia del daño.
- Verificación del cumplimiento de requerimientos de la normatividad y/o especificaciones de construcción.
- Establecimiento de responsabilidades financieras y legales para casos que involucran falla o comportamiento estructural inadecuado.
- Evaluación de estructuras antes de la emisión de un certificado de ocupación.

Figura 23 Metodología general.



Elaboración propia.

El objeto del presente documento es constituir una guía metodológica para realizar estudios de caracterización de materiales en edificaciones de concreto, que facilite el trabajo en campo, laboratorio y oficina, conforme a la normatividad vigente. El documento también busca:



- ✓ Brindar formatos de permiso y para el registro de información durante la etapa de ensayos en campo y presentación de resultados de ensayos de laboratorio.
- ✓ Establecer criterios para determinar la cantidad de ensayos a realizar de acuerdo con la categoría de recolección de información requerida.
- ✓ Constituir una guía para caracterizar materiales en construcciones de concreto, como parte de estudios de mayor alcance.
- ✓ Facilitar el trabajo en general del profesional encargado de un estudio de materiales en edificaciones de concreto.
- ✓ Explicar los procedimientos de ensayos recomendados para evaluar materiales en campo.
- ✓ Definir la información mínima que debe llevar un informe final de caracterización de materiales en construcciones de concreto endurecido.

La presente guía brinda una metodología para evaluación de materiales en edificaciones construidas con sistema industrializado de muros de concreto reforzado.

Este documento no pretende señalar los aspectos relacionados con los procesos de seguridad o precauciones que se deben considerar al momento de realizar los ensayos aquí descritos.

## **13.2 Glosario**

### **Categoría de concreto:**

Es un nivel específico de calidad en el concreto que se observa está en un rango definible de condición como resultado de la exposición al servicio o a ensayos, tan distinto del concreto en la misma construcción o en las relacionadas que es, o de diferente calidad especificada, o de la misma calidad especificada, pero en condición diferente en el momento de la inspección. También se usa para referirse al concreto que tiene un cierto atributo o atributos.

### **Concreto:**

Material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava y cemento o cal, y que, al fraguar, adquiere más resistencia y consistencia.

### **Ensayo de ultrasonido:**

Es un método de inspección que pertenece al tipo de ensayos no destructivos. Se basa en el fenómeno que provoca la reflexión de las ondas acústicas en un objeto. Mide las diferentes reflexiones que se producen cuando las ondas acústicas encuentran discontinuidades en su propagación.

### **Ensayos no destructivos (END):**

Es una prueba que no afecta el desempeño previsto del elemento o miembro de concreto bajo investigación.

### **Ensayo de esclerometría:**

Ensayo no destructivo que permite evaluar la calidad del concreto en elementos de hormigón armado. Este ensayo utiliza el Martillo de Schmidt, que mide la dureza superficial del hormigón a partir del rebote de una masa incidente después de impactar contra la superficie de estudio.

### **Martillo de Schmidt:**

Elemento con el que se lleva a cabo el ensayo de esclerometría.

### **Pacómetro:**

Detector de armadura metálica. Sirve para localizar barras de refuerzo y recubrimiento dentro del hormigón. Valioso para estudio de materiales, de estructuras de concreto endurecido a las que se necesita hacer reparaciones.

**Profundidad del frente de carbonatación:**

Profundidad en la que el concreto ha reducido su alcalinidad y en la cual el acero de refuerzo se encuentra desprotegido contra los procesos de corrosión.

**Recubrimiento:**

El espesor de hormigón que queda entre el acero de refuerzo y la superficie del elemento de concreto.

**Resistencia de diseño equivalente:**

Décimo percentil más bajo de la resistencia de una edificación. Resistencia de diseño ( $f'_c$ ) afectada por factores de reducción basados en métodos estadísticos.

**Sistema industrializado de construcción:**

Sistema constructivo basado en el diseño de producción mecanizado de componentes y subsistemas elaborados en serie que, tras una fase de montaje, conforman todo o una parte de un edificio o construcción.

**Vida útil del proyecto:**

Periodo de tiempo o vida de diseño prevista por el diseñador o el especificador, para el cual ni el tipo de agresión, ni la profundidad alcanzada por el agresor, ni la cuantía de ese agresor en el concreto son suficientes para dar inicio al deterioro del concreto reforzado.

**Vida útil de servicio:**

Periodo que inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un nivel evidente de deterioro. La vida útil de servicio coincide con la fase de propagación del daño.

**Vida útil total:**

Periodo de tiempo que va desde la ejecución de la estructura hasta su colapso parcial o total.

### **13.3 Visita de reconocimiento**

Antes de definir cualquier procedimiento o iniciar a planear el proceder de un estudio para la evaluación de materiales de una estructura de concreto, se debe concertar una visita a la estructura que será evaluada, en compañía de los clientes, para definir claramente el alcance del estudio, plazos para su desarrollo, acuerdo económico y resultados esperados, esta información debe quedar registrada por escrito. En esta visita se debe hacer un reconocimiento inicial donde se establecerán aspectos importantes como: acceso al lugar de estudio, si la edificación está ocupada o no, tamaño y tipo de estructura. Se recomienda evaluar si existe un lugar adecuado para almacenar muestras y equipos, o si se deben trasladar a diario.

En esta visita se debe analizar la clasificación de la edificación dentro de uno de los *tipos comunes de edificaciones*, evaluando el sistema de resistencia de fuerzas sísmicas y el tipo de diafragma.

### **13.4 Fase de planeación**

Es la base de cualquier evaluación de materiales, es en esta fase donde se garantiza su éxito, se abordan todos los temas concernientes al estudio a realizar en temas de alcance, objetivos, personal y tiempos de ejecución.

#### **13.4.1 Evaluación de información existente**

Se debe recopilar la mayor cantidad de información disponible de la edificación a evaluar, como memorias y planos de diseño, bitácoras de obra, reportes de ensayos de cilindros, proveedores de materiales (empresas y canteras), informes del contratista e interventoría, entre otros.

Con la ayuda de estos documentos se deben definir las diferentes *categorías* de concreto existentes en la estructura.

En el anexo 1 se encuentra una lista de chequeo con la información más relevante que se debe considerar antes de iniciar con el estudio de materiales.

#### **13.4.2 Cronograma de actividades**

Con el fin de cumplir los plazos inicialmente establecidos, se debe realizar un cronograma de actividades en el cual se consignen claramente las fechas de ejecución de ensayos de campo, laboratorio, orden y procesamiento de datos, realización de informes parciales e informe final.

Dicho cronograma debe ser revisado periódicamente para corroborar que, a la fecha de control, se hayan realizado las actividades programadas. Si el cronograma presenta retrasos, se debe establecer su causa y definir un plan de acción para solucionar los problemas que generaron las demoras.

### **13.4.3 Selección del personal**

Para cada nivel de estudio se debe definir el personal que apoyará la investigación. Los profesionales que lleven a cabo los procedimientos de inspección y muestreo deben ser calificados por educación y experiencia para dichas tareas. Deben conocer los equipos para ensayos, interpretar las observaciones de campo y registrarlas debidamente.

Es posible que se requiera de técnicos y trabajadores asistentes en las operaciones o ensayos, los cuales también deben tener experiencia o conocer los procesos, es obligatorio su entrenamiento y la supervisión en el desarrollo de sus actividades.<sup>211</sup>

#### **13.4.3.1 Instrucción técnica al personal**

El personal seleccionado para desarrollar el plan de inspección y muestreo debe ser capacitado en el uso de los equipos que se usarán durante el estudio. Se les debe facilitar los manuales de estos con el fin de agilizar procesos y evitar pérdida o malos manejos de la información. El empleador debe informar tan detalladamente como sea necesario al personal los propósitos y objetivos del estudio, la clase de información buscada, y la extensión deseada de la inspección y del muestreo.

### **13.4.4 Definir proceso a implementar**

Como lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 23, siempre se debe realizar una evaluación preliminar a la estructura de concreto. De no ser concluyentes los resultados obtenidos, se procede a la realización de la evaluación detallada. La evaluación preliminar permite identificar áreas o elementos que puedan requerir un análisis más profundo.

### **13.4.5 Equipos**

Establecido el proceso a desarrollar, se definen también los ensayos que se van a realizar y los equipos necesarios para realizarlos. Es importante determinar si se van a adquirir los equipos o si se van a alquilar. En cualquiera de los casos se recomienda realizar varias cotizaciones para escoger la mejor oferta.

### **13.4.6 Muestreo**

#### **13.4.6.1 Número mínimo de ensayos.**

Dependiendo de la fase de la investigación y del detalle requerido se podría hablar de dos «casos» para determinar la cantidad mínima de ensayos a ejecutar. Se considera que el caso llamado *general*, puede ser suficiente en la evaluación preliminar, mientras que el *detailed* sería el requerido para una evaluación con el

---

<sup>211</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido'.

mismo nombre, sin olvidar que estos son los requisitos mínimos y siempre será correcto evaluar los resultados obtenidos para determinar si la ejecución de ensayos adicionales es necesaria.

- **Recolección general de información.**

La cantidad mínima de ensayos para determinar propiedades del concreto para el caso de *recolección habitual de información* se basará en los siguientes criterios:

3. Si la resistencia especificada del concreto es conocida, se extraerá al menos un núcleo por cada categoría de concreto en la construcción, con un mínimo de tres núcleos extraídos en la edificación completa.
4. Si la resistencia especificada del concreto no es conocida, al menos un núcleo será extraído en cada tipo de elemento del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas, con un mínimo de seis núcleos extraídos en la edificación completa.

- **Recolección detallada de información.**

La cantidad mínima de ensayos para determinar la resistencia a la compresión del concreto en cada tipo de elemento se ajustará a uno de los siguientes criterios:

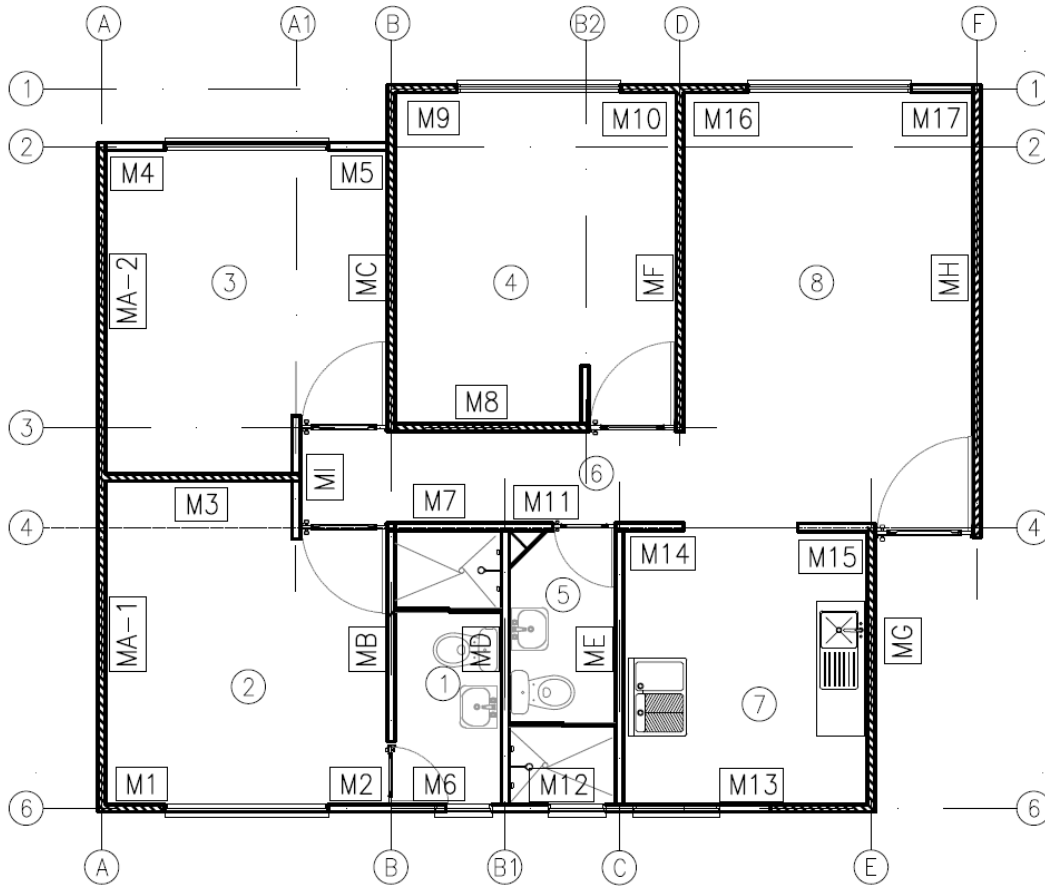
1. Para elementos de concreto cuya resistencia especificada de diseño es conocida pero no hay resultados de ensayos disponibles, mínimo tres ensayos de núcleos se ejecutarán por cada nivel de piso, 300 m<sup>3</sup> de concreto, o 930m<sup>2</sup> de área superficial, el que requiera la mayor frecuencia de ensayos.
2. Para elementos de concreto cuya resistencia especificada de diseño es desconocida y no hay resultados de ensayos disponibles, mínimo seis ensayos de núcleos se ejecutarán por cada nivel de piso, 300 m<sup>3</sup> de concreto, o 930m<sup>2</sup> de área superficial, el que requiera la mayor frecuencia de ensayos. Cuando los resultados indiquen que se usaron diferentes clases de concreto, la cantidad de ensayos se incrementará para confirmar las clases existentes.
3. Alternativamente, para elementos de concreto cuya resistencia especificada de diseño es conocida o desconocida y no hay resultados de ensayos disponibles, se puede determinar el límite inferior de resistencia a la compresión, de acuerdo con las provisiones de la sección 6.4.3 de ACI 562-16. Si el límite inferior de resistencia a la compresión es determinado de esta forma, la resistencia a la compresión esperada se determinará como ese valor más una desviación estándar de la resistencia de los núcleos. Cuando se sigan las recomendaciones de esta sección, el número mínimo de muestras por elemento será cuatro (4). La localización del muestreo será:
  - a. Distribuida para determinar las propiedades del material de los elementos de la edificación en la totalidad de su altura, y

- b. Distribuida para determinar las propiedades del material de los elementos en ubicaciones críticas del sistema estructural investigado.

### 13.4.6.2 Localización de ensayos.

Se deben nombrar los posibles elementos a ensayar para tener un control y orden de los lugares donde se realizan las pruebas como se muestra en la Figura 24.

Figura 24 Nomenclatura para localización de ensayos.



Fuente: Informe de patología estructural Torres del Parque. DCI S.A.S.

### 13.4.7 Transporte y ensayos de muestras

Se debe determinar si donde se realiza el estudio de caracterización de materiales existe un lugar para el almacenamiento de las muestras (núcleos de concreto). Este lugar debe estar libre de humedad y con acceso restringido a personal no autorizado. Las muestras no podrán permanecer allí por más de siete días antes de llevarse a ensayar.

Se debe establecer cómo se realiza el traslado de los núcleos al laboratorio, con qué frecuencia y el medio de transporte. Los núcleos deben estar dentro de bolsas

plásticas con cierre hermético y se recomienda que sean trasladados aislados y en una caja preparada para ellos.

#### **13.4.8 Socialización con residentes de la(s) edificaciones, en caso de ser habitadas**

Cuando las edificaciones objeto de estudio se encuentran habitadas, es necesario citar a una reunión con los residentes, donde se exponga las razones por las cuales se llevará a cabo el estudio, los procesos que se desarrollarán, y se presente el equipo de trabajo. Todo esto con el fin de evitar futuros inconvenientes.

##### 13.4.8.1 Programar entrevistas

Se deben realizar entrevistas con los contratistas, ingenieros, vendedores y proveedores para obtener información pertinente. Los propietarios, ocupantes y usuarios de las construcciones deben ser consultados acerca del problema que generó el estudio de las edificaciones. Se debe recolectar la mayor cantidad de información posible.

##### 13.4.8.2 Programar visitas para realización de ensayos

En la mayoría de las ocasiones será necesario acceder a locales, residencias o espacios de particulares para la realización de ensayos. Se deben programar visitas con los propietarios o responsables de los inmuebles con el objetivo de agilizar el trabajo y evitar pérdidas de tiempo.

##### 13.4.8.3 Confianza de los residentes

Cuando se realizan ensayos no destructivos al concreto de las edificaciones se debe tener contacto directo con este, lo que requiere en ocasiones retirar la pintura u otros acabados de los elementos a ensayar. Estas limpiezas resultan escandalosas para algunos residentes o propietarios de las construcciones.

Con el fin de generar confianza en los ocupantes y permitan la intervención requerida, los autores recomiendan la implementación de un formato donde los responsables de los ensayos obtengan un permiso para la realización de los ensayos en el inmueble y, además de esto, se comprometan a realizar las reparaciones necesarias.

En el anexo 3, se presenta un formato recomendado que se puede implementar en unidades habitacionales como el conjunto de interés prioritario Torres del Parque. Se debe diligenciar de la siguiente manera:

En el encabezado se debe incluir información acerca del proyecto a desarrollar, como el número del contrato a ejecutar y su objeto, así como la entidad o persona natural que contrata el estudio y quien está encargado de la interventoría.



Se debe registrar el bloque y el apartamento que se va a intervenir con el nombre de su propietario o responsable, además de la identificación del punto de ensayo ubicado en este apartamento.

Mas abajo se encuentra un paralelo, la información de la izquierda del formato se debe diligenciar el día de la intervención, y la parte derecha el día que se realicen las reparaciones.

El día de la intervención se deberá registrar la fecha y los ensayos que se realizan en el lugar. Existe un espacio para observaciones y comentarios, se podrá incluir información como el compromiso de realizar las reparaciones y una nota donde los responsables de los ensayos no se responsabilizan por reparaciones hechas por terceros. Este espacio debe estar firmado por quien realiza las pruebas y el responsable del inmueble.

Cuando se realicen las reparaciones también se debe registrar la fecha y reparaciones realizadas, acompañado de un registro fotográfico donde se podrá comparar el punto de ensayo antes y después de realizar reparaciones. Como la fecha en que el responsable recibe a conformidad puede ser distinta a la fecha en que se realizan las reparaciones (por ejemplo, porque el secado tarda más de un día), se deja espacio para registrar la fecha de recibo final y para la firma del encargado de aprobar las reparaciones.

### **13.5 Evaluación del concreto en estructuras**

El objetivo de una inspección al concreto es proporcionar información que pueda ser usada para evaluar la condición de las edificaciones y del concreto que las compone, para corroborar su desempeño satisfactorio o documentar un daño o falla. Esta inspección y su extensión, deben estar acordes con el alcance y los objetivos del estudio.

La evaluación al concreto tiene dos fases, la *evaluación preliminar*, que por medio de pocos ensayos puede ser suficiente para dar un diagnóstico o permite identificar elementos o partes de la edificación que necesiten una evaluación profunda; y la *evaluación detallada*, en la que, a partir de la preliminar y con la implementación de ensayos parcialmente destructivos, dará un diagnóstico general y acertado de la edificación.

#### **13.5.1 Evaluación preliminar**

Esta evaluación debe establecer la condición general del concreto de la edificación y definir si existe alguna condición insatisfactoria, estimar su extensión y posible efecto en el desempeño, vida útil y seguridad de la estructura.

Una evaluación preliminar, además del estudio de la información encontrada en la fase de planeación, debe incluir una inspección visual de la estructura y ensayo de

algunas de sus partes para observar la condición del concreto que la compone. También se puede realizar la medición de algunos elementos estructurales elegidos aleatoriamente para corroborar sus dimensiones.

La condición del concreto de la edificación se debe estimar usando procedimientos de ensayos no destructivos, tales como detección de refuerzo (sección 13.6.2), número de rebote del concreto endurecido (sección 13.6.6) y velocidad del pulso ultrasónico (sección 13.6.4), como lo recomienda NSR-10 para edificaciones nuevas<sup>212</sup>, los cuales permiten evaluar la uniformidad del concreto que compone una estructura y corroborar si existen variaciones en sus propiedades, y, teniendo en cuenta que no solo las propiedades mecánicas del concreto tienen injerencia en su desempeño, sino que también su composición química resulta fundamental para evaluar la durabilidad de la estructura, se pueden realizar ensayos de carbonatación (sección 13.6.5).

El procedimiento que debe seguirse en esta fase de la evaluación del concreto, que sucede la fase de planeación, se describe en la Figura 25.

Realizados los ensayos y registrada la información se debe proceder a su tratamiento. Los datos obtenidos de la realización de los ensayos no destructivos sobre el concreto deben encontrarse en formatos diligenciados de forma clara, para que así se puedan digitalizar y tratar de manera fácil, lo cual es indispensable antes de realizar su procesamiento global y comparación. Por ejemplo, los resultados de esclerometría se deben promediar, y la velocidad de pulso se debe calcular teniendo en cuenta si hubo acero de refuerzo o no <sup>213</sup>. Posterior a esto se pueden realizar comparaciones con los resultados de los mismos ensayos a lo largo de toda la estructura para determinar si existen distintas categorías de concreto en ella. Se recomienda graficar los resultados de los ensayos para observar posibles patrones y compararlos con las gráficas propias de los equipos para determinar si existen lugares con aparente menor resistencia que otros.

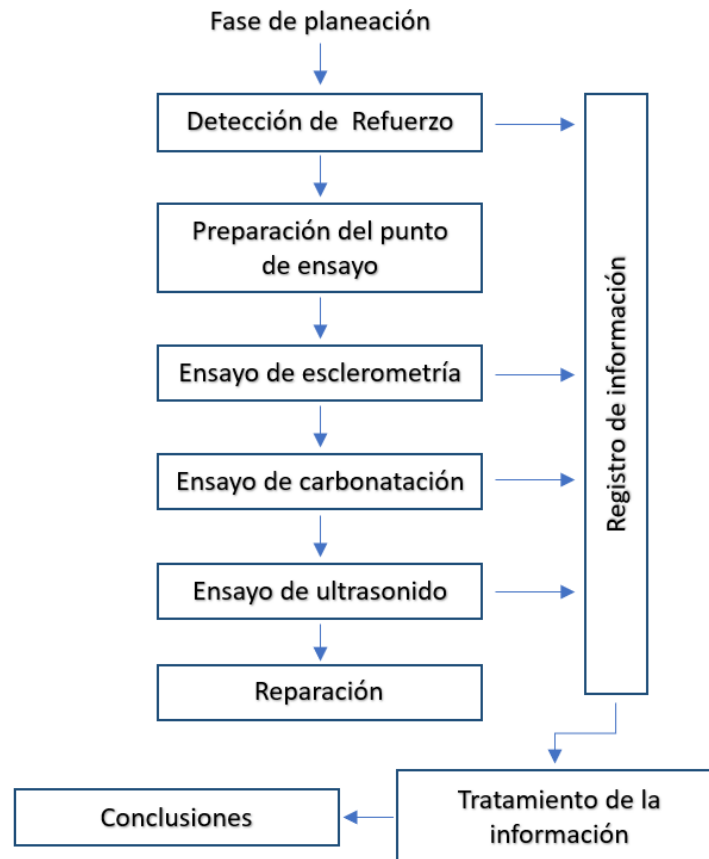
Los hallazgos de la investigación preliminar pueden determinar la condición del concreto de la edificación y sus patrones. En ciertos casos, los hallazgos son adecuados para dar una conclusión final sobre la resistencia del concreto de la estructura, si no es así, se debe asegurar que la investigación preliminar proporcione la información necesaria para delinear un plan para llevar a cabo la evaluación detallada.

---

<sup>212</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Literal C.5.6.5.

<sup>213</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 23.

Figura 25 Evaluación preliminar del concreto endurecido.



Elaboración propia

### 13.5.2 Evaluación detallada

Debe incluir todos los procedimientos que se requieran para lograr el alcance y objetivos definidos previamente, cumpliendo la programación autorizada. Después de la evaluación preliminar para establecer la condición general del concreto, la investigación detallada debe comprender:

- La inspección completa de las construcciones en concreto,
- Estudios y ensayos de campo para definir y evaluar la condición del concreto en sitio y la seguridad de las construcciones,
- Toma de muestras para ser inspeccionadas y ensayadas por procedimientos de laboratorio.

Después de definir la existencia de lugares críticos o resistencias bajas en la estructura, en la evaluación preliminar (identificar todas las partes afectadas de las construcciones tan cuantitativamente como sea posible), se debe proceder a la extracción de núcleos en los lugares establecidos, los cuales se deben fallar a compresión para obtener el valor de su resistencia. Los núcleos proporcionan la

información más confiable para una evaluación de resistencia in-situ. Pero causan más daño, son más costosos y demorados que los ensayos no destructivos.

Obtenidos estos valores se pueden establecer correlaciones con los resultados de ensayos de esclerometría y ultrasonido para así poder caracterizar adecuadamente la totalidad del concreto de la edificación, tomando como referencia los lugares donde se realizan ensayos.

Los resultados de resistencia también deben usarse para el cálculo de una resistencia de diseño  $f'_c$  equivalente, para esto, los datos de resistencia deben afectarse por los coeficientes definidos para cada factor que las influye. El reglamento NSR-10<sup>214</sup> recomienda seguir los procedimientos descritos en la norma ACI 214.4R para encontrar este valor.

La evaluación detallada debe arrojar resultados suficientes para la caracterización del concreto que compone la edificación, de no lograr resultados concluyentes, se deben seleccionar nuevos puntos y realizar ensayos adicionales.

### **13.6 Ensayos para la caracterización**

Posterior a la selección de los lugares y elementos a ser ensayados, según el método pertinente, descrito en la sección “muestreo”, se procede a realizar los ensayos. No se permite cuantificar de la resistencia del concreto usando solamente ensayos no destructivos como sustitutos de la extracción y prueba de núcleos. Los ensayos no destructivos se deben usar para establecer una correlación válida con la resistencia obtenida con núcleos.<sup>215</sup>

El objetivo de las pruebas in-situ es estimar la resistencia a la compresión del concreto que conforma la estructura.

Para realizar una estimación de resistencia, es necesario que haya una relación conocida entre el resultado de la prueba in-situ y la resistencia del concreto. Para construcciones nuevas, esta relación generalmente se establece en el laboratorio. Para las construcciones existentes, la relación generalmente se establece al realizar pruebas en puntos seleccionados de la estructura y determinar la resistencia de los núcleos extraídos de ubicaciones adyacentes. La Figura 26 representa cómo la resistencia a la compresión de los núcleos es medida en función del resultado de un ensayo no destructivo. La relación encontrada se usa para estimar la resistencia del concreto en una estructura basada en el resultado de un ensayo no destructivo

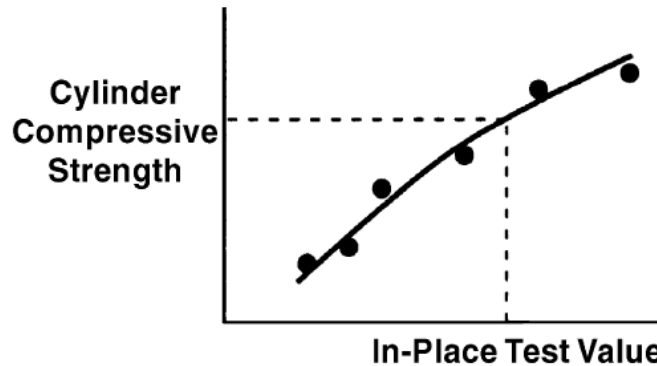
---

<sup>214</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, capítulo C.20.2.3.

<sup>215</sup> American Society of Civil Engineers, *41-17-Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (Reston, Virginia, 2017), p. 142.

realizado en la misma. La precisión de la resistencia depende del grado de correlación entre la resistencia del concreto y los resultados de las pruebas in situ.

Figura 26 Relación entre resistencia a la compresión de núcleos y valores de ensayos en campo.



Fuente: ACI 228.1R *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*

### 13.6.1 Identificación de puntos de ensayo

Cada punto de ensayo debe identificarse con el fin de facilitar su reconocimiento o ubicarlo fácilmente en el futuro, de ser necesario. Se recomienda que esta identificación sea dada por una serie de caracteres. A continuación, se muestra un ejemplo, en el que se hace la identificación de un punto de ensayo ubicado en un conjunto de bloques de apartamentos dividido por terrazas, como el *conjunto de interés prioritario Torres del Parque*.

El ensayo número 151 se realiza en la terraza F, bloque uno, segundo piso. Se propone que los caracteres representen:

Terraza donde se encuentra el elemento a ensayar,

Número de bloque,

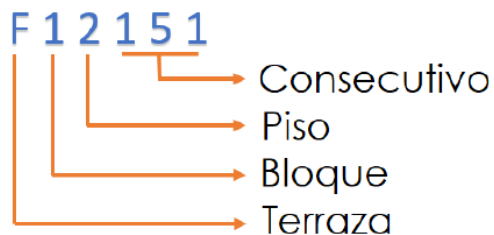
Piso en el que se realiza el ensayo; y,

Un consecutivo de tres dígitos, que funciona como contador de ensayos.

Lo anterior se representa en la Figura 27.

Esta identificación puede marcarse en el sitio de ensayo usando cinta de enmascarar, como se muestra en la Figura 28.

Figura 27 Ejemplo de identificación de puntos.



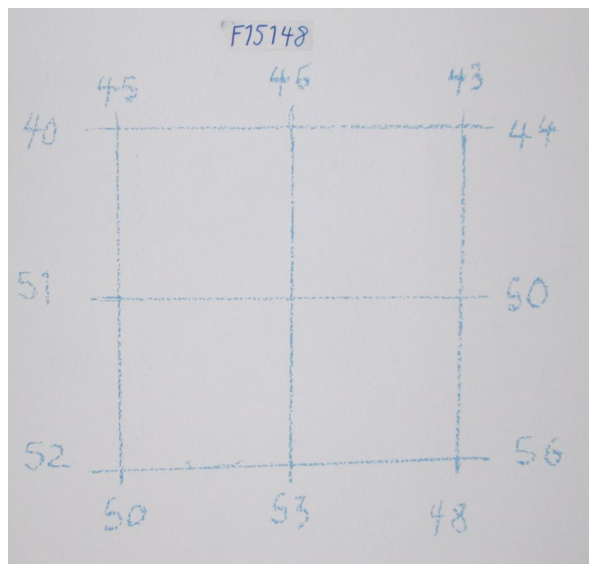
Fuente: Propia.

### 13.6.2 Detección del acero de refuerzo

La detección del acero de refuerzo de los elementos estructurales de las edificaciones de muros de concreto reforzado a analizar, se realiza con un pacómetro, el cual, al deslizarse por la superficie de los elementos, permite localizar el refuerzo y medir la profundidad a la que se encuentra (recubrimiento) permitiendo dibujar en la cara del elemento la posición de las barras formando una cuadrícula como se muestra en la Figura 28.

Se recomienda marcar en cada borde de la cuadrícula el recubrimiento del acero en el punto, para así establecer si es el adecuado según normatividad.

Figura 28 Acero de refuerzo localizado en la cara del elemento.



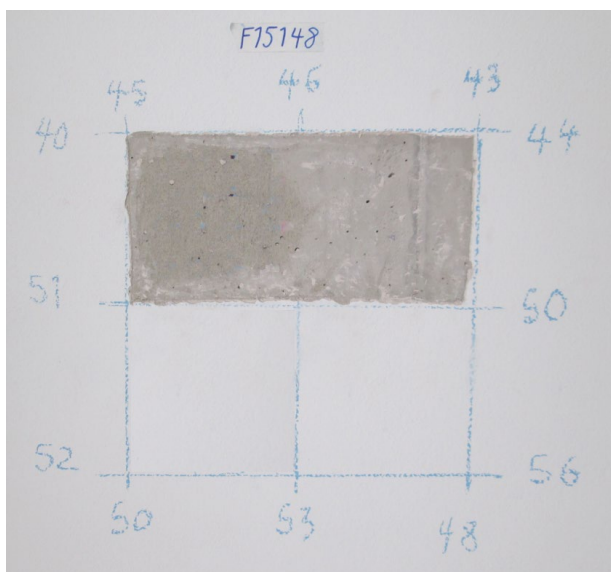
Fuente: Propia.

**Nota:** Se debe comparar la profundidad del acero en el elemento estructural con la profundidad del frente de carbonatación descrita en el numeral 13.6.5, para emitir un concepto respecto a la durabilidad del concreto reforzado, según lo descrito en el numeral mencionado.

### 13.6.3 Preparación de puntos de ensayo

Después de realizar la detección del refuerzo y marcar sobre la superficie o cara del muro su posición, se deben retirar los acabados para tener contacto directo con el concreto que se desea caracterizar. Esta limpieza debe realizarse en los espaciamientos entre barras, como se muestra en la Figura 29.

Figura 29 Limpieza para contacto directo con el concreto.



Fuente: Propia.

### 13.6.4 Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico

El ensayo de determinación de la velocidad del pulso ultrasónico se hace de forma directa (transductores enfrentados) con un equipo adecuado para el trabajo. Con este ensayo se determina la velocidad con que una onda viaja de transductor emisor a receptor a través del concreto, teniendo en cuenta el tiempo de tránsito (tiempo necesario para que un pulso ultrasónico realice dicho recorrido). Esta información da una idea de la uniformidad del concreto endurecido, presencia de grietas o vacíos, y su resistencia.

*“La heterogeneidad del concreto de un elemento estructural o entre miembros, causa variaciones de velocidad del pulso, las cuales, a su vez, están relacionadas con las variaciones de calidad. Las mediciones de velocidad de pulso suministran los medios para el estudio de la homogeneidad”.*<sup>216</sup>

---

<sup>216</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto”, p. 18.

Como lo menciona el párrafo anterior, defectos internos del concreto se pueden evidenciar con este ensayo al analizar el tiempo de viaje del pulso ultrasónico, como se muestra en la Figura 30(a).

Es necesario aplicar un gel conductor de ultrasonido sobre la cara de los transductores que está en contacto con la superficie del muro con el fin de acoplarlos, garantizando la propagación del pulso ultrasónico a través del concreto y el viaje de las ondas entre los dos transductores.

Para el ensayo de carbonatación, descrito en el numeral 13.6.5., se debe realizar una perforación en el concreto. Dicha perforación se aprovecha en el ensayo de ultrasonido para medir el espesor del elemento a ensayar (dato que se debe introducir en el equipo), y además, para pasar el cable del transductor receptor, garantizando siempre la transmisión directa del pulso ultrasónico, Figura 30 (b). La transmisión directa siempre será más confiable que la indirecta o semi directa, ya que en este caso la energía entre transductores está en su máximo y la precisión de la medición depende solamente de la exactitud con que se mida la longitud de la trayectoria <sup>217</sup>.

Los transductores deben estar en contacto con capas de concreto que han sido fundidas directamente contra la formaleta o el molde respectivo. Aquellas superficies que se han formado de otra manera, por ejemplo, llenando y alisando con palustre, pueden presentar propiedades diferentes a las del cuerpo principal del material. Cuando la superficie de concreto sea muy rugosa y dispareja, se debe proceder a alisar y nivelar el área donde el transductor se va a aplicar <sup>218</sup>.

Debido a que los resultados de las pruebas son relativamente insensibles a la heterogeneidad normal del concreto, encontrando que el método de prueba tiene un coeficiente de variación, dentro del grupo, extremadamente bajo <sup>219</sup>, se procede a ubicar un punto medio en uno de los recuadros marcados con ayuda del pacómetro, enfrentando los transductores usando como referencia la perforación, y con la aplicación del gel conductor se procede a realizar el ensayo.

---

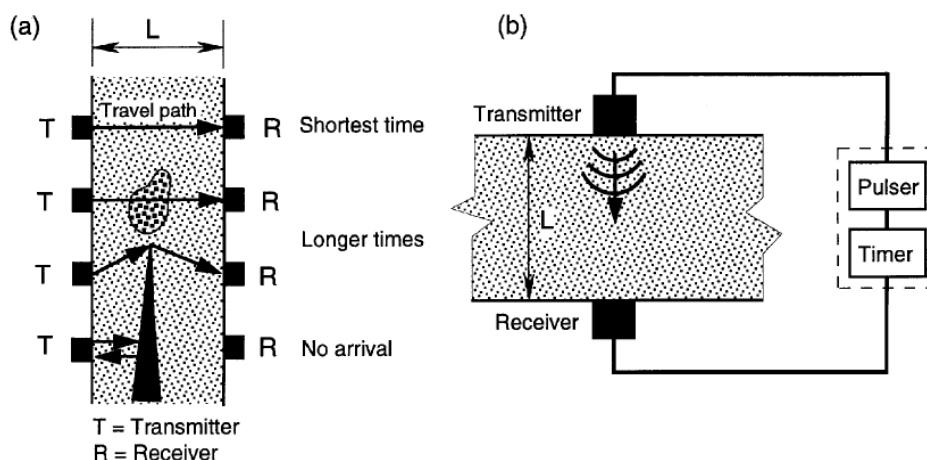
<sup>217</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto” , p. 7.

<sup>218</sup> American Concrete Institute, “228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures” , p. 7.

<sup>219</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength” , p. 11.



Figura 30 Efecto de los defectos del concreto en el tiempo de viaje de un pulso ultrasónico (a); esquema disposición directa de los transductores (b).



Fuente: ACI 228.2R Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures

**Nota:** Para realizar estudios comparativos, se pueden hacer lecturas con ambos transductores colocados en la misma superficie, pero cuando sea necesario medir la velocidad del pulso con precisión, (estimación de resistencia), será necesario colocar los transductores en caras opuestas del elemento de concreto.<sup>220</sup>

A partir de los principios de propagación de ondas elásticas, la velocidad del pulso es proporcional a la raíz cuadrada del módulo elástico<sup>221</sup>.

Como lo menciona la norma ACI 228.1R en su capítulo 2,6, debido a que el módulo elástico y la resistencia de un concreto dado aumentan con la madurez, se deduce que la velocidad del pulso puede proporcionar un medio para estimar la resistencia del concreto, aunque no haya una relación física directa entre estas dos propiedades. Sin embargo, a medida que el concreto madura, el módulo elástico y la resistencia a la compresión aumentan a diferentes velocidades. A edades tempranas, el módulo elástico aumenta a una tasa mayor que la resistencia, y en edades avanzadas, el módulo elástico aumenta a una tasa más baja.

Como resultado, en un amplio rango de madurez, la relación entre la resistencia a la compresión y la velocidad del pulso es no lineal. La Figura 31 muestra una relación típica entre la fuerza de compresión y la velocidad del pulso.

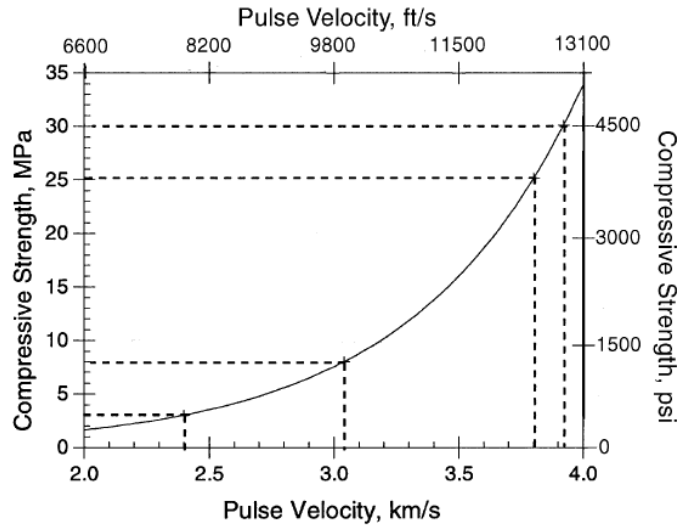
Los agregados que componen una mezcla de concreto influyen en su resistencia según sus propiedades. Se puede calificar un concreto endurecido por su calidad a

<sup>220</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto", p. 7.

<sup>221</sup> American Concrete Institute, "228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength", p. 10.

partir de la velocidad del pulso ultrasónico, teniendo en cuenta factores como el tipo de cemento, relación agua cemento, edad del concreto y componentes en general. Para concretos con densidad aproximadas a  $2400 \text{ Kg/m}^3$  Whitehurst sugiere las calificaciones dadas en la Tabla 16<sup>222</sup>.

**Figura 31 Relación típica entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto dada.**



Fuente: ACI 228.2R Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures

**Tabla 16 Clasificación de la calidad del concreto con base en la velocidad de pulso.**

Longitudinal pulse velocity		Quality of concrete
km/s.10 <sup>3</sup>	ft/s	
>4.5	>15	excellent
3.5-4.5	12-15	good
3.0-3.5	10-12	doubtful
2.0-3.0	7-10	poor
<2.0	<7	very poor

Fuente: Guidebook on non-destructive testing of concrete structures.

#### 13.6.4.1 Efecto del acero de refuerzo

La velocidad del pulso medida en concreto reforzado cerca del acero de refuerzo es normalmente mayor que en concreto que tenga la misma composición, pero no esté reforzado. Esto se debe a que la velocidad del pulso en el acero es hasta dos veces

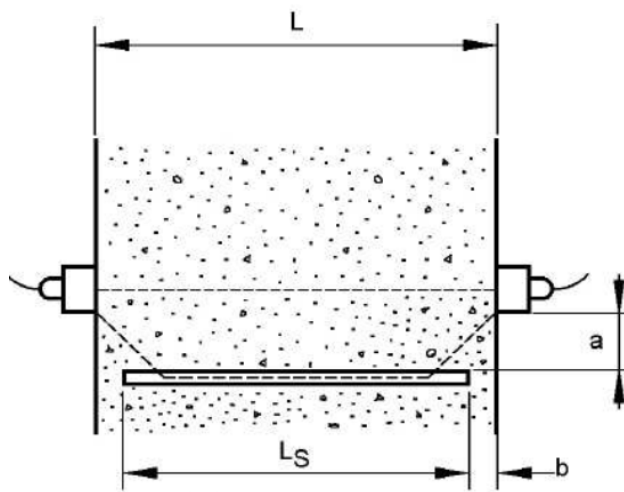
<sup>222</sup> Whitehurst, E.A., Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests, ACI Monograph 2, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1966, 94 pp.

mayor que en el concreto simple y, bajo ciertas condiciones, el primer pulso en llegar al transductor receptor viaja parcialmente en el concreto y parcialmente en el acero  
223

#### 13.6.4.1.1 Eje de barras de refuerzo paralelas a la dirección de propagación

Según la NTC 4325, cuando sea factible, debe escogerse la posición de las trayectorias en las cuales los pulsos se propagan de tal manera que se evite la cercanía de barras de refuerzo paralelas a dichas trayectorias (Figura 32). Si esto no es posible, se deben corregir los valores de velocidad del pulso teniendo en cuenta la presencia del acero.

**Figura 32 Sección transversal de concreto con refuerzo lateral.**



**Fuente: NTC 4325 Método De Ensayo Para La Determinación De La Velocidad Del Pulso Ultrasónico A Través Del Concreto**

La corrección depende de la distancia entre la línea de la trayectoria y el borde del acero más cercano, el diámetro de la barra y la velocidad del pulso en el concreto que la rodea y se debe realizar cuando no se dé la relación:

$$\frac{a}{L} > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(V_s - V_c)}{(V_s + V_c)}}$$

En dicha corrección, la velocidad de pulso en el concreto  $V_c$  (Km/s) viene dada por:

<sup>223</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto", p. 12.

$$V_c = \frac{2aV_s}{\sqrt{(4a^2 + (Tv_s - L)^2)}}$$

Donde,  $V_s$  = velocidad del pulso en la barra de acero (km/s).

$a$  = desviación, medida como la distancia entre la superficie de la barra y la línea que une los puntos más cercanos de los dos transductores (mm).

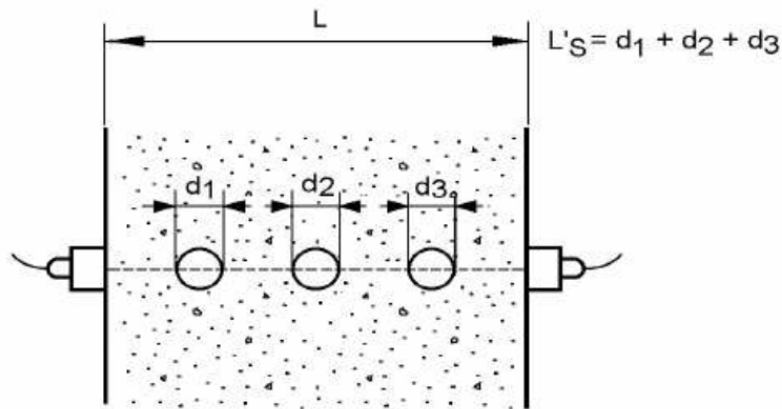
$T$  = tiempo de tránsito ( $\mu$ s).

$L$  = longitud de la trayectoria directa entre transductores (mm).

#### 13.6.4.1.2 Eje de la barra de refuerzo perpendicular a la dirección de propagación

Como lo menciona la NTC 4325, la máxima influencia de la presencia de barras de refuerzo puede ser calculada teóricamente asumiendo que el pulso atraviesa en su trayectoria la totalidad del diámetro "d" de cada barra. Esto se muestra en la Figura 33. El efecto de las barras en el pulso es complejo y la velocidad aparente del pulso en el acero se ve reducida por debajo de lo que se espera a lo largo de los ejes de las barras de tamaño similar.

Figura 33 Sección transversal del concreto con refuerzo longitudinal.



Fuente: NTC 4325 Método De Ensayo Para La Determinación De La Velocidad Del Pulso Ultrasónico A Través Del Concreto

Para fines prácticos cuando se usan transductores de 54 kHz, se puede ignorar el acero de refuerzo con diámetro menor a 20 mm, ya que su influencia es despreciable. Un estimativo de la influencia promedio se puede obtener, para barras bien adheridas con diámetros entre 2 mm y 50 mm, considerándolas como una barra

longitudinal equivalente cuya longitud de trayectoria total sea  $L's$ .<sup>224</sup> (véase Figura 33).

El método descrito en el numeral 6.4.1.1 para barras que quedan directamente en línea con los transductores puede ser usado para este propósito

#### 13.6.4.2 Informe

En el informe se debe dejar constancia que la velocidad del pulso ultrasónico fue determinada de acuerdo con las recomendaciones dada anteriormente y además se debe incluir la siguiente información:

- Fecha, hora y lugar de la investigación
- Ubicación de la prueba
- Descripción del elemento de la estructura o de los especímenes ensayados
- Composición nominal del concreto, incluyendo
  - Tipo de cemento
  - Contenido de cemento
  - Relación agua/cemento
  - Tipo de agregado y tamaño máximo nominal
  - Aditivos usados en la elaboración del concreto
- Condiciones de curado, temperatura y edad del concreto en el momento del ensayo
- Especificación del medio ambiente para el cual fue diseñado el concreto
- Distancia entre los centros de los transductores
- Tiempo de tránsito, con aproximación a  $0,1 \mu s$
- Diagramas mostrando la localización del punto de aplicación de los transductores y las trayectorias de la propagación del pulso. El diagrama debe mostrar los detalles del acero de refuerzo o de ductos en la vecindad de las áreas de ensayo.
- Condiciones de la superficie en los puntos de ensayo (afinada, pañetada, rugosa, presencia de agrietamientos o descascaramientos)
- Condiciones de humedad interna del concreto estimada en el momento del ensayo y condiciones de curado prolongado, si son conocidas superficie húmeda, superficie seca (recientemente desformaleteadas), o seco al aire (desformaleteado en condición seca por algún tiempo).
- Tipo y fabricante del aparato, su precisión, frecuencia del pulso y cualquier otra característica especial.

---

<sup>224</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “4325-Método de Ensayo Para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto” , p. 15.

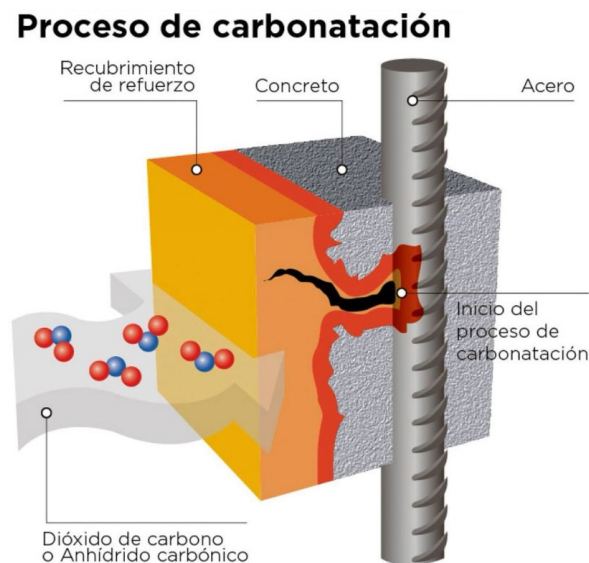
- Longitud de las trayectorias, método de medición y estimación de la exactitud de las mediciones.
- Valores medidos de la velocidad del pulso aproximados a 10 m/s
- Valores de la velocidad de pulso corregidos por presencia de acero de refuerzo, cuando se considere necesario

### 13.6.5 Carbonatación

El concreto, además de sus propiedades de resistencia, también cumple la función de proteger al acero de refuerzo de la intemperie, lo cual se da gracias a su alcalinidad, evitando que este se oxide o en el peor de los casos, sufra procesos de corrosión. Esta alcalinidad en el concreto se va perdiendo naturalmente con el tiempo y su velocidad depende de la calidad del concreto y del medio al que esté expuesto.

El proceso de carbonatación del concreto es un proceso químico natural, normal y se conoce como difusión. La profundidad del frente de carbonatación es la penetración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el concreto. Dependiendo de la cantidad, características y disposición de los poros que se crean en el concreto fraguado, se facilita o impide el ingreso del  $\text{CO}_2$ ; cuando este alcanza el acero embebido en el concreto se da lugar a un proceso de oxidación, el cual lo afecta de manera importante llevándolo hasta la corrosión (Figura 34).

Figura 34 Proceso de carbonatación.



Fuente: <https://twitter.com/hashtag/carbotantacion>

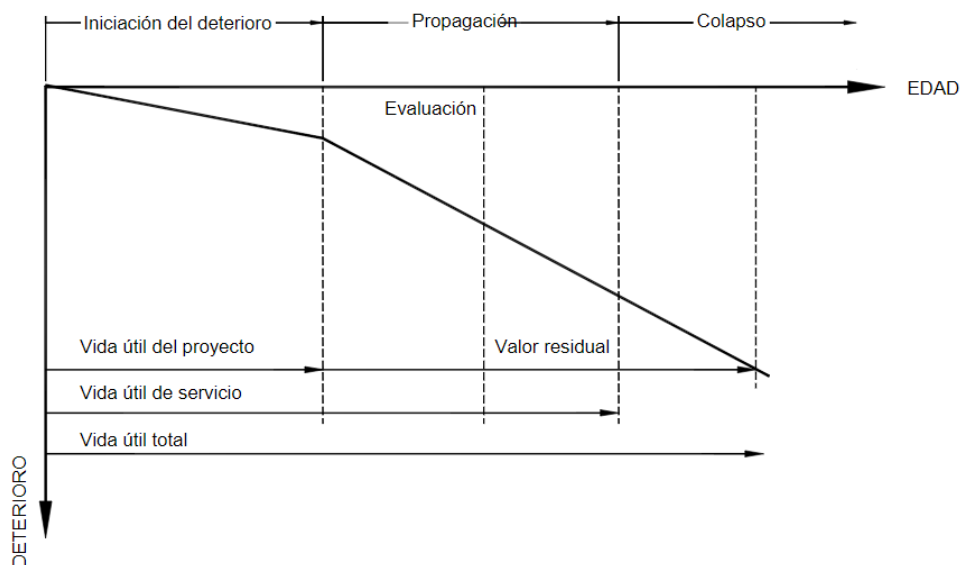
Para llevar a cabo este ensayo se realiza una perforación con broca de  $\frac{3}{4}$ " en uno de los recuadros de 15x15 cm anteriormente listos del elemento de concreto estudiado para tener plena seguridad que este no estuviera expuesto con

anterioridad al aire. en dicha perforación se procede a determinar la profundidad de penetración del frente de carbonatación, la cual da una idea de la durabilidad del concreto reforzado o su vida útil de servicio.

Realizada la perforación se limpia el agujero con un cepillo y se quitan los residuos de polvo con ayuda de un fuelle soplador o algún otro elemento que cumpla con este objetivo. Inmediatamente después se rocía con una solución al 1% de fenolftaleína en hidro-alcohol (70% de alcohol y 30% de agua) <sup>225</sup> y se observa la tonalidad que toma el concreto. Si el color del hormigón impregnado toma un tono púrpura intenso se interpreta como “no carbonatado” y si no cambia de color se supone “carbonatado”, esto da una idea de la reserva alcalina del concreto. <sup>226</sup>

Un concreto común presenta un pH superior a doce; con valores menores a nueve, el acero se encuentra desprotegido <sup>227</sup>. Se deben tomar 3 lecturas en milímetros con ayuda del calibrador pie de rey, y elegir como dato de “profundidad del frente de carbonatación” la mayor de estas.

**Figura 35 Vida útil de las estructuras.**



*Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.*

**Fuente: NTC 5551 Durabilidad De Estructuras De Concreto**

La velocidad de avance del frente de carbonatación depende de varios factores tales como el CO<sub>2</sub> presente en el ambiente, la humedad relativa, relación agua cemento,

<sup>225</sup> Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, p. 453.

<sup>226</sup> International Atomic Energy Agency, p. 453.

<sup>227</sup> International Atomic Energy Agency, p. 453.

tipo y cantidad de cemento, y, tipo y tiempo de curado <sup>228</sup>. En términos generales un concreto presenta una menor velocidad de carbonatación entre mayor sea la resistencia a compresión del mismo.

El tiempo total para que el ataque sea significativo comprende dos etapas, el tiempo que tarda el CO<sub>2</sub> en llegar al refuerzo y provocar la corrosión (vida útil del proyecto); y, el periodo de propagación en el cual la corrosión genera una degradación significativa (vida útil de servicio) <sup>229</sup>. Estos periodos se plasman en la Figura 35.

Se deben comparar las profundidades del frente de carbonatación con el recubrimiento disponible en cada elemento, si dicho avance supera al recubrimiento, se considera que el acero de refuerzo está expuesto (sin la barrera protectora otorgada por la alcalinidad del concreto), por lo que corre riesgo de sufrir procesos de corrosión, lo que afectaría de forma considerable la resistencia en general de la estructura.

Esta comparación se puede realizar por medio de una tabla, donde se defina si el acero de refuerzo del elemento ha perdido su protección alcalina (sí o no), es decir, si el concreto ha terminado su vida útil. La Tabla 17 es un ejemplo.

**Tabla 17 Formato para tabla comparativa frente de carbonatación/refuerzo.**

Elemento	Frente de Carbonatación (mm)	Recubrimiento (mm)	¿Acero de refuerzo expuesto?

**Fuente: propia**

Con los resultados del ensayo de carbonatación y conociendo la edad de la edificación en estudio, es posible calcular el coeficiente de carbonatación, factor con el cuál se podrá establecer si el proceso es acelerado al compararse con valores normales de vida útil de edificaciones y recubrimiento mínimo para concreto no expuesto directamente al suelo o a la intemperie, 50 años y 40 mm, respectivamente, <sup>230</sup> además se podrá conocer el tiempo restante de vida útil de los elementos estructurales al dividir el valor del coeficiente de carbonatación entre su edad.

---

<sup>228</sup> International Atomic Energy Agency, p. 454.

<sup>229</sup> Lilian et al, p. 3.

<sup>230</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, p. 12; capítulo C.7.7.1.



De manera aproximada, la profundidad de la carbonatación es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, de acuerdo con la segunda ley de difusión de Fick <sup>231</sup>, que se expresa de la siguiente manera:

$$x = k\sqrt{t}$$

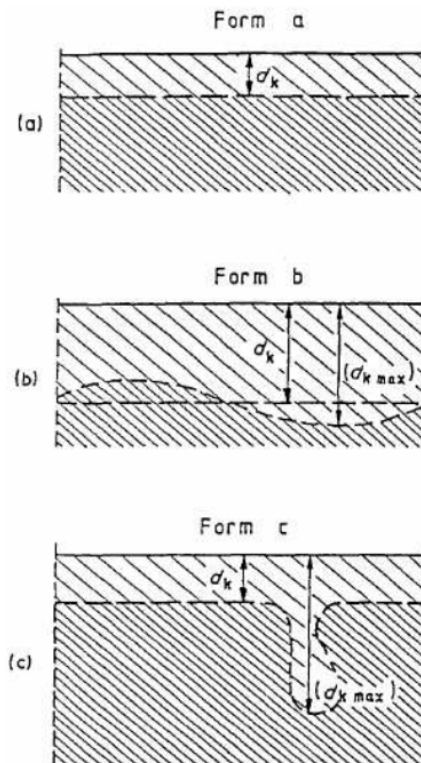
Donde:

x = Profundidad del frente de carbonatación en mm.

k = Coeficiente de carbonatación.

t = Tiempo transcurrido en años.

**Figura 36 Detalle del avance del frente de carbonatación.**



**Fuente: CPC-18 Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth**

<sup>231</sup> Sánchez de G, p. 129.

### 13.6.5.1 Informe

La profundidad del frente de carbonatación debe registrarse con aproximación a 1 mm. El reporte de la prueba debe contener los siguientes detalles <sup>232</sup>:

- Identificación de la estructura
- Edad del concreto a ensayar
- Localización del lugar donde se extrae el núcleo y orientación de la superficie expuesta al CO<sub>2</sub> en la edificación (vertical u horizontal)
- Fecha de la extracción y de la prueba
- Promedio de la profundidad de carbonatación, con detalles del avance de su frente, de acuerdo a la figura 1, a: regular; b: irregular y profundidad máxima; c: regular y profundidad máxima, de acuerdo a la Figura 36.

### 13.6.6 Número de rebote del concreto

Este ensayo se realiza con un martillo de acero impulsado por resorte conocido como Martillo de Schmidt, que golpea con una determinada cantidad de energía un émbolo en contacto con la superficie de concreto, y mide la distancia que el martillo rebote, la dureza <sup>233</sup>.

El equipo consta de cuatro componentes principales: 1) cuerpo exterior; 2) émbolo; 3) martillo; y 4) el resorte. Para realizar la prueba, el émbolo se extiende desde el cuerpo del instrumento y se pone en contacto con la superficie del concreto. Cuando se extiende el émbolo, un mecanismo de bloqueo traba el martillo en el extremo superior del émbolo y el cuerpo del instrumento luego se empuja hacia el elemento de concreto. Esta acción provoca una extensión del resorte que conecta el martillo al cuerpo (Figura 38(b)). Cuando se empuja el cuerpo a su límite de compresión, se suelta el pestillo y el resorte tira del martillo hacia el elemento de concreto ((Figura 38 (c)). El martillo impacta el área del hombro del émbolo y rebota ((Figura 38 (d)).

Antes de tomar cualquier lectura, el Martillo de Schmidt se debe activar al menos tres veces, para asegurarse de que funciona correctamente. Para el desarrollo del ensayo de esclerometría se debe pulir la superficie del concreto, anteriormente expuesta, con una piedra abrasiva hasta suavizarla y luego de secar el agua presente <sup>234</sup> ya que esta influye en el resultado del ensayo, debido a que la dureza del concreto disminuye en su presencia <sup>235</sup> como se muestra en la Figura 37.

---

<sup>232</sup> Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, p. 455.

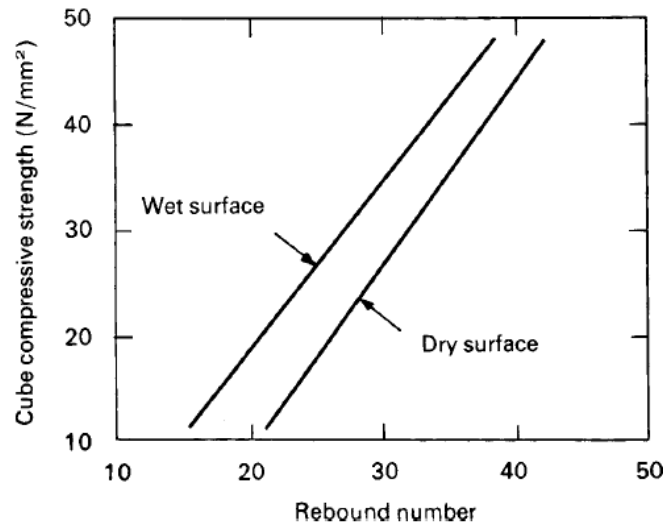
<sup>233</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 2.

<sup>234</sup> British Standards Institution, “12504-2-Non-destructive Testing-Determination of Rebound Number”, p. 4.

<sup>235</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 39.

Se procede a realizar una marcación de diez puntos separados entre sí mínimo veinticinco milímetros sobre el concreto suavizado y lo más lejos posible de las barras de acero marcadas. Se sostiene el martillo frente a la superficie de tal forma que el émbolo la golpee perpendicularmente, esto con el fin de determinar la dureza superficial del concreto, datos que como conjunto dan una idea de la uniformidad del concreto en sitio y de la resistencia del concreto fundido en general a partir de su correlación con datos de resistencia a la compresión de núcleos extraídos en el mismo punto.<sup>236</sup>

Figura 37 Influencia del agua en la superficie en el ensayo de esclerometría.



Fuente: *Testing of Concrete in Structures*. 4ª edición.

Con el ensayo de esclerometría se logra caracterizar el concreto de forma no invasiva. Se deben descartar las lecturas que difieran del promedio de diez lecturas en más de siete unidades, si más de dos lecturas son descartadas, el conjunto de lecturas de ese ensayo debe ser rechazado y éste se debe realizar nuevamente en un área distinta.<sup>237 238</sup>

La energía absorbida por el concreto depende de la relación de tensión-deformación del concreto. Por lo tanto, la energía absorbida está relacionada con la resistencia y la rigidez del hormigón. Un concreto de baja resistencia y baja rigidez absorberá más energía que un concreto de alta resistencia y alta rigidez. Por lo tanto, el

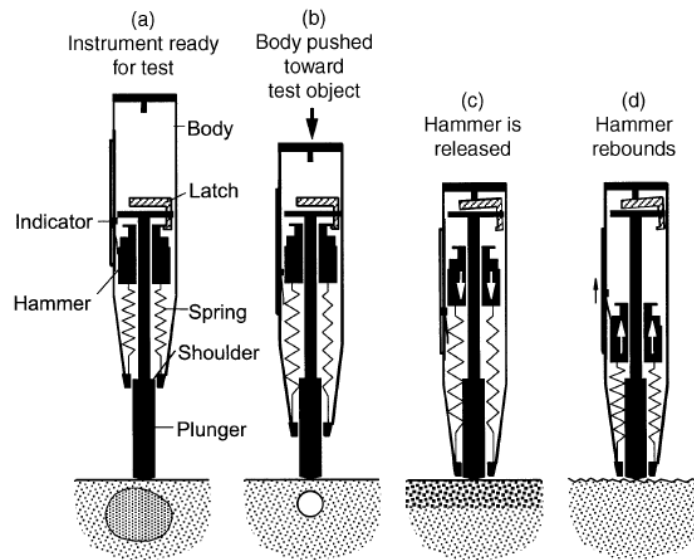
<sup>236</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 2.

<sup>237</sup> British Standards Institution, “12504-2-Non-destructive Testing-Determination of Rebound Number”, p. 5.

<sup>238</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3692-Método de Ensayo Para Medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido”, p. 5.

concreto de baja resistencia dará como resultado un número de rebote más bajo. Debido a que es posible que dos mezclas de concreto tengan la misma resistencia, pero diferentes rigideces, podría haber diferentes números de rebote incluso si las resistencias son iguales.<sup>239</sup> El resultado del ensayo se llama “número de rebote del concreto endurecido” y se representa con un número adimensional.

**Figura 38** Esquema de la operación del martillo de Schmidt.



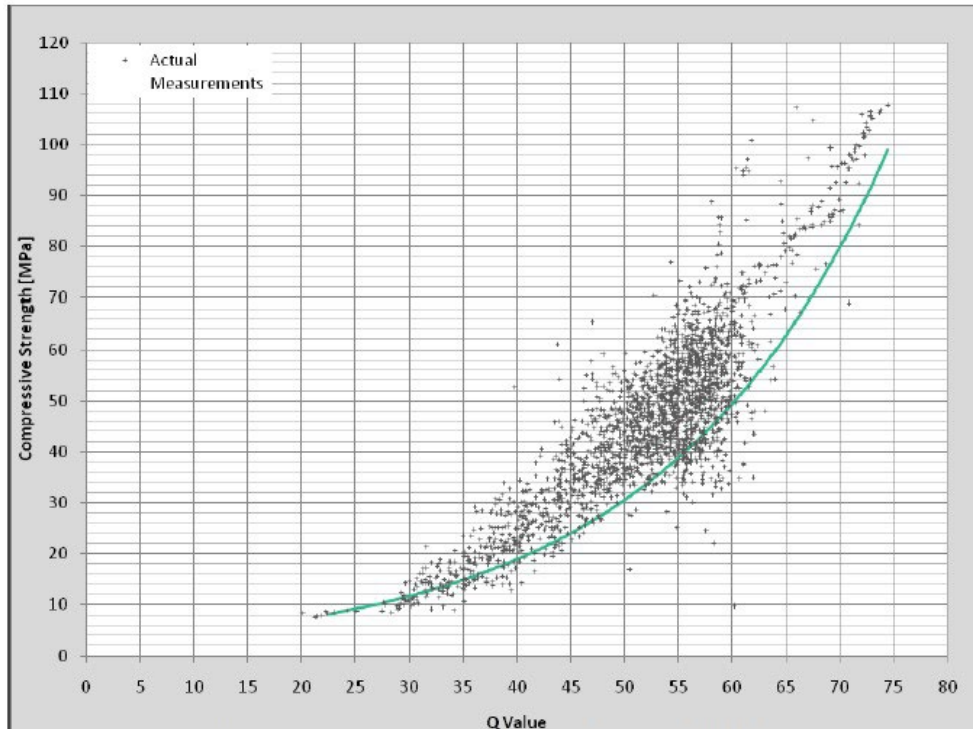
**Fuente:** ACI 228.1R *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*

Una curva típica que describe la relación de este con la resistencia del concreto es mostrada en la Figura 39 y se basa en los resultados de pruebas detalladas llevadas a cabo por el Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales de Berlín, Alemania (BAM) en tres diseños de mezclas que difieren entre sí por la relación agua/cemento.<sup>240</sup>

<sup>239</sup> American Concrete Institute, “228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, p. 5.

<sup>240</sup> Proceq. “Manual de operación SilverSchmidt y Hammerlink” (Suiza, 2016), p. 14.

Figura 39 Relación entre resistencia a la compresión y el número de rebote.



Fuente: Manual Esclerómetro Silver Schmidt.

#### 13.6.6.1 Informe

El informe debe contener la siguiente información para cada área de ensayo:

- Información General:
  - Fecha de Ensayo.
  - Temperatura ambiente y hora de ensayo.
  - Edad del concreto, y
  - Identificación del lugar del ensayo en la estructura de concreto y dimensiones del miembro ensayado,
- Información sobre el concreto:
  - Identificación de la mezcla y tipo de agregado grueso,
  - Resistencia especificada del concreto
- Descripción del área de ensayo:
  - Características de la superficie (superficie alistada con llana de madera, pulida, formaleteada),
  - De ser aplicable, tipo de material de formaleta usado en el área de ensayo,
  - Si la superficie fue pulida y espesor pulido,
  - De ser aplicable, condiciones de curado, y
  - Condiciones de humedad de la superficie (húmeda o seca)

- Información del martillo:
  - identificación del martillo o número de serie, y
  - Fecha de verificación del martillo
- Datos de número de rebote:
  - Nombre del operador,
  - Orientación del martillo durante el ensayo,
  - Cuando se realice el ensayo sobre superficies verticales (muros, columnas, vigas de gran altura), reportar la elevación relativa de la zona de ensayo,
  - Números de rebote individuales
  - Observaciones en cuanto a lecturas descartadas,
  - Número de rebote promedio,
  - Si fuera necesario, el número de rebote corregido para orientación horizontal del instrumento, y
  - De ser aplicable, la descripción de condiciones inusuales que pueden afectar las lecturas del ensayo.

### 13.6.7 Extracción y ensayo de núcleos

Conocer la resistencia del concreto que conforma los diferentes elementos estructurales de las edificaciones y su estado, constituye el objetivo principal de caracterizar los materiales de una edificación. Para esto, se extraen muestras, las cuales se llevan a laboratorio para realizar ensayos de compresión; a esta muestra se le conoce como “núcleo”, una muestra cilíndrica de concreto endurecido obtenida por medio de un taladro extractor de núcleos dispuesto perpendicularmente a una cara del elemento estructural <sup>241</sup>.

El núcleo de concreto debe ser extraído, en lo posible, sin acero de refuerzo, y para esto el taladro se dispone, en el elemento a ensayar, en un lugar donde no se haya encontrado acero de refuerzo durante el escaneo con el pacómetro.

La NTC 3658 (ASTM C42) menciona que cuando el propósito de la extracción de un núcleo sea para medir su resistencia a la compresión, dicha extracción se debe realizar en un punto cercano al punto medio de la porción vaciada de concreto, no obstante, debido a que la distribución de resistencia varía en el concreto de un mismo elemento (ver Figura 40), la investigación realizada por Bungey, Millard y Grantham, y consignada en su libro “*Testing of Concrete in Structures*” sugiere que se deben considerar dos casos, según el alcance del estudio, para la ubicación de la extracción:

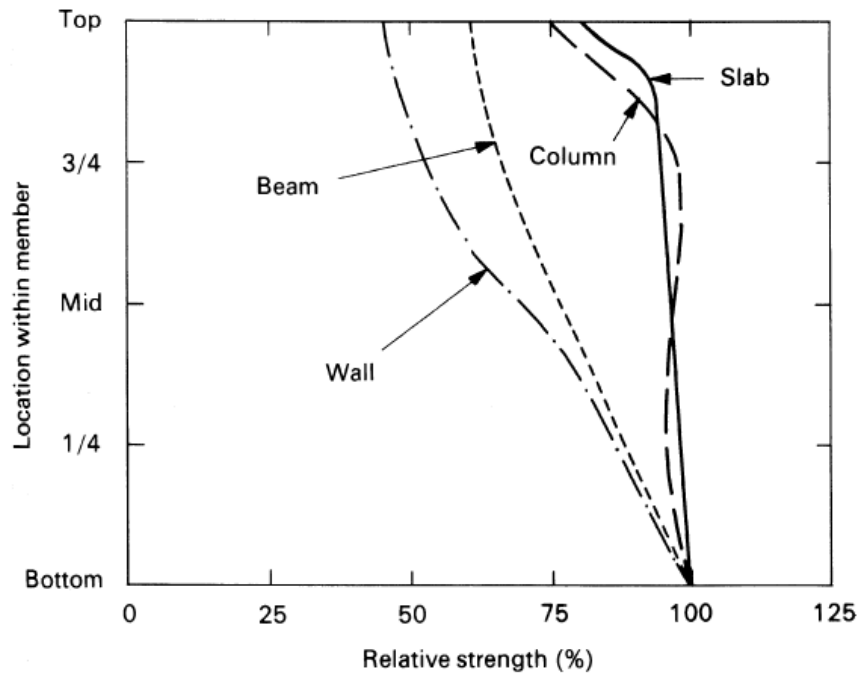
---

<sup>241</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

Cuando el objetivo principal es *la evaluación de la capacidad de servicio*, las pruebas normalmente se deben realizar en puntos de resistencia mínima probable, por ejemplo, para losas simples desde la superficie superior cerca del tramo medio; y para muros, cerca de la parte superior desde cualquier cara. Sin embargo, si el miembro es delgado y el corte del núcleo puede perjudicar el rendimiento futuro, los núcleos deben tomarse lo más cerca posible a puntos no críticos. <sup>242</sup>

Si el objetivo principal es *la determinación del cumplimiento de las especificaciones*, los núcleos deben evitar el concreto no representativo. En muros, se deben tomar horizontalmente al menos 300 mm por debajo de la parte más alta; y en las losas, el núcleo debe ser lo suficientemente largo para atravesar el concreto no representativo que puede ser el 20% superior del espesor. En tales casos, perforar hacia arriba desde el piso inferior, si esto es factible, puede reducir considerablemente la extensión de la perforación, pero la operación puede ser más difícil y puede introducir incertidumbres adicionales relacionadas con los efectos de un posible agrietamiento por tracción. <sup>243</sup>

**Figura 40** Variaciones en la resistencia para concretos normales de acuerdo al tipo de elemento.



Fuente: Testing of Concrete in Structures 4<sup>o</sup> edición

<sup>242</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 18.

<sup>243</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 121.

Existen algunos factores que influyen en la resistencia a la compresión de los núcleos, los cuales se deben tener en cuenta al momento de su falla y procesar sus resultados. Estos factores se tratan a continuación.

- **Diametro**

El diámetro de núcleos extraídos para ensayos de compresión debe ser al menos de 94 mm (3,70 pulg.). De extraerse núcleos con diámetros menores, se debe reportar la razón.

Las resistencias a la compresión de núcleos con diámetros de 50 mm (2 pulg.) son inferiores y más variables que los núcleos de diámetro 100 mm (4 pulg.). El análisis de los datos de resistencia de 1080 núcleos probados por varios investigadores indicó que la resistencia de un núcleo de 2 pulg. (50 mm) de diámetro, en promedio, es un 6% menos que la resistencia de un núcleo de 4 pulg. (100 mm) de diámetro.  
244 245

Según la norma ACI 214,4R a menudo es difícil obtener una muestra de 50 mm (2 pulg.) de diámetro que no se vea afectada por el proceso de perforación o que no tenga un pequeño defecto que afecte notablemente el resultado. Por lo que, si se requieren factores de corrección para convertir la resistencia de los núcleos de 50 mm (2 pulg.) en el equivalente de resistencia de los núcleos de diámetro de 100 o 150 mm (4 o 6 pulg.), el encargado del estudio debe derivarlos directamente utilizando unos cuantos núcleos de cada diámetro obtenidos a partir de la estructura en cuestión.<sup>246</sup>

**Tabla 18 Factores de corrección para especímenes de concreto basado en la relación longitud/diámetro.**

Relación longitud-diámetro (L/D)	Factor de corrección de la resistencia
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Fuente: NTC 3658 Método Para La Obtención Y Ensayo De Núcleos Extraídos Y Vigas De Concreto Aserradas

**Nota:** Es permitida la Interpolación para determinar valores de corrección no dados en la tabla.

<sup>244</sup> Bartlett, F. M. and MacGregor, "Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths" , p. 4.

<sup>245</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results" , p. 7.

<sup>246</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results" , p. 8.



- **Longitud**

La longitud preferida del espécimen refrentado o pulido se encuentra entre 1,9 y 2,1 veces el diámetro. Si se excede esa relación ( $l/d$ ), reduzca la longitud del núcleo, si la relación  $l/d$  es igual o menor a 1,75, la resistencia a la compresión medida requerirá una corrección de acuerdo con la Tabla 18.

- **Acondicionamiento a la humedad**

Según la NTC 3658, después de extraídos los núcleos, se deben secar superficialmente y deje que la humedad restante se evapore. Coloque los núcleos en bolsas plásticas u otro contenedor no absorbente para evitar la pérdida de humedad. Manténgalos así y protegidos de la luz solar hasta el momento de refrentarlos y fallarlos.

El tiempo fuera de la bolsa plástica no debe ser mayor a dos horas.

- **Preparación de las caras**

Según la NTC 3658, las caras del núcleo que se ensaya a compresión deben ser planas, perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del espécimen.

La misma norma denota que si no se cumplen los requisitos de planitud y perpendicularidad, se debe cortar o pulir las bases del espécimen que será refrentado, para que antes del refrentado, cumplan con lo siguiente:

Las protuberancias, si existen, no deben exceder los 5 mm (0,2 pulg.) sobre la superficie de las bases.

Las superficies de las bases no deben desviar su perpendicularidad con el eje longitudinal en una pendiente mayor de  $1:8 d$  donde  $d$  es el diámetro promedio de núcleo en milímetros.

- **Presencia de barras de refuerzo u otras inclusiones**

Se deben evitar fallar las muestras que contengan refuerzo incrustado, ya que este puede influir en su resistencia a la compresión.

La ASTM C42 ha recomendado recortar el núcleo para eliminar el refuerzo, siempre que se pueda mantener una relación longitud/diámetro de al menos 1,0.

Aunque existen datos insuficientes para obtener factores de corrección confiables que se puedan aplicar a la resistencia medida para tener en cuenta el refuerzo incrustado perpendicular al eje del núcleo, estos pueden ser tenidos en cuenta según el juicio del profesional encargado del estudio. No se debe permitir que se

determine la resistencia de un núcleo si una barra de refuerzo u otro objeto incrustado metálico alargado está orientado casi en paralelo al eje del núcleo <sup>247</sup>

Se puede aplicar el siguiente factor de corrección a la resistencia medida para un núcleo que contiene una barra perpendicular a su eje. Se recomienda no tener en cuenta los resultados del núcleo cuando la corrección sea mayor al 10%. <sup>248</sup>

$$\text{Resistencia corregida} = \text{Resistencia medida} * [1.0 + 1.5 \left( \frac{\phi_r}{\phi_c} * \frac{h}{l} \right)]$$

Donde,  $\phi_r$  = diámetro de la barra

$\phi_c$  = diámetro del núcleo

$h$  = distancia del eje de la barra al extremo más cercano del núcleo

$l$  = longitud del núcleo (antes del refrentado)

La expresión puede permitir de forma similar varias barras dentro de un núcleo.

$$\text{Resistencia corregida} = \text{Resistencia medida} * [1.0 + 1.5 \left( \frac{\sum \phi_r * h}{\phi_c * l} \right)]$$

Si el espacio de dos barras es menor que el diámetro de la barra más grande, solo se debe considerar la barra con el valor más alto de  $(\phi_r * h)$ .

- **Dirección de perforación**

Según las normas NTC 3658 y ASTM C42/C42M, “cuando se va a ensayar un núcleo para medir la resistencia del concreto, se debe extraer de forma perpendicular a la superficie”.

La resistencia del núcleo se ve afectada por la dirección de perforación, encontrando mayores resistencias en núcleos tomados en dirección de la colocación y compactación del concreto. Se debe tener en cuenta este factor para la planificación y el análisis de resultados. <sup>249</sup>

Según la ACI 214.4R, la diferencia en la resistencia se debe a la exudación del concreto, que crea bolsas de pasta débiles debajo de las partículas de agregados gruesos que dan como resultado un enlace de pega débil. La Figura 41 muestra

---

<sup>247</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 5.

<sup>248</sup> Bungey, Millard, y Grantham, p. 130.

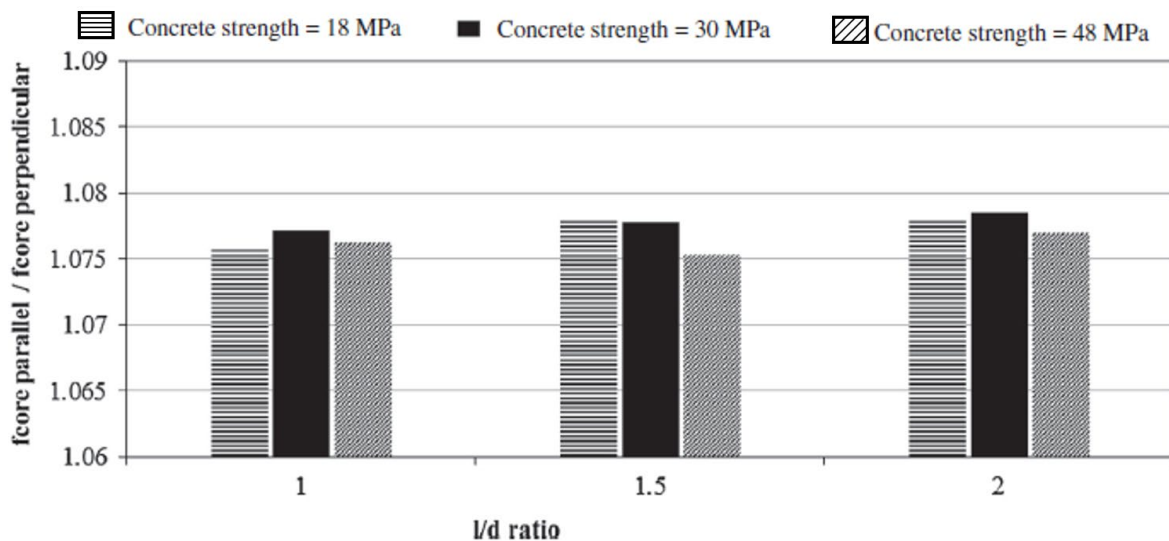
<sup>249</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “3658-Método Para la Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas”, p. 3.

que el efecto de la dirección de extracción no depende de la relación  $l/d$  o la resistencia del concreto.

Con base en esta investigación se puede establecer que el factor de corrección es constante y se puede considerar igual a 1.0 y 1.075 para la extracción de muestras horizontal y vertical, respectivamente.<sup>250</sup>

La norma ACI 214.4R menciona que para determinar si la resistencia en el lugar se ve afectada por la dirección de la perforación, el investigador debe evaluar esto directamente utilizando muestras perforadas en diferentes direcciones de la estructura en cuestión. Por otro lado, las normas BS EN 13791: 2007 y BS EN 12504-1 recomiendan que la resistencia a la compresión de los núcleos no se modifique por la dirección de perforación, mientras que la normatividad colombiana no especifica nada al respecto.

Figura 41 Efecto de la dirección de extracción de núcleos en la resistencia para distintas relaciones de ( $l/d$ ).



Fuente: Reliability of core test- Critical assessment and proposed new approach

- **Refrentado de núcleos**

Refrentar es generar superficies planas en los extremos de los especímenes elaboradas con materiales apropiados para asegurar una correcta distribución de esfuerzos en la aplicación de carga durante el ensayo de compresión. Eso debe hacerse cuando los extremos de los núcleos no satisfagan requisitos de planitud y perpendicularidad.

---

<sup>250</sup> Khoury, Aliabdo, y Ghazy, p. 179.

De no contar con superficies planas en las bases de los núcleos, y de materiales apropiados, no habrá una correcta distribución de esfuerzos en la aplicación de carga en el ensayo de resistencia a la compresión.

El refrentado debe hacerse con pasta de cemento Portland puro, pasta cementante de yeso o mortero de azufre debidamente probados y en capas muy delgadas.

Los procesos de refrentado se describen en la NTC 504.

### 13.6.7.1 Cálculos

Si la relación  $l/d$  del espécimen excede 2,10, se debe reducir la altura del espécimen para que esté dentro de los valores límites de la relación (1,94 a 2,10). Los especímenes con estas relaciones longitud/diámetro no requieren de corrección. Si la relación entre la longitud y el diámetro del espécimen es menor o igual a 1,75, se aplican los factores de corrección mostrados en la Tabla 18, al resultado de resistencia obtenido.

**Tabla 19 Magnitud y precisión de los factores de corrección para convertir las resistencias de núcleos en resistencias equivalentes de cada punto de extracción.**

Factor	Mean value	Coefficient of variation $V$ , %
<i>F<sub>l/d</sub></i> : $l/d$ ratio <sup>†</sup>		
As-received <sup>‡</sup>	$1 - \{0.130 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
Soaked 48 h	$1 - \{0.117 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
Air dried <sup>‡</sup>	$1 - \{0.144 - \alpha_{f_{core}}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
<i>F<sub>dia</sub></i> : core diameter		
50 mm (2 in.)	1.06	11.8
100 mm (4 in.)	1.00	0.0
150 mm (6 in.)	0.98	1.8
<i>F<sub>mc</sub></i> : core moisture content		
As-received <sup>‡</sup>	1.00	2.5
Soaked 48 h	1.09	2.5
Air dried <sup>‡</sup>	0.96	2.5
<i>F<sub>d</sub></i> : damage due to drilling	1.06	2.5

**Fuente: ACI 214.4R Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results**

Se debe calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen usando el área de la sección transversal con base en el diámetro medio del espécimen y afectando dicho valor por los factores de corrección que inciden en la resistencia según los

parámetros nombrados anteriormente para obtener la resistencia equivalente de cada punto de extracción.

La resistencia del concreto en el punto del cual se extrajo del núcleo se puede calcular utilizando la ecuación:

$$f_c = F_{l/d} F_{dia} F_{mc} F_d f_{core}$$

Donde  $f_c$  es la resistencia equivalente de cada punto de extracción;  $f_{core}$  es la resistencia del núcleo; y los factores de corrección  $F_{l/d}$ ,  $F_{dia}$  y  $F_{mc}$  representan los efectos de la relación longitud/diámetro, diámetro y humedad, en el núcleo. El factor  $F_d$  considera el efecto del daño sufrido por el núcleo durante la perforación, incluyendo micro fisuras y ondulaciones en la superficie, y el corte a través de partículas de agregados gruesos que pueden aparecer posteriormente durante la falla <sup>251</sup>.

La Tabla 19 muestra los valores medios de los factores de corrección de resistencia para concreto de peso normal. La columna de la derecha muestra los coeficientes de variación V que indican el coeficiente de variación del promedio. De esto se deduce que un núcleo de 100 mm (4 pulg.) de diámetro, con  $l/d = 2$ , sumergido 48 h antes de la prueba tiene:

$$f_c = 1,0 * 1,0 * 1,09 * 1,06 f_{core} = 1,16 f_{core}$$

#### 13.6.7.2 Informe

Se deben informar los resultados incluyendo la siguiente información:

- Longitud del núcleo una vez extraído con aproximación a 5 mm (1/4 de pulgada).
- Si el diámetro del núcleo es inferior a 94 mm (3,70 pulgadas), exponga la razón para emplear el diámetro inferior.
- Longitud del espécimen de ensayo antes y después del refrentado o preparación final, con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas) y diámetro promedio de núcleo con aproximación a 0,2 mm (0,01 pulgadas) o 1 mm (0,05 pulgadas).
- Resistencia a la compresión con aproximación a 0, 1 MPa (10 psi) cuando se mida el diámetro con aproximación a 0,2 mm (0,01 pulgadas); y con aproximación a 0,5 MPa (50 psi) cuando el diámetro se mida con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas), después de la corrección para la relación longitud-diámetro, cuando se requiera.

---

<sup>251</sup> Bartlett, F. M. and MacGregor, "Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths" , p. 5.

- Dirección de la aplicación de la carga en el espécimen con respecto al plano horizontal en el cual se ha colocado el concreto.
- El historial de acondicionamiento de humedad:
  - Fecha y hora en que se obtuvo el núcleo, se colocó por primera vez en bolsa sellada o contenedor no absorbente.
  - Si se empleó agua durante la preparación final, fecha y hora en que se completó la preparación final y se colocó el núcleo en bolsa sellada o contenedor no absorbente.
- Fecha en que el concreto se colocó, si se conoce.
- La fecha y hora en que se ensaya.
- Tamaño máximo nominal del agregado de concreto.
- Densidad calculada con aproximación a  $20 \text{ kg/m}^3$  (1 libra/pie<sup>3</sup>).
- Ubicación, forma y tamaño del metal incrustado, si la persona que especifica los ensayos permite el ensayo de núcleos con metal incrustado.
- Si es del caso, descripción de defectos en los núcleos que no se pudieron ensayar.
- Si se requirió cualquier desviación de este método de ensayo, se describe la desviación y se explica por qué fue necesaria.

#### 13.6.7.3 Formato de campo

Para mejorar la recolección de información en campo, así como facilitar su tratamiento, se recomienda la implementación de formatos para registrar la información al tiempo que se realizan los ensayos. Estos formatos deben ser fáciles de diligenciar y contar con el espacio suficiente para registrar la información pertinente.

En el anexo 2, se presenta un formato recomendado para la recolección de información en campo, el cual está dividido en seis secciones.

### 13.7 Correlación de ensayos

La gran ventaja de realizar ensayos no destructivos es que, dada su practicidad y relativa sencillez, es posible obtener gran cantidad de resultados sin afectar notablemente a los elementos estructurales de la edificación en estudio. Los resultados de estos ensayos deben ser correlacionados con los obtenidos en la compresión de núcleos de concreto para ser convertidos en resistencia del concreto de una manera confiable.

Para realizar las correlaciones se deben individualizar los puntos de ensayo en los distintos elementos estructurales e inicialmente tener en cuenta únicamente los puntos donde se extrajeron núcleos de concreto, para comparar con su resistencia a la compresión, los ensayos de ultrasonido y número de rebote del concreto

endurecidos realizados en el mismo punto. Para esto, se deben realizar gráficas ( $f'_{(c)}$  vs velocidad de pulso ultrasónico y  $f'_{(c)}$  vs número de rebote), y observar si se establece una relación.

Para lo anterior se realiza una regresión y se observa si la curva generada describe una correlación representativa entre las variables, permitiendo la extrapolación a partir del rango limitado obtenido de los núcleos. Esto hace posible conocer la resistencia estimada de los elementos estructurales donde no se realizó extracción de núcleos.

### **13.8 Cálculo del $f'_c$ equivalente**

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 menciona que, para evaluar la resistencia de una estructura existente, se pueden usar los resultados de los ensayos de núcleos para calcular un  $f'_c$  equivalente. Para el cálculo de este factor el reglamento recomienda el uso de los métodos descritos en la norma ACI 214.4R, los cuales se basan en técnicas de análisis estadístico.

Los procedimientos descritos son adecuados únicamente donde sea necesaria la determinación de un  $f'_c$  equivalente para evaluar la resistencia de una estructura existente y no deben ser usados para investigar resultados bajos de los ensayos de resistencia en construcciones nuevas.<sup>252</sup>

Los métodos tratados en la normatividad ACI, como lo son el Método del factor tolerancia (Hindo y Bergstrom 1988), Método general de tolerancia (Hindo y Bergstrom 1985), Método danés (Bickley 1982), suelen ser demasiado conservadores,<sup>253</sup> por lo que se considera que el método más adecuado es el del *enfoque alternativo* (Bartlett y McGregor, 1995), descrito en la ACI 214.4R y que resulta de la constante investigación y mejora de los métodos anteriores.

#### **Enfoque alternativo para el cálculo del $f'_c$ equivalente.**

En este método, la resistencia de diseño equivalente se estima utilizando un cálculo de dos pasos. En primer lugar, a partir de los datos de la resistencia de los núcleos se estima el límite inferior en la resistencia promedio. Luego se obtiene el percentil 10 de estos datos, que es equivalente a la resistencia especificada.

La estimación del límite inferior de la resistencia promedio  $(\overline{f'_c})_{CL}$  se puede determinar para un nivel de confianza CL deseado mediante la siguiente ecuación,

---

<sup>252</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, capítulo C.20.2.3.

<sup>253</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 8.

$$(\bar{f}_c)_{CL} = \bar{f}_c - \sqrt{\frac{(Ts_c)^2}{n} + (Zs_a)^2}$$

El primer término bajo la raíz cuadrada representa el efecto del tamaño de la muestra sobre la incertidumbre de la resistencia promedio de los núcleos. El factor  $T$  se obtiene de una distribución  $t$  de Student con  $(n - 1)$  grados de libertad <sup>254</sup> que depende del nivel de confianza deseado. El segundo término bajo la raíz cuadrada refleja la incertidumbre atribuible a los factores de corrección de la resistencia y depende de un factor  $Z$  obtenido de la distribución normal estándar para el nivel de confianza deseado. La Tabla 20 y Tabla 21 muestran valores de  $Z$  y  $T$  para los niveles de confianza 75, 90 y 95%, respectivamente. Un nivel de confianza del 90% es conservador para el uso general <sup>255</sup>.

**Tabla 20 Factores Z dependiendo del nivel de confianza.**

Confidence level, %	Z
75	0.67
90	1.28
95	1.64

**Fuente: ACI 214.4R Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results**

La desviación estándar de la resistencia equivalente de cada punto de extracción debido a la afectación de los factores de corrección de resistencia  $S_a$  se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$S_a = \bar{f}_c \sqrt{V_{l/d}^2 + V_{dia}^2 + V_{mc}^2 + V_d^2}$$

La columna de la derecha de la Tabla 19 muestra los valores de los coeficientes de variación  $V_{l/d}$ ,  $V_{dia}$ ,  $V_{mc}$  y  $V_d$ , asociados con los factores de corrección de resistencia. Si las muestras de prueba tienen  $l/d$  diferentes, es apropiado y ligeramente conservador usar el valor  $V_{l/d}$  para el núcleo con la relación  $l/d$  más pequeña.

La resistencia de diseño equivalente se calcula reemplazando  $(\bar{f}_c)_{CL}$  en la siguiente expresión:

$$f'_{c,eq} = C(\bar{f}_c)_{CL}$$

<sup>254</sup> American Concrete Institute, "214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", p. 12.

<sup>255</sup> Bartlett, F. M. and MacGregor, "In-Place Strength of High-Performance Concretes", pp. 52-58.



Asumiendo que las resistencias en el lugar describen una distribución normal, el percentil 10 se obtiene utilizando la constante  $C$  igual a  $(1 - 1,28V_{WS})$  donde  $V_{WS}$  es el coeficiente de variación de las resistencias dentro de una estructura. Por lo tanto, los valores de  $C$  dependen de la cantidad de bachadas, miembros y el tipo de construcción, como se muestra en la Tabla 22.

Un ejemplo de aplicación de este método para calcular la resistencia de diseño equivalente se encuentra en la norma ACI 214.4R, apéndice A4.

Tabla 21 Factores T dependiendo del nivel de confianza.

$n$	Confidence level		
	75%	90%	95%
3	0.82	1.89	2.92
4	0.76	1.64	2.35
5	0.74	1.53	2.13
6	0.73	1.48	2.02
8	0.71	1.41	1.90
10	0.70	1.38	1.83
12	0.70	1.36	1.80
15	0.69	1.34	1.76
18	0.69	1.33	1.74
21	0.69	1.33	1.72
24	0.69	1.32	1.71
30	0.68	1.32	1.70

Fuente: ACI 214.4R Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results

Tabla 22 Factores C para  $f'_c$  equivalente

Structure composed of:	One member	Many members
One batch of concrete	0.91	0.89
Many batches of concrete		
Cast-in-place	0.85	0.83
Precast	0.88	0.87

Fuente: ACI 214.4R Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results

### **13.9 Informe final**

El informe final que arroja la caracterización de materiales para en edificaciones construidas con sistema industrializado de muros de concreto reforzado debe incluir como mínimo:

- Objetivos
- Justificación
- Alcance
- Metodología para la realización del estudio
  - Plan de muestro
- Ensayos realizados
- Resultados de los ensayos
- Correlación entre resistencia a la compresión de los núcleos con los ensayos complementarios
- Conclusiones
- Recomendaciones

El informe final también debe tener anexos los formatos de campo diligenciados durante el estudio y los reportes generados.

## 14. CONCLUSIONES

- Las etapas que comprende un estudio de materiales en edificaciones de concreto endurecido son: visita de reconocimiento, fase de planeación, evaluación preliminar, evaluación detallada, correlación de resultados y resultado final.
- Las actividades que presentaron retrasos en el trabajo realizado para el proyecto de vivienda de interés prioritario *Torres del Parque*, en la ciudad de Tunja, se pueden corregir para futuras investigaciones ampliando los temas provistos en la fase de planeación e implementando formatos adicionales de campo. También se podría contemplar una mejora en la digitalización de la información, por ejemplo, con el uso de aplicaciones web.
- Factores y coeficientes aplicables a los procesos de caracterización establecidos por las distintas entidades responsables de establecer estándares, se tienden a unificar debido a la globalización y fácil acceso a las investigaciones de distintos autores alrededor del mundo.
- Establecer una metodología para caracterización de materiales en estructuras de concreto reforzado optimiza de forma considerable el tiempo invertido por los investigadores en estos estudios, al no tener que buscar y recopilar normatividad disponible para este campo en muchas fuentes distintas y así establecer el mejor proceder.
- Generar documentos y normas de caracterización de materiales de construcción de referencia para Colombia es importante, ya que algunos documentos extranjeros no pueden usarse en nuestra región debido a que tienen en cuenta factores que no aplican a nuestros materiales.
- Existen institutos concebidos para la generación de estándares referentes a construcción y temas conexos al rededor del mundo, como el *British Standard Institution*, *American Concrete Institute*, *American Society for Testing and Materials*, *Concrete Society*, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, *International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures RILEM*, entre otros. Todos ellos brindan información relevante para la caracterización de materiales en estructuras de concreto.
- La creación de formatos de campo y laboratorio para la recolección y reporte de información, aporta a la mejora de procesos generando estándares que desembocan en un mejor manejo y entendimiento de la información.

- Las limitaciones inherentes a cada ensayo deben ser estudiadas y tenidas en cuenta al momento de ejecutarlos e interpretar sus resultados.

## 15.RECOMENDACIONES

- Las normas de referencia para Colombia “Normas Técnicas Colombianas (NTC)” referentes a ingeniería civil y arquitectura, deben ir a la vanguardia con las normas internacionales, ya que muchas se encuentran desactualizadas, aun cuando son solo traducciones.
- Se deben mejorar las traducciones de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) referentes a ingeniería civil y arquitectura, ya que en algunos casos se pierde totalmente el sentido e interpretación de la norma de la que se adapta.
- Se debe fomentar la investigación para la elaboración de normatividad completa para Colombia, ya que muchas de las adaptaciones no son del todo útiles al tener en cuenta solo materiales o condiciones con las que no cuenta nuestro territorio.
- La socialización con los ocupantes de las edificaciones donde se realiza un estudio de la caracterización de materiales (de ser habitadas), es indispensable para su normal desarrollo. Se recomienda que esta socialización se lleve a cabo antes de iniciar los ensayos y se repita las veces sea necesario para enterar a la mayor cantidad de interesados posible.
- Se recomienda que trabajos futuros verifiquen los coeficientes de corrección reales para Colombia aplicables a núcleos dependiendo de la relación longitud/diámetro, diámetro, humedad y daño del núcleo durante la extracción, con el fin de aplicar adecuadamente estos valores en el cálculo de la resistencia equivalente para cada punto de extracción, y la resistencia de diseño equivalente para una estructura de concreto reforzado.
- Automatizar los procesos y fases de un estudio de caracterización de materiales podría disminuir de forma considerable las pérdidas de tiempo, la fuga de información y mejorar la trazabilidad. Se recomienda que futuros trabajos enfoquen sus objetivos a la generación de programas informáticos o aplicaciones con este fin.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute, '214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results' (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003)
- , '214.4R-Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results', 2003
- , '228.1R-In-Place Methods to Estimate Concrete Strength', *ACI Committee Reports* (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003)
- , '228.2R-Nondestructive Test Methods for Evaluation Concrete in Structures' (Farmington Hills, Estados Unidos, 1998) <<https://doi.org/10.1002/9781118745977.ch8>>
- , '364.4T-TechNote: Determining the Load Capacity of a Structure When As-Built Drawings Are Unavailable' (Farmington Hills, Estados Unidos: ACI, 2010)
- , '437-Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings' (Farmington Hills, Estados Unidos, 2003)
- American Society for Testing and Materials, 'C109-Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [ 50-Mm ] Cube Specimens)', 2016 <<https://doi.org/10.1520/C0109>>
- , 'C174-Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores', 2017 <<https://doi.org/10.1520/C0174>>
- , 'C39-Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens', *American Society for Testing and Materials*, 2018 <<https://doi.org/10.1520/C0039>>
- , 'C42-Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete' (West Conshohocken, Pennsylvania, 2018) <<https://doi.org/10.1520/C0042>>
- , 'C597-Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete' (West Conshohocken, Pennsylvania, 2016) <<https://doi.org/10.1520/C0597-16.2>>
- , 'C617-Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens' (West Conshohocken, Pennsylvania, 2015) <<https://doi.org/10.1520/C0617>>
- , 'C823-Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions' (West Conshohocken, Pennsylvania, 2017) <<https://doi.org/10.1520/C0823>>
- American Society of Civil Engineers, *41-17-Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (Reston, Virginia, 2017) <<https://doi.org/10.1061/9780784414859>>

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 'Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente-NSR-10' (Bogotá D. C.: AIS, 2017)
- Bartlett, F. M. and MacGregor, J. G., 'Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths' (ACI Materials Journal, V. 91, No. 5, 1994), pp. 460–70
- , 'In-Place Strength of High-Performance Concretes' (High Strength Concrete: An International Perspective, 1996), pp. 211–28
- Bloem, D. L., 'Concrete Strength Measurements— Cores versus Cylinders' (Proceedings, V. 65, ASTM International, 1965), pp. 668–96
- British Standards Institution, '12504-2-Non-Destructive Testing-Determination of Rebound Number' (Londres, Reino Unido: BSI, 2001), pp. 1–7
- , '12504-4-Determination of Ultrasonic Pulse Velocity' (Londres, Reino Unido: BSI, 2004)
- , '1881-201-Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete' (Londres, Reino Unido: BSI, 1986), pp. 1–12
- , '6089-Assessment of in-Situ Compressive Strength in Structures and Precast Concrete Components' (Londres, Reino Unido: BSI, 2018), pp. 1–3
- , 'EN 12504-1-Cored Specimens-Taking, Examining and Testing in Compresion' (Londres, Reino Unido: BSI, 2000), p. 7
- Bungey, John H, Stephen G Millard, and Michael G Grantham, *Testing of Concrete in Structures*, 4th edn (Abingdon, Oxon: Taylor & Francis, 2006)
- Comité Européen de Normalisation, 'EN 13791 Assessment of In-Situ Compressive Strength in Structures and Precast Concrete Components' (Bruselas, 2007), p. 30
- F. Mayagoitia, F. Ochoa Rojas, 'Construcción de Vivienda Con Sistemas Industrializados de Muros En Concreto' (Bogotá D. C.: ASOCRETO, 2010), p. 109
- Feliu, S, and C Andrade, 'Manual Inspección de Obras Dañadas Por Corrosión de Armaduras' (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, 1989), p. 96
- García López, J. D., F. Stand Villareal, A. Gómez Cabrera, and F. A. Núñez Moreno, 'Comparación de Los Principales Sistemas Constructivos de VIS En Colombia, Desde Una Perspectiva de Sostenibilidad, Empleando BIM: Caso de Estudio En Soacha.' (Bogotá D. C.: Universidad de los Andes, 2016), pp. 567–77
- ICONTEC, 'NTC 220 - Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico Usado Cubos de 50 Mm o 50,8 Mm de Lado.', *Norma Técnica Colombiana*, 2004

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, '220-Determinación de La Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico a La Compresión Usando Cubos de 50 Mm o 2 Pulg. de Lado.' (Bogotá D. C., 2017)
- , '3658-Método Para La Obtención y Ensayo de Núcleos Extraídos y Vigas de Concreto Aserradas' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2018) <<http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>>
- , '3692-Método de Ensayo Para Medir El Número de Rebote Del Concreto Endurecido' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2018)
- , '3693-Práctica Para La Inspección Y Muestreo En Construcciones De Concreto Endurecido' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1995)
- , '4325-Método de Ensayo Para La Determinación de La Velocidad Del Pulso Ultrasónico a Través Del Concreto' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1997)
- , '504-Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 1995)
- , '5551-Concretos. Durabilidad de Estructuras de Concreto' (Bogotá D. C.: ICONTEC, 2007), p. 4
- , '673-Ensayo de Resistencia a La Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto', *Norma Técnica Colombiana NTC 673* (Bogotá D. C., 2010)
- International Atomic Energy Agency, 'Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures' (Vienna, Austria, 2002)
- Khoury, Shafik, Ali Abdel Hakam Aliabdo, and Ahmed Ghazy, 'Reliability of Core Test - Critical Assessment and Proposed New Approach', *Alexandria Engineering Journal*, 53 (2014), 169–84 <<https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.12.005>>
- Lewis, R. K., 'Effect of Core Diameter on the Observed Strength of Concrete Cores' (Melbourne: CSIRO Division of Building Research, 1976), p. 13
- Lilian, N, Ferreira Hirschi, S Enrique, and A Ariel, 'Avances En La Normalizacion de La Resistencia a La Carbonatacion de Estructuras de Hormigon Armado', 2011
- Malhotra, V, and Nicholas Carino, 'Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition', *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition*, 2010 <<https://doi.org/10.1201/9781420040050>>
- Maynard, D.P, and S.G Davis, 'The Strength of In-Situ Concrete', *Structural Engineer*, 10 (1974), 369–74
- Neville, A. M., 'Properties of Concrete, Third Edition' (Londres, Reino Unido: Pitman Publishing Ltd., 1981), p. 779



- Popovics, S., 'Effect of Curing Method and Final Moisture Condition on Compressive Strength of Concrete' (ACI JOURNAL, Proceedings V. 83, No. 4, 1986), pp. 650–57
- Proceq, 'Manual de Operación SilverSchmidt y Hammerlink' (Suiza, 2016), p. 14
- Rodríguez, Jesús, J Aragoncillo, C Andrade, and D Izquierdo, 'Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas Por Corrosión de La Armadura' (CONTECVET-IN 309021, 2001)
- Sánchez de G., Diego, 'Durabilidad y Patología Del Concreto' (Bogotá D. C.: ASOCRETO, 2011), p. 182
- Society, Concrete, 'Concrete Core Testing for Strength' (Londres, Reino Unido: Technical Report No. 11, 1987), p. 44
- Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures, International, 'CPC-18 Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth', *Materials and Structures*, 2006, 53–55 <<https://doi.org/10.1007/bf02472327>>
- Yip, W. K., and C. T. Tam, 'Concrete Strength Evaluation through the Use of Small Diameter Cores' (Magazine of Concrete Research, V. 40, No. 143, 1988), pp. 99–105

## **16.ANEXOS**

## **ANEXO 1. LISTA DE CHEQUEO INFORMACIÓN PRELIMINAR**

En el encabezado del formato, se debe indicar el número y objeto del contrato, la persona (natural o jurídica) que contrata el estudio, el supervisor del proyecto, en caso de ser contrato público dicho supervisor puede ser la interventoría o el correspondiente secretario de gobierno.

Se debe registrar la fecha en que se diligencia el formato y la normatividad vigente para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes para el momento en que se diseñó la estructura bajo estudio.

En el espacio destinado al chequeo de la información se encuentran tres columnas principales; en la primera está la información sugerida a tener en cuenta durante la fase de planeación, en la segunda se consigna la disponibilidad de la información descrita por tres posibilidades: N. D., que se refiere a “información no disponible”, D. I., “información disponible e insuficiente”, y D. U., “Información disponible y útil”.

En la tercera columna, “observaciones”, se sugiere registrar la fuente de la que se obtuvo la información, o en el caso en que el concreto utilizado en construcción haya sido premezclado, se recomienda aclarar esto frente a las casillas dispuestas para los de los insumos de este, o cualquier otro dato que se considere relevante.

Al final del formato se encuentra el espacio para quién registró la información y quién la revisó.

CONTRATO No.  
CONTRATANTE:  
INTERVENTOR:  
OBJETO:

**LISTA DE CHEQUEO INFORMACIÓN EXISTENTE**

INF PRE  
V1

Fecha: \_\_\_\_\_ Normativa vigente al momento del diseño: \_\_\_\_\_

TIPO DE INFORMACIÓN	DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN			OBSERVACIONES
	N. D.	D. I.	D. U.	
PLANO ARQUITECTÓNICO				
PLANOS HIDROSANITARIOS				
PLANO ELÉCTRICO				
MEMORIAS DE CÁLCULO DISEÑO ESTRUCTURAL				
BITÁCORA DE OBRA				
REPORTES DE ENSAYO A CILINDROS TESTIGO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN				
FUENTE AGREGADO GRUESO				
ADITIVOS USADOS EN EL CONCRETO				
FUENTE AGREGADO FINO				
DISTRIBUIDOR DE CEMENTO				
INFORMES DE CONTRATISTA DE OBRA				
INFORMES DE INTERVENTORÍA				
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN				
NÚMERO TELEFÓNICO DE TODOS LOS PROPIETARIOS				
CONTACTO DE LOS CONSTRUCTORES				

\* N. D. = No Disponible  
D. I. = Disponible Insuficiente  
D. U. = Disponible y Útil

Elaboró: \_\_\_\_\_

Revisó: \_\_\_\_\_

## ANEXO 2. FORMATO PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

Como mejora a la actividad de recolección de información en campo, a continuación, se presenta un formato recomendado para la recolección de información en campo, el cual está dividido en seis secciones, que se deben diligenciar de la siguiente manera:

En el encabezado del documento, se debe indicar el objeto del contrato, la persona (natural o jurídica) que contrata el estudio, y el supervisor del proyecto, en caso de ser contrato público, dicho supervisor puede ser la interventoría o el correspondiente secretario de gobierno.

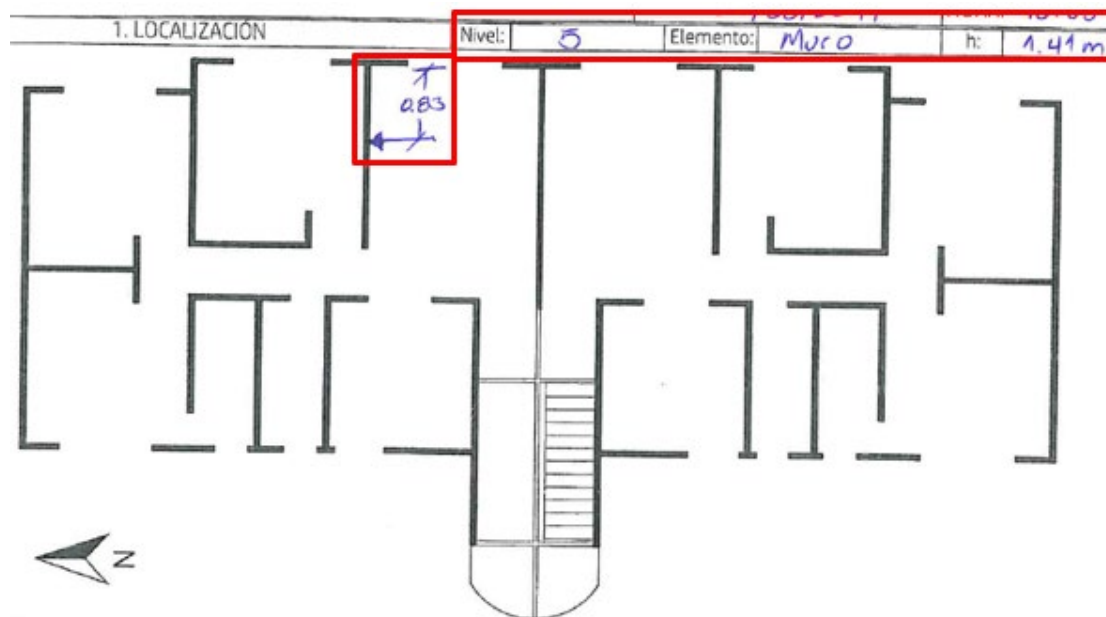
Como se recomendó anteriormente, cada punto de realización de ensayos debe estar debidamente identificado, esta información debe registrarse en el espacio "identificación".

Registrar la fecha y hora de visita inicial al punto, e inicio de la toma de datos.

### 1. LOCALIZACIÓN

En este apartado se debe ubicar el punto a ensayar de la manera más clara y precisa posible, para lo cual, en el espacio en blanco, se debe realizar un boceto en planta de la edificación en estudio, o sección de esta, y marcar el elemento donde se realizan los ensayos, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42 Ejemplo de localización en planta de la edificación objeto de estudio.



Fuente: Propia

También se debe registrar aquí la altura a la que se realizan los ensayos, el nivel (de ser una edificación de más de un piso), y el elemento ensayado.

## 2. DETECCIÓN DE REFUERZO

En esta sección se debe registrar la fecha y hora de la realización del ensayo y el equipo empleado. Se presenta un esquema de la posible distribución del acero de refuerzo del elemento (muro/losa), en el cual se debe registrar el recubrimiento de cada barra en los extremos, además de un espacio adicional, para agregar algún esquema extra que se considere pertinente. En esta sección también se deben registrar el espaciamiento (e) y diámetro ( $\Phi$ ) del refuerzo.

## 3. NÚMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO

En esta sección se debe registrar la fecha y hora de la realización del ensayo y el equipo empleado. En los espacios frente al “Q medido” se deben registrar los diez datos obtenidos por medio del Martillo de Schmidt.

Algunos equipos cuentan con una memoria interna en la cual se almacenan los datos tomados, si este fuera el caso, en el formato debe registrarse el nombre de almacenamiento del archivo correspondiente al ensayo.

## 4. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO

En esta sección se debe tomar nota de la hora y fecha del ensayo y el equipo empleado. Se debe registrar el espesor del elemento a ensayar (L), y el tiempo (T) que tarda el pulso ultrasónico en viajar de transductor emisor a receptor a través de la sección.

Algunos equipos cuentan con una memoria interna en la cual se almacenan los datos tomados, si este fuera el caso, en el formato debe registrarse el nombre de almacenamiento del archivo correspondiente al ensayo.

## 5. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS

En este apartado se marca si se extraen núcleos en el punto. En caso de requerir una anotación adicional, se puede hacer en “observaciones”.

## 6. PROFUNDIDAD DEL FRENTE DE CARBONATACIÓN

En este punto se deben registrar 3 mediciones de profundidad del frente de carbonatación, incluyendo la mayor.

En el espacio dispuesto para observaciones se debe consignar toda la información que el encargado de los ensayos considere necesario y que no se haya registrado antes en el formato.

CONTRATO										
CONTRATANTE:										
INTERVENTOR:										
OBJETO:										
<b>TOMA DE DATOS: ENSAYOS DE CAMPO</b>								TD EDC V1.1		
IDENTIFICACIÓN:					FECHA:			HORA:		
1. LOCALIZACIÓN				Nivel:	Elemento:		h:	m		
2. DETECCIÓN DE REFUERZO				Equipo:	Fecha:			Hora:		
1	2			Esquema adicional:			e <sub>1</sub> =	cm		
<table border="1" style="width:100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> </tr> </table>								e <sub>2</sub> =	cm	
										
			Ø <sub>1</sub> =							
Ø <sub>2</sub> =										
3. NÚMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO (NTC 3692)				Equipo:	Fecha:			Hora:		
				Q medido						
4. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO (NTC 4325)				Equipo:	Fecha:			Hora:		
				Nombre Almacenamiento:			L =	cm	T =	µs
5. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS (NTC 3658)			SI	NO	6. PROFUNDIDAD DEL FRENTE DE CARBONATACIÓN:				mm	
OBSERVACIONES:										
_____										
_____										
_____										

Elaboró: \_\_\_\_\_

Revisó: \_\_\_\_\_

### **ANEXO 3. FORMATO DE AUTORIZACIÓN INGRESO Y REPARACIONES**

El formato mostrado a continuación se debe diligenciar de la siguiente manera:

En el encabezado se debe incluir información acerca del proyecto a desarrollar, como el número del contrato a ejecutar y su objeto, así como la entidad o persona natural que contrata el estudio y quien está encargado de la interventoría.

Se debe registrar el bloque y el apartamento que se va a intervenir con el nombre de su propietario o responsable, además de la identificación del punto de ensayo ubicado en este apartamento.

Mas abajo se encuentra un paralelo, la información de la izquierda del formato se debe diligenciar el día de la intervención, y la parte derecha el día que se realicen las reparaciones.

El día de la intervención se deberá registrar la fecha y los ensayos que se realizan en el lugar. Existe un espacio para observaciones y comentarios, se podrá incluir información como el compromiso de realizar las reparaciones y una nota donde los responsables de los ensayos no se responsabilizan por reparaciones hechas por terceros. Este espacio debe estar firmado por quien realiza las pruebas y el responsable del inmueble.

Cuando se realicen las reparaciones también se debe registrar la fecha y reparaciones realizadas, acompañado de un registro fotográfico donde se podrá comparar el punto de ensayo antes y después de realizar reparaciones. Como la fecha en que el responsable recibe a conformidad puede ser distinta a la fecha en que se realizan las reparaciones (por ejemplo, porque el secado tarda más de un día), se deja espacio para registrar la fecha de recibo final y para la firma del encargado de aprobar las reparaciones.



FORMATO AUTORIZACION ACCESO PARA TOMA DE DATOS, EJECUCION DE ENSAYOS Y DE REPARACIONES

CONTRATO No. \_\_\_\_\_

OBJETO DEL CONTRATO

ENTIDAD CONTRATANTE:

INTERVENTORIA:

BLOQUE:

PROPIETARIO O

RESPONSABLE :

FECHA INTERVENCIÓN:

INTERVENCIÓNES A REALIZAR:

El suscrito propietario o responsable a cargo del apartamento en consideración, acepta se realicen los ensayos relacionados a continuación:

ESCARIFICACIÓN

EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS

CARBONATACIÓN

OBSERVACIONES

1. Compromiso de reparaciones

2. Reparaciones de terceros

COMENTARIOS:

FIRMA ENCARGADO DE LOS ENSAYOS

FIRMA PROPIETARIO AUTORIZACIÓN

EJECUCIÓN INTERVENCIÓNES

APARTAMENTO:

IDENTIFICACIÓN:

FECHA REPARACIÓN:

REPARACIONES REALIZADAS

REGISTRO FOTOGRÁFICO REPARACIÓN

ANTES

DESPUES

FECHA RECIBIDO:

FIRMA PROPIETARIO RECIBE A

SATISFACCIÓN



#### **ANEXO 4. GENERADOR DE REPORTES NÚCLEOS**

Para la generación de los reportes se debe ingresar en la hoja «DATOS» la siguiente información:

<ID> IDENTIFICACIÓN MUESTRA: Nombre asignado a la muestra al momento de la extracción.

<LC> LOCALIZACIÓN: Descripción del lugar en el que se extrajo la muestra.

<TE> TIPO DE ELEMENTO: Especificación del tipo de elemento en el que se extrajo la muestra.

<Q>  $Q_{prom}$  (esclerometría): Resultado del ensayo de esclerometría, ejecutado en la misma ubicación de extracción de la muestra.

<X> (carbonatación) [mm]: Profundidad del frente de carbonatación, medida en la misma ubicación de extracción de la muestra.

<FT> Fecha de toma de la muestra.

<HT> Hora de toma de la muestra.

<FE> Fecha de ejecución del ensayo.

<HE> Hora de ejecución del ensayo.

<EC> Edad del concreto [años]: Si se conoce la fecha de construcción de la edificación, indicar la edad del concreto bajo análisis.

<HA>, <HB>, <HC>: Alturas medidas en el núcleo de concreto, en milímetros.

<DA>, <DB>, <DC>: Diámetros medidos en el núcleo de concreto, en milímetros.

<W> Peso de la muestra, en gramos.

<TF> Tipo de falla observada en la muestra al finalizar el ensayo.

<FP> Nombre de la foto tomada a la muestra antes de la realización del ensayo.

<FF> Nombre de la foto tomada a la muestra al finalizar el ensayo.

<TXT> Nombre del archivo de texto generado por la máquina universal al finalizar el ensayo.

Al ingresar los datos, teniendo especial cuidado con las unidades, se calculan los siguientes resultados:

<EDT> Edad desde la toma de la muestra, en días.

<HPROM> Altura promedio de la muestra, en milímetros.

<DPROM> Diámetro promedio de la muestra, en milímetros.

<HD> Relación de aspecto (l/d).

<FCA> Factor de corrección por relación de aspecto.

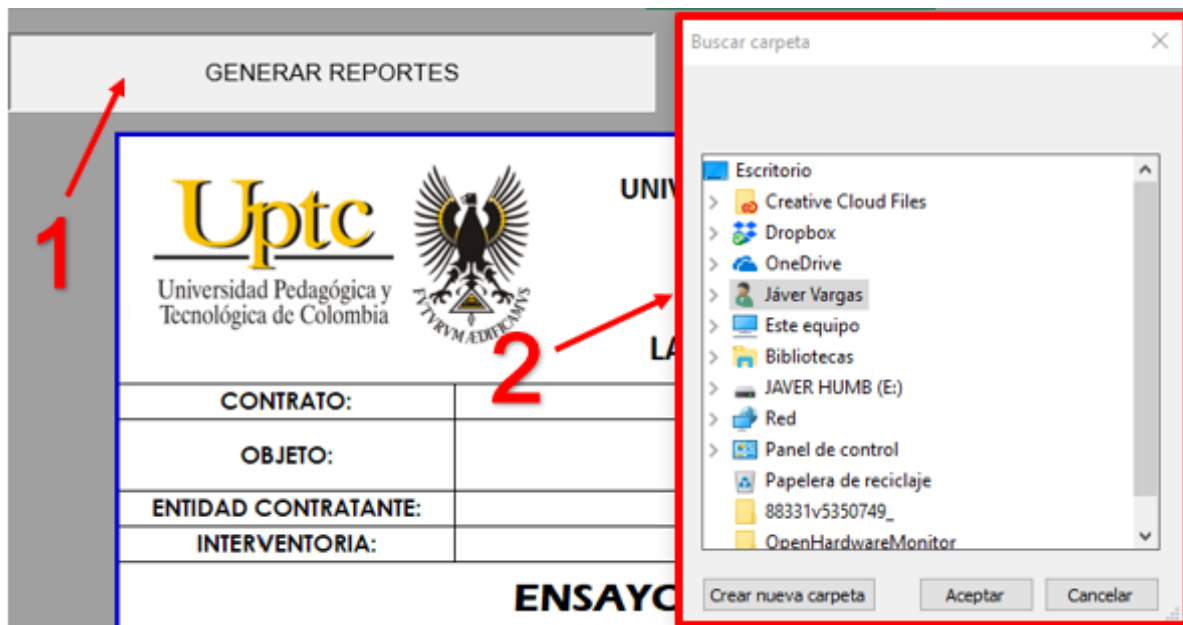
<AT> Área transversal de la muestra, en milímetros cuadrados.

<V> Volumen de la muestra, en centímetros cuadrados.

<RO> Densidad del concreto, en kilogramos por metro cúbico.

En la carpeta que contiene a la hoja de cálculo, deben existir dos carpetas con los nombres «BLOC» y «FOTOS» en las que deben guardarse los documentos de texto que genera la máquina universal, y las fotografías de la muestra tomadas antes y después de la ejecución del ensayo. Se recomienda usar el nombre de la muestra como nombre del archivo de texto y tener presente si se usaron guiones o espacios, ya que debe existir una coincidencia exacta para el correcto funcionamiento del archivo.

Figura 43 Generación de reportes del ensayo de compresión.



Fuente: propia

Posteriormente en la hoja «PLANTILLA» se debe dar clic en el botón «GENERAR REPORTES» ubicado en la esquina superior izquierda de la hoja. Al dar clic se abrirá una ventana con el nombre «Buscar carpeta» en la cual se debe seleccionar la ruta en la que se desea almacenar los reportes generados, por último, se da clic en aceptar y se espera mientras los reportes son generados. Como lo muestra la Figura 43

La hoja de cálculo carga y ajusta las fotografías de la muestra, genera la curva esfuerzo vs deformación unitaria de la muestra ensayada, y carga todos los datos anteriormente mencionados en cada reporte, generando un archivo pdf por ensayo.

### **CÓDIGO GENERADOR DE REPORTES Y FORMATO DEL REPORTE**

```
Sub GENERAR_REPORTES()  
Dim i As Double  
Dim ruta As String  
Application.ScreenUpdating = False  
'ACTIVAR LIBRO  
ThisWorkbook.Activate  
Sheets(2).Name = "GENERAR"  
'SELECCIONAR HOJA "GENERAR"  
Sheets("GENERAR").Select  
'CONTAR NÚMERO DE CASOS  
FIN = Application.CountA(Sheets("DATOS").Range("A:A"))  
'ELEGIR CARPETA PARA GUARDAR ARCHIVOS  
On Error Resume Next  
    With CreateObject("shell.application")  
        ruta = .browseforfolder(0, Titulo, 0).Items.Item.Path  
    End With: On Error GoTo 0  
'SI NO SE ESCOGE LA CARPETA, LA MACRO SE DETIENE  
    If ruta = Empty Then  
        MsgBox "Selecciona la carpeta de destino, pulsa de nuevo el botón generar",  
vbExclamation  
        Exit Sub  
    End If  
'INICIAR FOR  
    For i = 2 To FIN  
'CREAR VARIABLES PARA CADA DATO A INCORPORAR EN LA HOJA  
"GENERAR"  
        ID = Sheets("DATOS").Cells(i, 1)  
        LC = Sheets("DATOS").Cells(i, 5)  
        TE = Sheets("DATOS").Cells(i, 6)  
        Q = Sheets("DATOS").Cells(i, 7)
```

```

X = Sheets("DATOS").Cells(i, 8)
FT = Sheets("DATOS").Cells(i, 9)
HT = Sheets("DATOS").Cells(i, 10)
FE = Sheets("DATOS").Cells(i, 11)
HE = Sheets("DATOS").Cells(i, 12)
EC = Sheets("DATOS").Cells(i, 13)
EDT = Sheets("DATOS").Cells(i, 14)
HA = Sheets("DATOS").Cells(i, 15)
HB = Sheets("DATOS").Cells(i, 16)
HC = Sheets("DATOS").Cells(i, 17)
HPROM = Sheets("DATOS").Cells(i, 18)
DA = Sheets("DATOS").Cells(i, 19)
Db = Sheets("DATOS").Cells(i, 20)
DC = Sheets("DATOS").Cells(i, 21)
DD = Sheets("DATOS").Cells(i, 22)
DE = Sheets("DATOS").Cells(i, 23)
DF = Sheets("DATOS").Cells(i, 24)
DPROM = Sheets("DATOS").Cells(i, 25)
HD = Sheets("DATOS").Cells(i, 26)
FCA = Sheets("DATOS").Cells(i, 27)
AT = Sheets("DATOS").Cells(i, 28)
V = Sheets("DATOS").Cells(i, 29)
W = Sheets("DATOS").Cells(i, 30)
RO = Sheets("DATOS").Cells(i, 31)
P = Sheets("DATOS").Cells(i, 32)
FC0 = Sheets("DATOS").Cells(i, 33)
FC = Sheets("DATOS").Cells(i, 34)
E = Sheets("DATOS").Cells(i, 35)
TF = Sheets("DATOS").Cells(i, 36)
FP = Sheets("DATOS").Cells(i, 37)
FF = Sheets("DATOS").Cells(i, 38)
TXT = Sheets("DATOS").Cells(i, 39)
'CARGAR TXT DE ENSAYO A COMPRESIÓN
  Sheets("Datos.txt").Select
  Range("A1").Select
    With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
      "TEXT;" & ActiveWorkbook.Path & "\BLOC\" & TXT & ".txt" _
      , Destination:=Range("$A$1"))
      .FieldNames = True
      .RowNumbers = False
      .FillAdjacentFormulas = False

```

```

.PreserveFormatting = True
.RefreshOnFileOpen = False
.RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 932
.TextFileStartRow = 1
.TextFileParseType = xlDelimited
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With
'SELECCIONAR DATOS A GRAFICAR
'CONTAR CUANTOS DATOS HAY PARA GRAFICAR
  FIL = Application.CountA(Sheets("Datos.txt").Range("A:A")) - 15
'SELECCIONAR DATOS PARA GRAFICAR
  Sheets("Tabla-Grafico").Select
  ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
  ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(2, 1),
Cells(FIL, 1))
  ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = ActiveSheet.Range(Cells(2, 2),
Cells(FIL, 2))
'ASIGNAR NOMBRE A LA GRÁFICA
  Range("M1").Value = TXT
'LLAMAR MACRO ACTUALIZA
Call ACTUALIZA
'COPIAR GRAFICO
  E = Sheets("Tabla-Grafico").Cells(1, 7)
  Sheets("Tabla-Grafico").Select
  ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
  ActiveChart.ChartArea.Copy
  Sheets("GENERAR").Select

```

```

Range("D42").Select
ActiveSheet.Paste
'DAR NOMBRE A LA HOJA ACTIVA, QUE ES GENERAR
ActiveSheet.Name = Sheets("DATOS").Cells(i, 1)
With ActiveSheet
'REEMPLAZAR DATOS EN LOS MARCADORES
Cells.Replace What:="<ID>", Replacement:=ID, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<LC>", Replacement:=LC, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<TE>", Replacement:=TE, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<Q>", Replacement:=Q, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<X>", Replacement:=X, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<FT>", Replacement:=FT, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HT>", Replacement:=HT, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<FE>", Replacement:=FE, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HE>", Replacement:=HE, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<EC>", Replacement:=EC, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<EDT>", Replacement:=EDT, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HA>", Replacement:=HA, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HB>", Replacement:=HB, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HC>", Replacement:=HC, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<HPROM>", Replacement:=HPROM, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<DA>", Replacement:=DA, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows
Cells.Replace What:="<DB>", Replacement:=Db, LookAt:=xlPart,
SearchOrder:=xlByRows

```

Cells.Replace What:="<DC>", Replacement:=DC, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<DD>", Replacement:=DD, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<DE>", Replacement:=DE, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<DF>", Replacement:=DF, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<DPROM>", Replacement:=DPROM, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<HD>", Replacement:=HD, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<FCA>", Replacement:=FCA, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<AT>", Replacement:=AT, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<V>", Replacement:=V, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<W>", Replacement:=W, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<RO>", Replacement:=RO, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<P>", Replacement:=P, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<FC0>", Replacement:=FC0, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<FC>", Replacement:=FC, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<E>", Replacement:=E, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<TF>", Replacement:=TF, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 Cells.Replace What:="<E>", Replacement:=E, LookAt:=xlPart,  
 SearchOrder:=xlByRows  
 'INSERTAR IMAGENES  
 Range("Z26").Select  
 ActiveSheet.Pictures.Insert(ActiveWorkbook.Path & "\FOTOS\" & FP &  
 ".jpg").Select  
 With Selection  
 .Placement = xlMoveAndSize  
 .PrintObject = True



```

End With
    Selection.ShapeRange.LockAspectRatio = msoFalse
    'modificar las siguientes medidas para ajustar el tamaño de la foto
    Selection.ShapeRange.Height = 162#
    Selection.ShapeRange.Width = 247#
    Selection.ShapeRange.Rotation = 0#
Range("AC53").Select
ActiveSheet.Pictures.Insert(ActiveWorkbook.Path & "\FOTOS\" & FF & ".jpg").Select
With Selection
.Placement = xlMoveAndSize
.PrintObject = True
End With
    Selection.ShapeRange.LockAspectRatio = msoFalse
    'modificar las siguientes medidas para ajustar el tamaño de la foto
    Selection.ShapeRange.Height = 196#
    Selection.ShapeRange.Width = 267#
    Selection.ShapeRange.Rotation = 0#
End With
'PUBLICAR EN PDF, SIN PROPIEDADES EN EL DOCUMENTO Y SIN ABRIR
CADA VEZ QUE SE GENERA UN PDF
ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, Filename:= _
ruta & "\" & ActiveSheet.Name, Quality:=xlQualityStandard, _
IncludeDocProperties:=False, IgnorePrintAreas:=False, OpenAfterPublish:=False
'NOMBRAR LA HOJA 2 COMO GENERAR, DE NUEVO
Sheets(2).Name = "GENERAR"
'Limpiamos contenidos en hoja "GENERAR"
Sheets("GENERAR").Select
Columns("B:AR").ClearContents
'Eliminamos imagenes en la hoja Generar
    For Each Shape In Sheets("GENERAR").Shapes
        Shape.Delete
    Next
'LIMPIAR DATOS DE TXT FALLA
    Sheets("Datos.txt").Select
    Cells.Select
    Selection.QueryTable.Delete
    Selection.ClearContents
'QUEDAR EN LA HOJA PLANTILLA AL FINAL
    Sheets("PLANTILLA").Select
    Next
End Sub

```

```
Sub ACTUALIZA()  
Dim Shape As Excel.Shape  
'Limpiamos contenidos en hoja "GENERAR"  
Sheets("GENERAR").Select  
Columns("B:AR").ClearContents  
'Eliminamos imagenes en la hoja Generar  
For Each Shape In Sheets("GENERAR").Shapes  
Shape.Delete  
Next  
'Copiamos la plantilla base desde la hoja "PLANTILLA" a "GENERAR"  
'Seleccionamos el rango de FILAS hasta donde tenemos texto o un rango superior  
Sheets("PLANTILLA").Select  
Rows("2:81").Select  
Selection.Copy  
Sheets("GENERAR").Select  
Rows("2:81").Select  
ActiveSheet.Paste  
End Sub
```

CONTRATO:

OBJETO:

ENTIDAD CONTRATANTE:

INTERVENTORIA:

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

NORMAS TÉCNICAS DE REFERENCIA:

NTC 3658 & NTC 673 (2ª actualización)

MÁQUINA DE ENSAYO:

SHIMADZU UH-500kNI

C. CALIBRACIÓN:

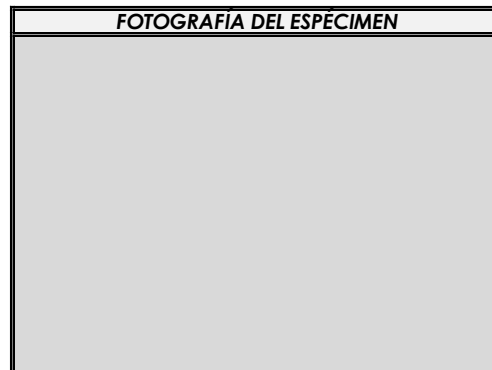
IDENTIFICACIÓN MUESTRA:	<ID>
LOCALIZACIÓN:	<LC>
TIPO DE ELEMENTO:	<TE>

TIPO DE PROBETA	TOMA	ENSAYO
Q <sub>prom</sub> (esclerometría):	<Q>	Fecha: <FE>
X (carbonatación) [mm]:	<X>	Hora: <HE>
Edad del concreto [años]:	<EC>	Edad desde la toma: <EDT> días

### PROPIEDADES DEL ESPÉCIMEN

Alturas [mm]	a: <HA>	b: <HB>	c: <HC>
Altura Promedio :	<HPROM> mm		
Diámetro (mm)	a: <DA>	b: <DB>	c: <DC>
	d: <DD>	e: <DE>	f: <DF>
Diámetro Promedio	<DPROM> mm		
Relación altura/diámetro:	<HD>		
Factor de corrección aspecto:	<FCA>		
Área Transversal :	<AT>	mm <sup>2</sup>	
Volumen :	<V>	cm <sup>3</sup>	
Peso :	<W>	g	
Densidad :	<RO>	kg/m <sup>3</sup>	

### FOTOGRAFÍA DEL ESPÉCIMEN



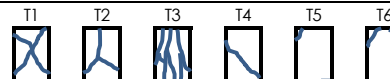
### RESULTADOS OBTENIDOS

CURVA ESFUERZO ( $\sigma$ ) [MPa] vs DEFORMACIÓN UNITARIA ( $\epsilon$ ) [mm/mm]

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Carga máxima:	<P>	kN
Esfuerzo máximo:	<FC0>	MPa
Esfuerzo máximo corregido (aspecto):	<FC>	MPa
Deformación Unitaria (punto máx) :	<E>	m/m

Tipo de Fractura: <TF>



FOTOGRAFÍA DESPUÉS DE LA FALLA

**Observaciones generales** (Examine el concreto fracturado y anote la presencia de vacíos, nivel de porosidad, segregación, adherencia agregado - pasta, partículas sueltas o desmoronamiento)