

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA
INDEPENDIENTE**

Tema:

**"ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y
SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE
RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO,
PROVINCIA DE TUNGURAHUA"**

AUTOR: EDGAR ISRAEL SALINAS NÚÑEZ
TUTOR: PATRICIO M. VASCO L., ING.CIVIL

Ambato
2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que la presente tesis de grado realizada por el señor Edgar Israel Salinas Núñez egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito y ha sido concluido bajo el tema: "***ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA***"

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

.....
PATRICIO M. VASCO L., ING.CIVIL
TUTOR

AUTORÍA

Yo Edgar Israel Salinas Núñez, C.I. 180381455-5 egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema:

"ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

es de mi completa autoría.

.....
Edgar Israel Salinas Núñez

AUTOR

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: "**ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**", del egresado Edgar Israel Salinas Núñez, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Mayo del 2015

Para constancia firman.

.....
Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes
PROFESOR CALIFICADOR

.....
Ing. Mg. Juan Garcés
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico de todo corazón a mi linda esposa Lorena Chango e hijos Dennis Salinas y Darling Salinas, a mis padres Abraham Salinas y Blanca Núñez, a mis segundos padres Juan Chango y Victoria Chango quienes son las personas más importantes en mi vida. Su apoyo y amor incondicional siempre velando para que no me falte nada y sobre todo culmine mis estudios con éxito.

AGRADECIMIENTO

Muchas gracias Dios por haberme dado salud y vida para poder conseguir esta meta y sobre todo gracias a mi **padre** que con sus bendiciones desde el cielo me ha protegido de todas esas adversidades que se presentaron, gracias por tener conmigo a mi madre para darles esta inmensa alegría de que gracias a ellos estoy donde estoy.

Gracias especiales a mi linda esposa Lorena y a mis preciosos hijos Dennis y Darling quienes estuvieron conmigo en momentos claves de mi vida estudiantil y personal.

"Gracias Papá, Gracias Mamá, Gracias familia, Gracias Suegros sus sacrificios y apoyo incondicional para que culmine este ciclo y llegue a ser un profesional, les estoy eternamente agradecido y espero que algún día pueda llegar a ser al menos la mitad de tan buenas personas que son ustedes, los amo".

Gracias al Ing. Mario Ipiales por su asesoramiento y sobre todo paciencia, por compartir sus conocimientos técnicos de manera desinteresada.

Gracias a PATRICIO M. VASCO L., ING.CIVIL por su comprensión, amabilidad y conocimientos compartidos en la tutoría.

Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

A PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xii
CAPITULO I.....	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.2. Análisis Crítico.....	14
1.2.3. LA PROGNOSIS.....	14
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES.....	15
1.2.6 DELIMITACION DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	15
1.2.6.1 De Contenido.....	15
1.2.6.2 Espacial.....	15
1.2.6.3 Temporal.....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4 OBJETIVOS.....	18
1.4.1 Objetivo General:.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	18
CAPITULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	19

2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSOFICA	20
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	20
2.3.1	Propiedades del hormigón	20
2.3.2	Resistencia a la compresión y flexión	22
2.3.3	Toma de muestras de Hormigón.....	24
2.3.4	Curado de muestras de Hormigón.	24
2.3.5	Durabilidad del Hormigón.....	25
2.4	CATEGORIAS FUNDAMENTALES:	25
2.4.1	SUPRAORDINACION DE LAS VARIABLES:.....	26
2.4.2	DEFINICIONES	27
2.5	HIPOTESIS:.....	68
2.6	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES:	68
2.6.1	Variable Independiente	68
2.6.2	Variable Dependiente:	69
	CAPITULO III.....	70
	METODOLOGIA.....	70
3.1	ENFOQUE.....	70
3.2	MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACION.....	70
3.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN:.....	71
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	71
3.5	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	72
3.6.1	Técnicas Indirectas	75
3.6.2	Técnicas Directas	75
3.6.2.1	La Observación.....	75
3.6.2.2	La Encuesta.....	75
3.7	PROCESAMIENTO Y ANALISIS	76
3.7.1	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	76
	CAPITULO IV	81
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
4.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	81
4.1.1	ENSAYOS REALIZADOS	81
4.1.1.1	AGREGADO GRUESO	
4.1.1.2	AGREGADO FINO..	81

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS	92
4.2.1 AGREGADOS PARA DISEÑAR HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA.....	92
4.2.1.1 DISEÑO DE HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA	93
4.2.2 AGREGADOS PARA DISEÑAR PAVIMENTO RIGIDO	94
4.2.1.1 DISEÑO DE HORMIGON PAVIMENTO RIGIDO	95
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	95
CAPÍTULO V	102
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES	103
CAPÍTULO VI	104
PROPUESTA	104
6.1 DATOS INFORMATIVOS	104
6.1.1 CANTERA EL SALVADOR	104
6.1.2 PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ALVARADO	105
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	105
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	111
6.4 OBJETIVOS	111
6.4.1 OBJETIVO GENERAL	111
6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	112
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	112
6.6 FUNDAMENTACIÓN	113
6.7. – METODOLOGÍA	113
6.8. ADMINISTRACIÓN.....	117
6.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA ...	117
C.- MATERIALES DE REFERENCIA.....	117
BIBLIOGRAFIA.....	117
1 BIBLIOGRAFICA	117
2 ANEXOS	119
2.2 ANEXO DE RESULTADOS	128

2.2.2 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS DE EDAD.....	129
2.2.3 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD DEL H.A.R.....	130
2.2.4 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD DEL PAVIMENTO RIGIDO.....	131
2.2.5 ENSAYO A FLEXION	132
2.2.6 ENSAYO A TRACCION INDIRECTA (BRASILERO)	133
2.3 NORMAS EMPLEADAS	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto.....	12
Figura 1.2 Esquema del comportamiento de pavimentos.....	13
Figura 1.3. Ubicación General de la Provincia de Tungurahua	16
Figura 1.4. División Política de la Provincia de Tungurahua.	16
Figura 2.5. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	29
Figura 2.6. PAVIMENTO RÍGIDO.....	32
Figura 2.7. Corte transversal de una losa, mostrando el ancho de una grieta	40
Figura 2.8. Vista en planta grieta de esquina.	40
Figura 2.9. Características de las grietas longitudinales.	41
Figura 2.10. Vista en planta grietas transversales.....	41
Figura 2.11. Vista en planta grietas extremos de los pasadores.	42
Figura 2.12. Características de las grietas en bloque	42
Figura 2.13. Características de las grietas en pozos de inspección.	43
Figura 2.14. Separación de juntas longitudinales.....	43
Figura 2.15. Detalle separación de juntas longitudinales.	44
Figura 2.16. Deterioro del sello.	44
Figura 2.17. Desportillamiento.	45
Figura 2.18. Descascaramiento superficial.	45
Figura 2.19. Desintegración.....	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en el agregado grueso (por peso).	56
Tabla 2.- Requisitos para la clasificación de agregados gruesos.	57
Tabla 3.- Sustancias nocivas que limitan las propiedades del hormigón. ...	58
Tabla 4.- Agregado fino para hormigón.....	58
Tabla 5.- Propiedades de los agregados que influyen en el hormigón.	61
Tabla 6.- Ensayos de caracterización de agregado fino.....	62
Tabla 7.- Ensayos de caracterización de agregado grueso.....	63
Tabla 3.8: Operacionalización de la Variable Independiente.....	72
Tabla 3.9: Operacionalización de la Variable Dependiente	73
Tabla 3.10: plan de recolección de la información	74
Tabla 4.11. <i>Agregado Grueso Planta de Trituración Alvarado</i>	92
Tabla 4.12. <i>Agregado fino Cantera el Salvador Aguajan</i>	93
Tabla 4.13. <i>Agregado Grueso Planta de Trituración Alvarado</i>	94
Tabla 4.14. <i>Agregado fino Cantera el Salvador Aguajan</i>	94

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Los múltiples problemas y patologías (fisuras, desprendimientos, sellos de juntas desprendidos, falta de textura, entre otros) que se han presentado en la capa de rodadura de los pavimentos rígidos de la ciudad, en algunos casos de forma muy prematura, me han motivado a realizar el presente trabajo investigativo, buscando alternativas en el proceso constructivo que disminuyan o eliminen estos efectos, contribuyendo a mantener la vida útil de la estructura para la cual fue diseñado.

En general la investigación realizó un análisis del diseño del pavimento Rígido que en la actualidad se está especificando en las vías de la ciudad de Ambato y un diseño de hormigón de Alta Resistencia propuesto, para los dos casos utilizamos agregados propios de la zona.

Este trabajo detalla el diseño de hormigón para pavimento rígido $f'c = 35$ Mpa y el diseño del hormigón de alta resistencia propuesto para un $f'c = 70$ Mpa, los mismos que son sometidos a varios ensayos para comparar su comportamiento. Entre los ensayos realizados tenemos: compresión simple, flexión, tracción indirecta método Brasileño y abrasión.

Todos estos ensayos se realizaron conforme a las diferentes normas ACI, INEN y ASTM.

Con los resultados obtenidos a de estos ensayos evaluamos y calificamos el comportamiento del hormigón del pavimento rígido y el hormigón de

alta resistencia para su implementación en las vías de la ciudad de Ambato.

Del análisis anterior podemos concluir que *no es adecuado* reemplaza la capa de rodadura por un hormigón de alta resistencia, pese a que el comportamiento del pavimento rígido y un hormigón de alta resistencia es el mismo tanto a flexión como al desgaste y abrasión siendo estos los parámetros fundamentales que están sometidos los pavimentos rígidos.

Sin embargo el uso de altas cantidades de cemento y aditivos especiales para su fabricación, hacen que el costo por metro cúbico sea mayor al propuesto en pavimentos rígidos.

Este trabajo permitió llegar a una resistencia a la compresión de 70 Mpa a los 28 días de edad calificándolo como hormigón de alta resistencia con los agregados de la ciudad de Ambato.

Con estos antecedentes se propone el diseño de un hormigón tipo fast track (para realizar reparaciones y poner en uso la vía lo más pronto posible) en general de los resultados realizados podemos deducir que conseguiremos resistencias superiores a 28 Mpa a 72 horas, luego de la fundición, sin disminuir la calidad y comportamiento en cuanto a flexión y resistencia al desgaste.

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN.

“ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.

“El Acuerdo Ministerial 001 de 12 de Enero de 2001, define como Red Vial Estatal a todas las vías administradas por el MTOP, como única entidad responsable del manejo y control.

Define además, que esta red está integrada por corredores arteriales de alta jerarquía y por vías colectoras de mediana jerarquía. Que constituyen la malla estratégica y esencial del país, la misma que debe ser continua en toda su longitud.

La Red Vial Nacional es el conjunto total de las carreteras, existentes en el territorio ecuatoriano, y se clasifica según su jurisdicción en: Red Vial Estatal, Red Vial Provincial y Red Vial Cantonal.

Cuando se trate de conexiones directas de nuevas vías con la red vial estatal, todo organismo público o privado que así lo requiera, debe solicitar primero al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) un

análisis técnico de ser factible; y la autorización correspondiente será emitida por el MTOP, para cuyo efecto se anexarán planos y recomendaciones sobre la geometría y el equipamiento de seguridad vial de la(s) intersección(es).

Las vías de comunicación son las arterias vitales de una nación y por tanto deben cumplir con una serie de condiciones para satisfacer las necesidades de una sociedad:

- a) Resistencia suficiente para soportar el tráfico programado.
- b) Garantizar el uso en condiciones de confort y seguridad: con buena visibilidad, sin distorsiones en su superficie, adherencia suficiente para garantizar la maniobrabilidad y frenado.
- c) El estado requiere que las vías sean además durables y económicas, que minimicen los gastos de mantenimiento y con la mayor vida útil posible.”¹

La modernización nos obliga a mantener igual progreso en las facilidades de transportarse de un lugar a otro; por lo tanto la construcción de caminos o vías es de mucha importancia para el intercambio comercial de la provincia, y para poder tener mejor acceso a lugares que en muchas ocasiones carecen de servicios básicos, para desarrollarse cultural y económicamente.

En la actualidad las autoridades competentes piensan en proyectos de desarrollo con enfoque territorial, lo cual está asociado a indicadores de ingreso o consumo, y las condiciones de vida de la población.

El fin es contribuir a mejorar estos Proyectos Integrados y de Desarrollo Local, con otros que buscan optimizar tecnologías de procesos, desplegando diversos métodos para la construcción de autopistas de

¹ <http://www.arqhys.com/contenidos/vial-proyecto.html>

pavimento rígido para mejorar la comunicación y el flujo vehicular.

Se puede identificar el efecto deplorable que está ocasionando los cambios climáticos a la red vial del cantón, lo que provoca el encarecimiento de los costos del transporte y mantenimiento.

“La elección del tipo de pavimento, entre las varias opciones que existen, está condicionada por una serie de situaciones y variables que deben ser tomadas en cuenta para que la elección sea válida y conlleve a la aceptación de todos los involucrados. Uno de los factores más importantes es, como es usual, el económico: la inversión inicial, los gastos de mantenimiento, la disponibilidad de los recursos, etc. Otros son las consideraciones técnicas, la existencia y disponibilidad de los materiales que se deben emplear para cada una de las alternativas, equipos, personal especializado, mano de obra calificada consideraciones ambientales etc.

La importancia de un buen proceso constructivo, con materiales calificados en las vías se traduce en:

- Bajo costo anual
- Alta capacidad
- Más seguridad
- Buena apariencia
- Fácil construcción
- Diseño Probado
- Poco mantenimiento
- Comportamiento ideal

Costo anual

Los pavimentos rígidos (Hormigón) tienen el costo anual más bajo entre todas las alternativas de pavimentación que existen.

El costo anual se obtiene al dividir, los costos de construcción más los de mantenimiento, por la vida útil del pavimento.

Costos de construcción

Erróneamente se cree que los costos de construcción de los pavimentos de hormigón, comparados con los de otras alternativas, son más altos. Pero la verdad es que si se comparan los costos iniciales de dos pavimentos, con capacidades para soportar cargas similares, las diferencias son mínimas, y si éstas llegan a ser grandes es porque la comparación se está haciendo entre alternativas mal concebidas.

Evaluando los costos directos de construcción, de alternativas equivalentes de pavimentos, se encuentra que en presencia de suelos buenos (alta capacidad de soporte) el costo inicial del pavimento de concreto puede ser desde un 5% más barato para tránsitos altos; mientras que para suelos malos el pavimento de concreto siempre será más económico, entre un 10% y 33%, para tránsitos bajos y altos respectivamente.

Costo de mantenimiento

El continuo mantenimiento que se le debe dar a las carreteras construidas deficientemente, demuestra la necesidad de hacer carreteras que duren tanto como las edificaciones que las circundan.

Cuando los presupuestos dedicados a las obras públicas son devorados

por el mantenimiento a las carreteras en forma de parcheos, sello y repavimentación, la utilización del pavimento de concreto se convierte en la mejor alternativa debido a las garantías que ofrece en cuanto a durabilidad y solidez.

Los pavimentos de hormigón son más económicos por año de servicio, su mantenimiento es sencillo y no necesitan sobrecapasturinas.²

“El hormigón es una piedra artificial formada al mezclar apropiadamente cuatro componentes básicos: cemento, arena, grava y agua.

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado.

Para conseguir propiedades especiales del hormigón (mejor trabajabilidad, mayor resistencia, baja densidad, etc.), se pueden añadir otros componentes como aditivos químicos, microsílíce, limallas de hierro, etc., o se pueden reemplazar sus componentes básicos por componentes con características especiales como agregados livianos, agregados pesados, cementos de fraguado lento, etc.

El hormigón ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Al igual que las piedras naturales no deterioradas, el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente

² Manual de pavimento Rígido – Autor Ing. Raúl Camaniero.

frágil y débil a solicitaciones de tracción.”³

“Los concretos utilizados en el Ecuador, con propósitos estructurales, son especificados generalmente en el rango de 180 a 210 kg/cm², alcanzando eventualmente resistencias de 280 a 350 kg/cm². Estos últimos se consideran en nuestro medio como concretos de alta resistencia.

En la última década, en los países de alto grado de desarrollo, se ha iniciado la construcción de edificaciones con concretos entre los niveles de 500 y 1,000 kg/cm².

Sin embargo, la evolución ha sido lenta. En los EE.UU. en los años 50, se consideraban como concretos de alta resistencia los de 350 kg/cm². En la década del 60, los niveles fueron de 420 a 525 kg/cm². En la década del 70 se fabricaban concretos del orden de los 630 kg/cm². Recientemente se alcanzan los 1,000 kg/cm², en elementos prefabricados y pretensados del concreto.

La primera construcción en concreto de alta resistencia se realizó hace aproximadamente 30 años, por la Waterways Experimental Station de la U.S.A. Army Force, en unos silos subterráneos para las Fuerzas Aéreas; dicho concreto tenía una resistencia de 700 kg/cm².

Los constructores han podido realizar economías de varias centenas de millones de dólares sobre el costo de la construcción utilizando concretos de alta resistencia, especialmente en los primeros pisos de los edificios.

Las edificaciones de concreto de alta resistencia se han desarrollado también en muchas ciudades de los Estados Unidos como: Seattle,

³ Publiespe.espe.edu.ec//Fundamentos del hormigón.

Dalias, Houston y Miami.

El concreto de alta resistencia también está vinculado a una alta durabilidad. La durabilidad es la capacidad del hormigón para resistir una acción a la intemperie, y un ataque químico, manteniendo sus propiedades de ingeniería.

Características del Concreto de Alta Resistencia

Básicamente, los concretos de alta resistencia se producen controlando los siguientes parámetros:

- Morteros de la más alta resistencia posible.
- Maximizar adherencia entre el agregado grueso y el mortero.
- Seleccionar los agregados con la más alta resistencia posible.

El diseño de los concretos de alta resistencia se caracteriza por altos contenidos de cemento, entre 400 a 600 kilos por cada m³, la utilización de puzolanas, escorias y especialmente humo de sílice y relaciones a/c el orden del 0.3.

Las arenas, generalmente gruesas, de un módulo de fineza de 3 a 3.2. Los agregados gruesos, muy resistentes, de tamaño máximo de 1/2 a 1 pulgada.”⁴

“Los procesos de diseño, producción y aplicación de concretos de alta resistencia son diferentes a los de los concretos convencionales: la exigencia máxima se da no solo en el diseño de la mezcla y su elaboración en planta, sino en su manejo en obra. La sincronización es clave para lograr máximos desempeños.

Producir concretos de alta resistencia exige un cuidado especial. La

⁴ Boletín Técnico “Concreto de Alta Resistencia”

diferencia respecto a los concretos que comúnmente se producen, radica en las altas cantidades de cemento, que generan mezclas cohesivas, pesadas y que desarrollan un alto calor de hidratación.

Entre las consideraciones más importantes al momento de la producción de este tipo de mezclas, se encuentra la inclusión del aditivo superplastificante, pues dependiendo del momento de su descarga, se puede generar tanto el efecto reductor de agua que se busca, como el efecto adverso.

Cuando el aditivo toma uno de los papeles más importantes dentro del desempeño de la mezcla, se deben tener claras las consideraciones para que el aditivo cumpla con el objetivo que se planteó en el diseño.

El orden de ingreso de los materiales al camión mezclador es igual de importante al control continuo que se debe realizar con la humedad de los agregados: un mal manejo puede poner en riesgo el desempeño del diseño en estado fresco, provocando una pérdida de manejabilidad significativa por la falta de uniformidad en la mezcla.

Es importante que las plantas donde se produzcan estos concretos, se encuentren cerca de la obra en donde se van a implementar; el ciclo de carga y entrega tiene que ser corto, teniendo en cuenta las características de las mezclas. En ocasiones podrían considerarse prácticas delicadas, como dejar parte del agua de diseño o superplastificante para ser colocado en obra, esto debido a que es inevitable en algunos casos que las mezclas pierdan manejabilidad significativamente de acuerdo a las condiciones de distancia, temperatura ambiente, entre otros.

No todas las mezcladoras están en capacidad de transportar concretos de esta clase, y aquellas que tienen la capacidad no pueden parar el mezclado, pues debido al peso, podrían volcarse.

Aplicación de concretos de alta resistencia

Aunque la preparación y el transporte de la mezcla son fundamentales para la consecución de concretos de alta resistencia, existen factores determinantes en la colocación que pueden afectar las resistencias finales que se buscan.

Para que el concreto desarrolle las características que inicialmente se obtuvieron en las mezclas de prueba, es necesario que el proceso de colocación sea rápido, es decir que el colocado, el vibrado y el acabado estén completamente sincronizados para lograr el menor tiempo posible en el proceso.

En la obra se debe contar con un personal numeroso para el manejo de este concreto, ya que además de vibrado exige un manejo simultáneo en las diferentes áreas donde sea dispuesto.

Siempre debe tenerse presente que para estos tipos de concreto el tiempo es crucial, ya que al ser dispuesto, y después de un tiempo de vibrado, la mezcla pierde manejabilidad y requiere un mayor esfuerzo para ser colocado.

Por otro lado, aunque los concretos de alta resistencia tienen las condiciones para ser bombeados, ya que cuentan con el asentamiento, viscosidad y tamaño máximo necesarios para facilitar su manejo, una vez iniciado el bombeo, este no se puede detener, ya que podría generar atascamientos al reiniciarse. Como cabe la posibilidad de que fallen los equipos de colocación, hay que contar con otros equipos que permitan que el proceso continúe sin pausas.

La colocación del concreto tendrá que ser lo más cercana a donde se encuentra la mezcladora, previniendo que se alarguen los tiempos

después de llegado el concreto a diferentes obras. Como este concreto es por naturaleza viscoso (característica que aumenta con el tiempo), no debe permanecer tiempos largos en los aditamentos que sean utilizados en obra para el transporte.

La consideración final después de todos los procesos mencionados anteriormente es el curado. Este proceso es crucial y debe llevarse a cabo de forma obligatoria, debido a la necesidad de llegar a la resistencia de diseño.

Dadas las relaciones agua/cemento utilizadas para estos diseños, la mezcla puede llegar a no tener el grado de hidratación necesario; este inconveniente no solo afecta el proceso de hidratación del cemento, sino también el proceso siguiente depende de la reacción del cemento con el agua, el cual es el efecto secundario de las puzolanas con el hidróxido de calcio.

Debe asegurarse entonces que el curado se realice con agua, para así entregar el último grado de hidratación que el diseño requiera, además de mantener las temperaturas controladas.⁵

Durabilidad

“Las estructuras de concreto simple o reforzado, generalmente son diseñadas construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad, y de seguridad durante un cierto periodo de tiempo, sin que se generen costos inesperados por mantenimiento o reparación.

Este periodo de tiempo constituye la vida prevista o vida proyectada en

⁵<http://blog.360gradosenconcreto.com/recomendaciones-para-la-produccion-y-aplicacion-de-concretos-de-alta-resistencia/>

servicio. Normalmente, para edificaciones convencionales este periodo de tiempo puede ser de 50 años. Sin embargo, para obras de infraestructura, algunas recomendaciones estipulan hasta 100 años o más.

Lo anterior, no implica necesariamente que al cumplirse el periodo de vida en servicio, la estructura deba ser demolida; sino que el costo de su mantenimiento para garantizar las condiciones originales hacia el futuro, es probable que se incremente por encima del que se considera apropiado durante la vida prevista en proyecto. Por ello, al cabo de la vida de servicio debe estudiarse si el futuro costo de mantenimiento está razonablemente justificado (técnica y económicamente), o si es más apropiado demoler y reconstruir la estructura.

La durabilidad del concreto hidráulico puede definirse como su capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, de los ataques químicos o biológicos, de la abrasión y/o de cualquier otro proceso de deterioro.

Sobre este particular, afortunadamente el ACI 318S-08 capítulo 4 contempla una guía para la durabilidad del concreto. De tal manera, que las acciones del medio ambiente y las condiciones de exposición de una estructura se deben considerar como factores de diseño y construcción de las estructuras.

Considerando el modelo de la figura 1.1., como factores determinantes de la durabilidad de una estructura de concreto están: el diseño y el cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo); los materiales empleados (concreto, acero y productos de protección); las practicas constructivas (calificación de la mano de obra y control de calidad); y, los procedimientos de protección y curado (condiciones de humedad y de temperatura).⁶

⁶ Diego Sánchez de Guzmán(Durabilidad y Patología del Concreto)

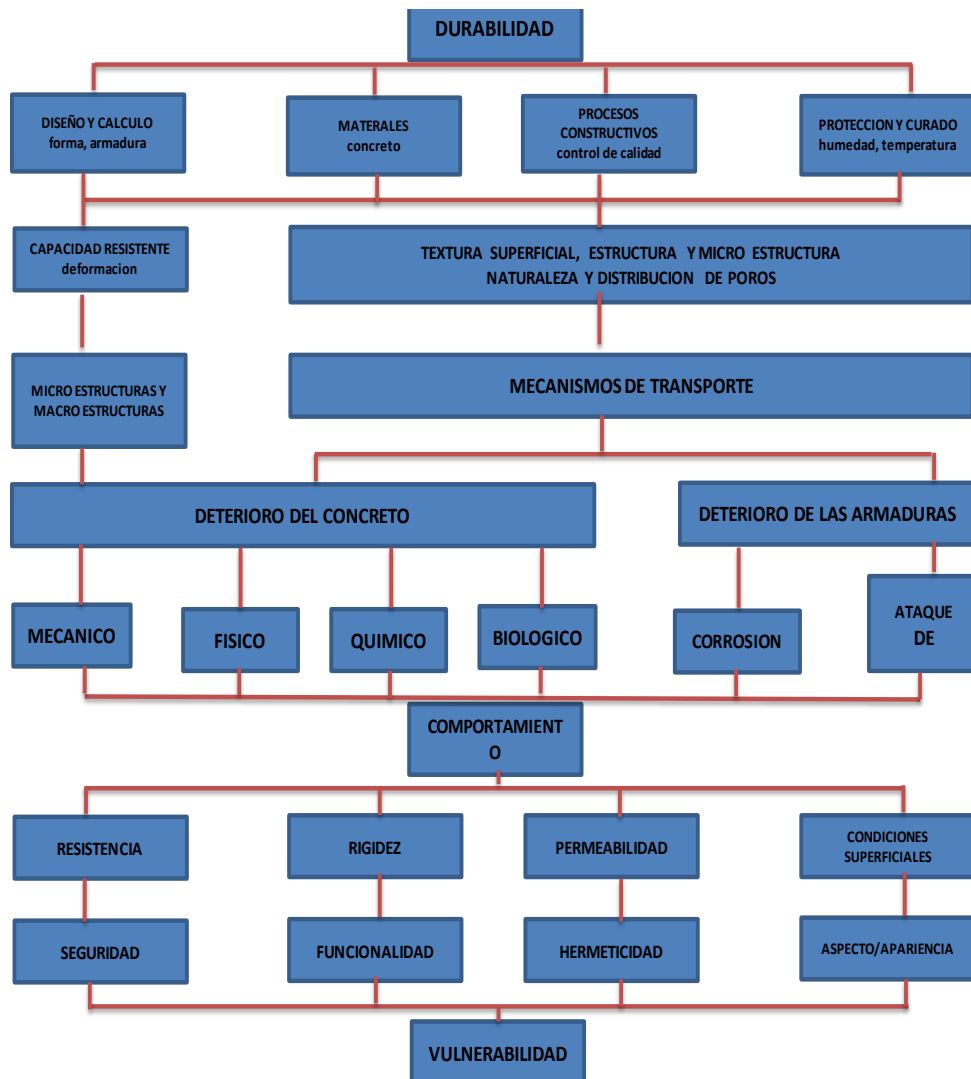


Figura 1.1. Relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto.

Pavimento Rígido

“Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los

esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayor tensiones en la subrasante, como se puede apreciar en la figura 1.2⁷

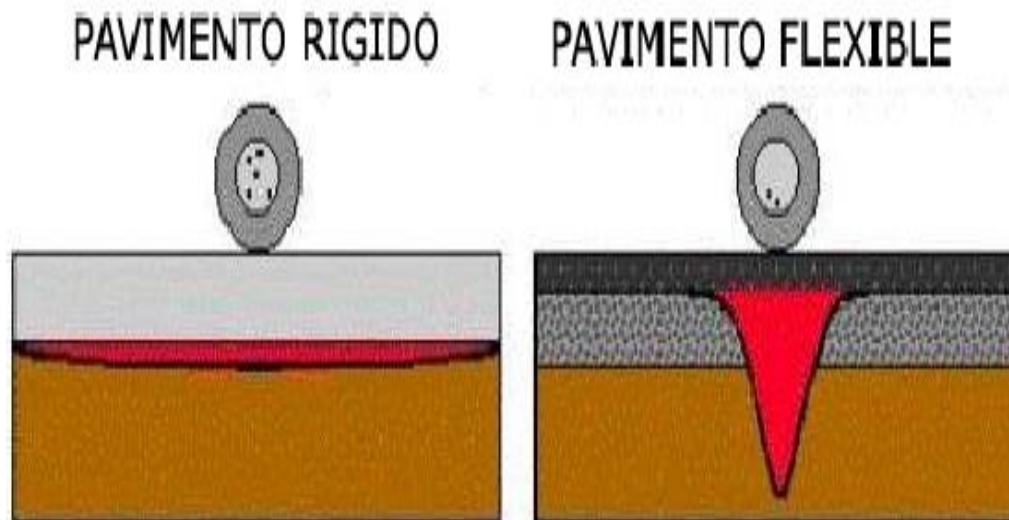


Figura 1.2 Esquema del comportamiento de pavimentos

El elemento fundamental de este tipo de pavimentos es una losa de concreto, tiene una resistencia a la flexión considerable que le permite actuar como si fueran vigas, la ventaja que tiene frente a los pavimentos flexibles, es que se deteriora poco, el gasto de conservación es bajo, pero la desventaja es que el costo de construcción es alto.

Los pavimentos rígidos pueden ser: de concreto simple con varillas de transferencia de carga (pasadores), de concreto reforzado y con refuerzo continuo.

- a. Los pavimentos de concreto simple, se construyen sin acero de refuerzo o varillas de transferencia de carga en las juntas.
- b. Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de carga (pasadores), se construyen sin acero de refuerzo, para lo cual se colocan varillas lisas en cada junta de construcción, las mismas que actúan como dispositivos de transferencia de carga, por lo que se requiere que la separación entre juntas sea corta para controlar el agrietamiento.

⁷ www.scribd.com/Criterios diseño pavimento rígido.

- c. Los pavimentos reforzados contienen acero de refuerzo y pasadores en las juntas de construcción.
- d. Los pavimentos de refuerzo continuo, se construyen sin juntas de construcción, sin embargo, por la presencia del refuerzo se desarrolla un alto grado de transferencia de carga en las caras de las fisuras.

1.2.2. Análisis Crítico

En la actualidad es de mucha importancia conocer las principales características y propiedades del hormigón para obtener buena calidad y alta resistencia.

La utilización de materiales de mala calidad en la construcción de vías puede causar deterioro temprano de las mismas debido a aquellos materiales empleados no son los adecuados para soportar las condiciones del medio y de servicio de la vía, por esta razón los materiales, agregados o áridos pétreos y el cemento deben cumplir con las especificaciones técnicas, para tener así una vía cómoda y durable.

1.2.3. LA PROGNOSIS

Los costos, de mantenimiento y el índice de accidentes se incrementaran al tener una capa de rodadura pobre, desgastada y que no presente condiciones mínimas de evacuación de aguas lluvias.

Adicionalmente al no realizar estudios de durabilidad de los materiales, los avances tecnológicos cementantes y los aditivos para conseguir hormigones de alta resistencia durables, no tendremos valores de importancia para el pre-dimensionamiento de los elementos estructurales de los pavimentos propuestos por el comité ACI 318.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo influyen los Hormigones de Alta Resistencia en la Durabilidad de la Capa de Rodadura de las Vías en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Se han realizado estudios de hormigones de alta resistencia para vías en la ciudad de Ambato?

¿En la ciudad de Ambato, se realiza estructuras con hormigón de alta resistencia?

¿Qué resistencias se puede conseguir con los agregados de la ciudad de Ambato?

¿Es conveniente reemplazar la capa de rodadura por un concreto de alta resistencia?

1.2.6 DELIMITACION DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.2.6.1 De Contenido

El problema a investigar en este proyecto está dentro del ámbito de la Ingeniería Civil y se requiere estudios de campo, de Laboratorio, Vial y Ensayos de Materiales.

1.2.6.2 Espacial

El presente estudio será aplicado en la ciudad de Ambato. Y los estudios de agregados procedentes de las minas el Salvador de Aguajan (Arena), La Península (Piedra) y Cemento Armadura de cementera UNACEM. Los mismos que serán analizados en los laboratorios de SIKA y de la Ilustre Municipalidad de Ambato, con una revisión bibliográfica que se

realizará en la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato, con colaboración de las empresas UNACEM Y SIKA.

Croquis



Figura 1.3. Ubicación General de la Provincia de Tungurahua

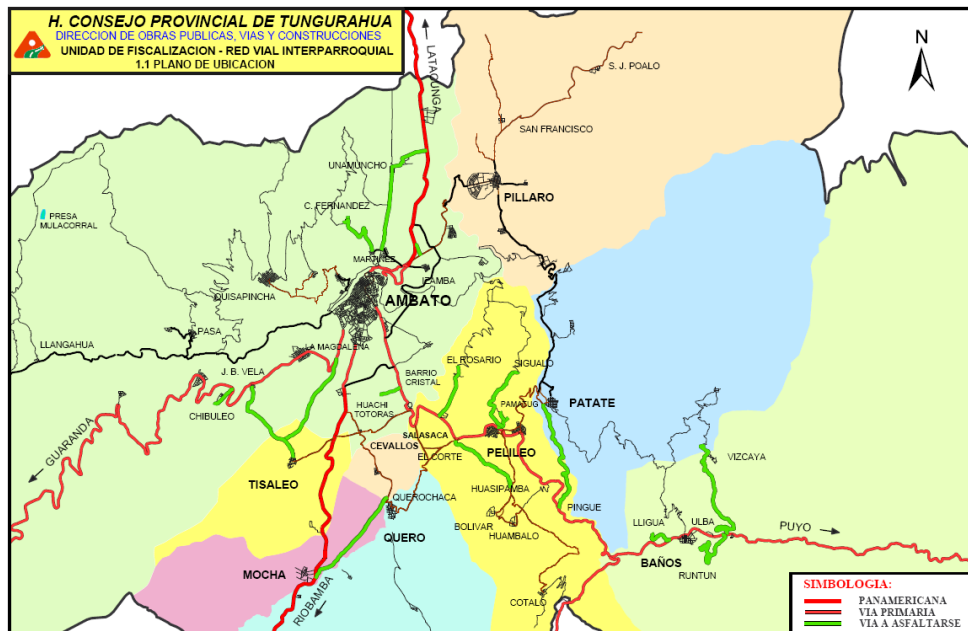


Figura 1.4. División Política de la Provincia de Tungurahua.

1.2.6.3 Temporal

El tiempo estimado para el estudio de las variables será desde el mes de marzo del 2014 hasta el mes de Abril del mismo 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las limitaciones económicas a las cuales se ven sometidos los gobiernos provinciales en el Ecuador, incide en la desatención en el mantenimiento vial, debido a costos altos para reparaciones, siendo factible el mantenimiento y la rehabilitación de caminos asfaltados una solución alternativa, económica, y eficiente, de conservar el estado de la capa de rodadura, además podría ahorrar un alto porcentaje de lo invertido; de esta manera permitiría que los pueblos y localidades que se benefician de este tipo de vías no se sientan relegados y al contrario estarían atendidos en su desarrollo económico y social.

El mejoramiento de vías de hormigones de alta resistencia es un signo de progreso para la movilización de los habitantes, lo cual proporcionará una fluidez y comunicación óptima entre cantones y comunidades. Además incrementaría las condiciones de producción, en el área de influencia, otorgando seguridad de poder transportar los productos a los sitios de comercialización y consumo masivo.

Con una vía en buenas condiciones se facilitaría la calidad de vida de los habitantes en el sentido económico, cultural y de salud.

Es de suma importancia que se dé atención urgente a las vías en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, ya que son medios de comunicación necesarios que permitiría una mejor movilización y acceso a la provincia; también se estima que funcionen como vías alternas en casos de emergencia.

Por lo mencionado anteriormente, es de gran importancia realizar un estudio de Hormigones de Alta Resistencia y su aplicabilidad como capa de rodadura para pavimentos rígidos, cuyo comportamiento en su vida útil generen el menor impacto a la sociedad.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General:

Determinar la aplicabilidad del hormigón de alta resistencia en la durabilidad de la capa de rodadura de las vías del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados y cementos de las canteras, El Salvador (agregado fino), La Península (agregado grueso) a utilizar.
- Obtener diseños de hormigones de alta resistencia en la ciudad de Ambato para la obtención de una guía técnica de consulta.
- Determinar la resistencia máxima del hormigón con los agregados mencionados en condiciones propias de la ciudad.
- Obtener diseños de los pavimentos rígidos que actualmente están contruidos en la ciudad.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Andrea Imbachingo Chamorro (2012) en su tesis de grado “Diseño de hormigones de Alto Desempeño” expresa que “...Con esta investigación, es necesario mencionar que la implementación de hormigones de alto desempeño en el país es una propuesta innovadora y eficaz, pero aún desconocida por los profesionales de la construcción, para proveer un hormigón de tales características deberíamos primeramente analizar las características físicas y mecánicas de los agregados que intervendrán en la mezcla.”

Jorge Luis Sánchez (2013) en su tesis de grado “La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de la elasticidad estático en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua” expresa que “...Los materiales provenientes de las canteras que no tienen un proceso adecuado para cumplir con normas no deben ser utilizados para diseños de hormigones de alta resistencia, el control de calidad del hormigón no solo debe estar enfocado a obtener la resistencia a compresión a los 28 días, debe además establecer el módulo de elasticidad estático del hormigón”.

Ortega Alberto (2013) en su tesis de grado “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles” expresa que “...Los materiales provenientes de las canteras, agregado grueso como agregado fino, estos pasan por un proceso de limpieza por ejemplo lavado, debido a que la presencia de partículas extrañas en estos pueden

alterar significativamente los resultados obtenidos”.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSOFICA

La presente investigación se basa en el paradigma neopositivista el cual presenta los siguientes aspectos:

El presente proyecto se orienta en generar interés tanto a los docentes, profesionales, como a los estudiantes de realizar consultas técnicas actualizadas con normas e instrumentos de última tecnología, sobre Hormigones de Alta Resistencia, Pavimentos Rígidos y su Durabilidad, ya que en el avance de la ciencia existe una constante actualización.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- Norma NEC, ACI, INEC, INEN, MTOP, ASTM, AASHTO etc.

2.3.1 Propiedades del hormigón

El hormigón se define de manera general como una masa de construcción producto de la mezcla de un aglomerante (cemento) con un material pétreo inerte (áridos), mediante la utilización de agua.

El cemento es el componente activo de la mezcla de hormigón; tiene como función principal la de aglomerar los áridos, para formar una pasta homogénea y cohesiva. Proporciona la resistencia mecánica de la pasta de hormigón endurecida.

Por su parte, los áridos se dividen entre el árido grueso (grava, gravilla) y el árido fino (arena). Forman el esqueleto inerte de la estructura y proporcionan rigidez al hormigón; son responsables de la durabilidad y estabilidad del hormigón en el tiempo. El agua confiere plasticidad y

trabajabilidad en estado fresco, además de hidratar al aglomerante y ayudar en el curado del hormigón. Finalmente, a estos componentes básicos se pueden añadir aditivos para mejorar algunas propiedades del hormigón.

La estructura de la pasta de hormigón es bastante compleja, sobre todo al observar la zona de transición interracial, donde la pasta de cemento rodea la partícula de árido. Esta zona puede ser un punto débil en la pasta de hormigón, debido a la complejidad de las reacciones químicas que pueden ocurrir a lo largo de sus superficies, tanto necesarias como nocivas para la buena homogeneidad del hormigón y para evitar su agrietamiento en el futuro.

Entre las numerosas propiedades del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido, su resistencia y su permeabilidad representan variables importantes en el diseño y control de la calidad.

Primero, la resistencia da un panorama general de la calidad del hormigón, debido a que está directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento, y muchas otras propiedades del hormigón (como su módulo de elasticidad o su impermeabilidad) están también íntimamente relacionadas con la resistencia. Además, los ensayos de resistencia son relativamente fáciles de hacer.

En lo que se refiere a la permeabilidad del hormigón, esta permite tener un buen juicio de su durabilidad, ya que está vinculada con la estructura de poros de la pasta de cemento y de los áridos. La durabilidad es muy relevante en cuanto a la resistencia en el tiempo del hormigón frente a las distintas acciones exógenas a las cuales puede estar expuesto, lo que puede ser tan importante como su resistencia mecánica.

Entonces, para caracterizar un hormigón parece apropiado estudiar

ambas propiedades, lo que se hará en este trabajo.

2.3.2 Resistencia a la compresión y flexión

“La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTE INEN 1 576, NTE INEN 1 578 ASTM C31, ASTM C39, ASTM C138, ASTM C173, ASTM C470 Y ASTM C231 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente.

Es de vital importancia que se cumpla con todos los requerimientos presentes en las normas mencionadas, pues como se ha visto la resistencia del concreto se encuentra influenciada por muchas variables tanto internas como externas, por tanto es indispensable que los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de los mismos sean estándares para evitar incluir otra variable a los resultados de resistencia. A continuación se presentan los aspectos más importantes a tener en cuenta durante los procesos de elaboración, curado y ensayo de los especímenes, de acuerdo con lo antes mencionado:

- Se debe garantizar que los moldes para la elaboración de los cilindros produzcan especímenes con las dimensiones establecidas en la norma.
- Antes de colocar el concreto en los moldes, estos se deben impregnar en su interior con un material que evite que el concreto se adhiera a la

superficie del molde.

- Los cilindros se deben confeccionar en tres capas iguales, compactando cada capa de acuerdo con los requerimientos de la norma.
- Los cilindros recién elaborados deben permanecer en reposo en un sitio cubierto y protegido de cualquier golpe o vibración, para ser desencofrados a las 24 horas +/- 8 horas.
- Una vez desencofrados, los cilindros se deben curar a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa $>95\%$, hasta el día del ensayo.
- Las tapas del cilindro se deben refrendar para garantizar que la superficie del cilindro sea totalmente plana, de lo contrario se pueden presentar concentraciones de esfuerzos que disminuyen la resistencia del cilindro.
- La carga se debe aplicar a una velocidad que se encuentre dentro del intervalo de 0.14 Mpa/s a 0.34 Mpa/s y la velocidad escogida se debe mantener al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista del ciclo de ensayo.⁸

La ASTM C78 se ocupa de ensayos de flexión del hormigón que se usa en la construcción de bloques y pavimentos con un aparato de flexión de tipo "tercer punto". Para realizar el ensayo, se usó el sistema de ensayo 300DX de la Serie SATEC™, un útil de ensayo de flexión y el software de ensayo de materiales Partner™. La probeta tiene forma de viga de 6 x 6 pulgadas, con una longitud mínima de 21 pulgadas. La preparación de muestras y probetas de hormigón fresco tomado in situ se describe en ASTM C31; las probetas aserradas tomadas de material curado se explican en ASTM C42; y se hace referencia a las probetas elaboradas en el laboratorio en ASTM C192. Sigue las instrucciones de ASTM C78 para conocer las velocidades de carga, la orientación adecuada de las probetas y la aplicación de precarga para asegurar un contacto "sin espacios" entre la probeta y el útil de ensayo.

⁸ <http://360gradosblog.com/index.php/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>

Fundamentalmente, la resistencia depende de dos factores: la estructura física de los productos de la hidratación y las proporciones volumétricas relativas de sus distintos componentes. Más precisamente, para un buen desarrollo de la resistencia de la pasta de cemento, las partículas de cemento deben tener el contacto suficiente con el agua de amasado, además de encontrar una adherencia óptima con los granos de árido.

Entonces, los principales factores que afectan a la resistencia mecánica son la razón agua/material cementicio y la razón árido/cemento. La razón Agua/Cemento tiene influencia tanto en la porosidad de la pasta de hormigón como en su zona interfacial de transición. A mayor razón A/C, mayor porosidad, lo que vuelve la matriz de la pasta de cemento más débil y entonces el hormigón menos resistente.

Al revés, a menor razón A/C (o sea, a mayor cantidad de cemento), el hormigón presenta una resistencia mayor, siendo directamente relacionada con la calidad y la cantidad de cemento presente. Luego, la relación entre la cantidad de árido y la de cemento también es un factor influyente en la resistencia del hormigón, aunque de menor importancia que la razón A/C. Se conoce que a razón A/C constante, para una mayor razón árido/cemento se nota una resistencia mayor; eso se puede explicar por parte por la absorción de los áridos, quitando agua libre a la mezcla y así bajando efectivamente la razón A/C.

2.3.3 Toma de muestras de Hormigón

Para la toma de muestras de hormigón deben ser obtenidas de acuerdo a la norma NTE INEN 1 763 y ASTM C172 además el número de cilindros deben ser los indicados en las especificaciones del estudio o en la NTE INEN 1855-1.

2.3.4 Curado de muestras de Hormigón.

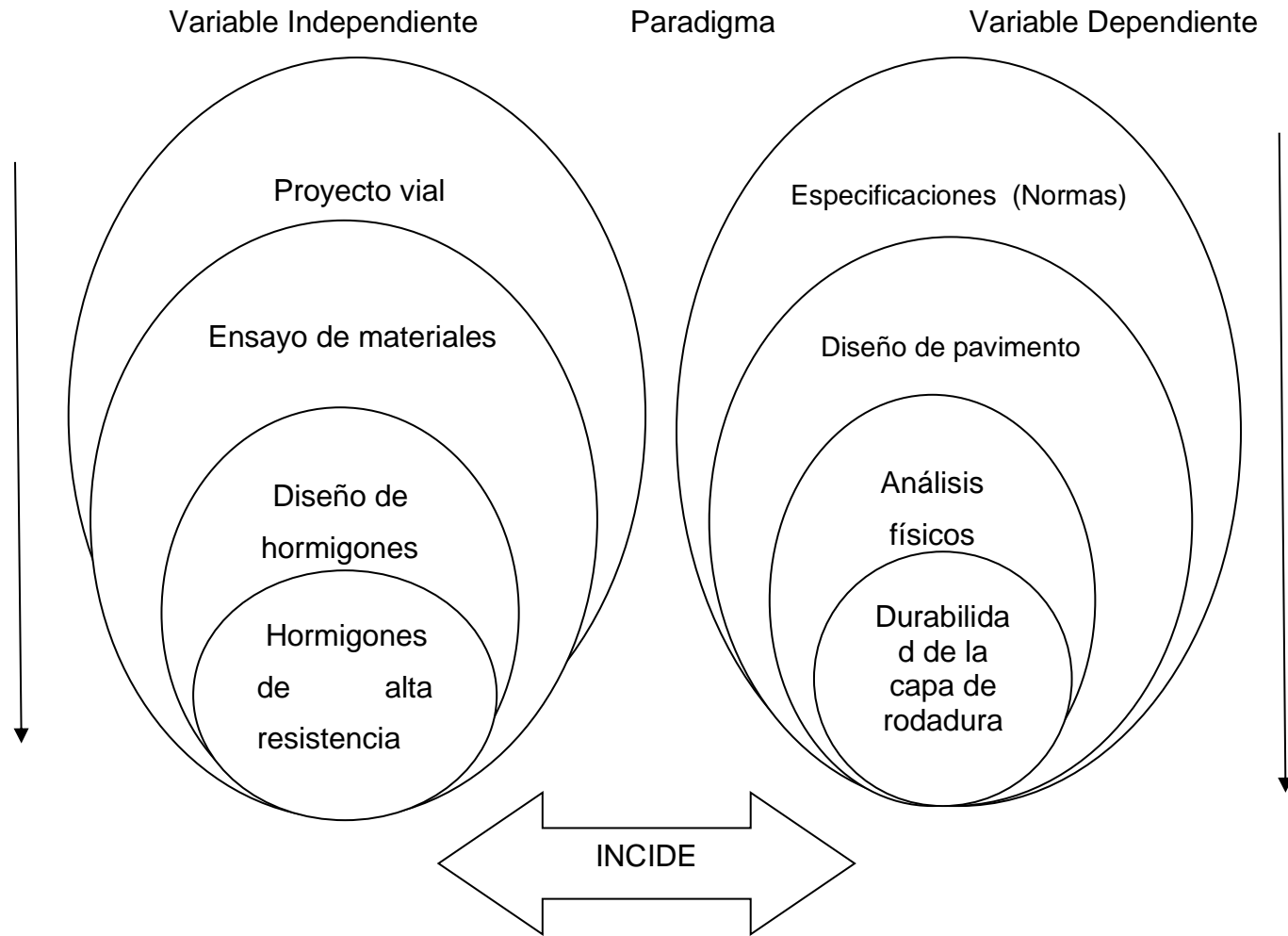
La norma NTE INEN 1 576: 2011 proporciona requisitos normalizados para la elaboración, curado, protección y transporte de especímenes de hormigón, bajo condiciones de obra.

2.3.5 Durabilidad del Hormigón

El ACI 318 Builden Code ² - ACI 201.2R-01 menciona que construir estructuras de concreto que, además de resistentes, sean durables, requiere de manera ineludible desarrollar especificaciones con ese fin. La permeabilidad del material y las condiciones micro climáticas a que estará expuesto son factores estrechamente relacionados con la durabilidad y deben tomarse en cuenta al diseñar. Si a esto se agrega un buen proporcionamiento de mezcla, métodos adecuados de construcción y buenos trabajos de consolidación, acabado y curado, el éxito es bueno.

2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES:

2.4.1 SUPRAORDINACION DE LAS VARIABLES:



2.4.2 DEFINICIONES

DEFINICIONES DE LOS NIVELES DE SUPRAORDINACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

PROYECTO VIAL

“Para realizar un proyecto se debe hacer una memoria descriptiva que ilustre detalladamente y complemente el proyecto en relación a los datos, informaciones y estudios necesarios para su elaboración. Se debe dar una clara información de manera precisa, sobre los datos utilizados para la elaboración del proyecto, así como de las fuentes de información de dichos datos.

Este informe debe indicar los métodos utilizados para la obtención de los resultados óptimos del trazado de la carretera. El procedimiento de construcción recomendado, las informaciones necesarias sobre la procedencia de los materiales que se utilizaran, así como cualquier información considerada de importancia para la elaboración del proyecto y su posterior reconstrucción. Se presentara un informe es descriptivo de los estudios necesarios para realizar el diseño de dicho proyecto, que debe incluir lo siguiente: Estudio de Impacto Ambiental, Estudio geológico de la zona. Estudio Topográfico, Evaluación del Tráfico, Estudio Geotécnico, Estudio Hidrológico e hidráulico, Pavimento. Se debe presentar un informe o reporte ambiental de la zona para determinar los posibles impactos del proyecto en el ambiente, el cual indicara toda la información existente sobre el área del proyecto, así como las alternativas y estrategias que deberán ser empleadas para asegurar que la utilización de los recursos naturales permanezca dentro de los límites que permitan el mejoramiento y conservación de los mismos.

Se deberá realizar un estudio geológico cualitativo para el proyecto de construcción que este en zonas críticas desde este punto de vista. Para la realización de este estudio, se parte de las informaciones existentes en los planos de topología de suelos, así como de las interpretaciones topográficas aéreas de la zona. Para el estudio topográfico se hará una descripción de los factores determinantes de la vía, tales como: tipo de vegetación en el lugar, configuración topográfica, accesibilidad en la zona, etc.

Para el presente estudio se basara únicamente en el tipo de pavimento seleccionado, así como la solución técnico-económica adoptada. Además se describirán las características de los materiales disponibles para estos fines, así como cualquier información referente al diseño el pavimento.”⁹

Pavimentos.- Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.

Tipos de pavimentos.- Existen dos tipos principales de pavimentos: los flexibles y los rígidos.

En los pavimentos flexibles una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base, las cuales se construyen sobre la subrasante.

⁹ <https://www.yumpu.com/es/document/view/14306860/patologia-de-pavimentos-rigidos-de-la-ciudad-de-asuncion/3>



Figura 2.5. PAVIMENTO FLEXIBLE

Existen también pavimentos de ripio, que sirven para dar un poco más de estabilidad que los caminos de tierra; y pavimentos mixtos o compuestos, que en su estructura superior mezclan una capa de asfalto con otra de hormigón arriba o viceversa y corresponden a la clásica forma de rehabilitación conocida como recapeo asfáltico.

Base Y Sub-Base.- En los caminos, sobre la subrasante se construye el pavimento, que en el tipo flexible está constituido por las capas de sub-base, base y carpeta o capa de rodadura, aunque en ocasiones la sub-base no se requiere.

Las sub-bases y las bases tienen finalidades y características similares, aunque las primeras pueden ser de menor calidad. Las funciones de estas capas son: recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa de rodamiento, transmitir esas cargas al suelo adecuadamente distribuidas, impedir que la humedad ascienda por capilaridad.

La Base se define como la capa (o capas), de espesor definido, de materiales sujetos a determinadas especificaciones, colocada sobre la subbase o la subrasante para soportar las capas de Superficie o Rodadura.

La Sub base en cambio es la capa, de espesor definido, de materiales que cumplen determinadas especificaciones, las cuales se colocan sobre una subrasante aprobada, para soportar la Capa de Base.

Puede haber dos clases de bases:

- La base granular, que está compuesta de grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo, en este tipo de bases la estabilidad depende de la fricción interna y su cohesión. Una alta fricción interna se consigue con agregados bien graduados, de forma irregular y con una pequeña cantidad de finos limos arenosos.
- La base estabilizada con cemento, cal o asfalto. Las bases sobre las que se construye una carpeta de concreto asfáltico deben tener un módulo de elasticidad semejante al de esta carpeta, por lo que conviene estabilizarlas mezclándoles con cal hidratada o cemento Portland, de lo contrario la carpeta puede agrietarse de manera prematura con pequeñas deformaciones de la base. Con la finalidad de tener una base con características semejantes a las del concreto asfáltico, es posible construir bases "negras" o asfálticas en plantas en frío o en caliente, pero es menos común y recomendable.

El procedimiento de construcción para las bases y sub-bases incluye lo siguiente: exploración, para encontrar las minas de los materiales a usarse que son gravas, arenas de río, conglomerados o roca masiva; muestreo, pruebas de laboratorio y elección de las minas; extracción y acarreo de materiales; tratamientos previos, como la trituración antes de llegar a la obra; acarreo a la obra; compactación, para lo cual se humedece el material con una cantidad de agua cercana a la óptima y se compacta hasta alcanzar el grado mayor al 95%; riego de impregnación (imprimación), cuando la capa ya está seca se barre para quitarle el polvo, la basura y las partículas sueltas que puedan haber y enseguida se

proporciona a la base un riego de impregnación con asfalto, esto sirve para tener una zona de transición entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica.

Carpetas Asfálticas.- La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Los pavimentos asfálticos son aquellos compuestos de una capa de superficie de áridos envueltos en aglomerados con betún asfáltico, con un espesor mínimo de 25mm sobre capas de sustentación.

Pavimentos de Hormigón.- Los pavimentos de hormigón llevan utilizándose desde hace más de un siglo en pavimentos de toda clase. Un pavimento de estas características tiene la responsabilidad estructural y funcional, mientras que las capas inferiores a él aseguran un apoyo uniforme y estable.

Los espesores de la losa pueden variar entre 20 cm (en el caso de vías de poco tráfico) hasta los 40 cm (en pistas de aeropuertos).

El hormigón para pavimentos está constituido por áridos adecuados (resistentes al pulimento), unos 300-350 kg/m³ de cemento, una relación agua/cemento baja y aditivos. Debe ser fabricado y puesto en obra de manera que se consiga un material homogéneo, resistente a la fatiga por flexión, al desgaste por el tráfico y a los efectos de las heladas y las sales fundentes en zonas con riesgo.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulica, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto. Aunque en teoría las losas de concreto pueden colocarse en forma directa sobre la

subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos.



Figura 2.6. PAVIMENTO RÍGIDO

Tipos de pavimentos de hormigón.- Sus características más relevantes son las siguientes:

Pavimentos de hormigón vibrado en masa. Son los de construcción más sencilla y de coste más reducido. En ellos, se disponen juntas transversales de contracción y juntas longitudinales de alabeo entre carriles o donde la anchura que se extiende de una sola vez es superior a 5 m. Como resultado, se obtiene un pavimento formado por losas rectangulares, preferentemente casi cuadradas, excepto en intersecciones, ramales y otros lugares donde deban tener una forma regular sin ángulos agudos. Las juntas pueden ser tanto de construcción como de hormigonado.

Para mantener la unión entre losas contiguas, se recurre a la instalación de barras de unión de acero corrugado, que permiten el alabeo debido a gradientes térmicos sin que la junta se abra y se escalone bajo la acción del tráfico. Las juntas transversales sirven como solución de continuidad del pavimento, y la transmisión de cargas se asegura mediante unos pasadores.

Pavimentos de hormigón compactado con rodillo. Este pavimento está fabricado mediante hormigón en masa. El material que se emplea es de bajo contenido en agua (relación agua/cemento baja), y debe compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios y de neumáticos. El contenido de cemento es el mismo que el de un hormigón de pavimento, si bien se le añade una notable cantidad de aditivos. La extensión se realiza mediante extendedoras, similares a las que se emplean para mezcla bituminosa, lo que facilita la logística de obra al emplearse la maquinaria más habitual en obras de carretera. El comportamiento es similar al de los pavimentos tradicionales de hormigón, pero, debido al método de compactación, la regularidad superficial obtenida no está dentro de los márgenes exigidos para circulación a alta velocidad, situación que se resuelve extendiendo una mezcla bituminosa encima.

Pavimentos de hormigón armado. Los pavimentos de hormigón armado se dividen en: pavimentos de hormigón armado con juntas constituidos por losas, pavimentos continuos de hormigón armado y pavimentos armados con fibras de acero. Los pavimentos de hormigón armado con juntas surgieron a raíz de los problemas que constituían las juntas, puesto que éstas eran la zona más débil y un problema de conservación. Para ello, se intentó afrontar la situación aumentando la longitud de las losas. Las armaduras, que se colocan en la mitad superior de la losa, tienen como objetivo el “cosido” de las fisuras transversales que, inevitablemente, aparecen en losas largas. De este modo, la transferencia de cargas en las fisuras queda resuelta, se impide la intrusión de agua y finos y se evita el despostillamiento de las grietas bajo la acción del tráfico. Estos pavimentos están prácticamente en desuso, puesto que su mayor coste no supone una mejor calidad y, además, las técnicas actuales de construcción de juntas han supuesto que éstas tengan un mejor comportamiento. Una variante son los pavimentos continuos de hormigón armado. Esta técnica suprime por completo las juntas a cambio de aumentar la armadura longitudinal. La principal desventaja de esta

técnica es su elevado coste, y sólo son recomendables en tramos de tráfico pesado muy intenso. Por último, están los pavimentos de hormigón armado con fibras de acero. Este material, que comenzó a usarse hace algunas décadas, se emplea en situaciones donde su elevado coste está compensado por sus características: aumento de la resistencia a tracción y a la fatiga, mejor comportamiento a flexo tracción, resistencia a los impactos, durabilidad, etc. Con este material, se puede reducir el espesor del pavimento en un 30% y aumentar el espaciamiento entre juntas, siendo competitivo en pavimentos de puentes y pavimentos sometidos a cargas muy elevadas (zonas industriales y portuarias).

Pavimentos de hormigón pretensado. El hormigón pretensado introduce una carga en las barras de armado que permite, en el campo de las obras de carretera, construir losas de longitud de 120m o más reduciendo el espesor en torno a un 50%. El pretensado se efectúa mediante gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas. Las juntas requieren de un diseño especial. Su principal campo de aplicación es en pistas de aeropuertos, ya que la ausencia de curvas salva problemas a la hora de disponer los aparatos de pretensar.

Características de los pavimentos de hormigón.-

Rigidez del pavimento. Bajo las acciones del tráfico, el hormigón se comporta de manera elástica, resistente a deformaciones viscoplásticas incluso en condiciones duras de tráfico pesado, intenso, lento y en situaciones de elevadas temperaturas. Con módulos de elasticidad en torno a los 40000 MPa y los espesores de losa mencionados anteriormente, son estructuras muy rígidas que disipan las tensiones producidas por las cargas. Por ello, la base que se precisa es diferente a la que se necesita en un pavimento flexible, siendo necesaria una que sea uniforme y resistente a la erosión.

Juntas. Las variaciones de volumen por temperatura y humedad y la retracción que experimenta el hormigón exigen la construcción de juntas para evitar la aparición de fisuras en el pavimento, que acabarían acelerando el deterioro del pavimento bajo la acción del tráfico. Además, dichas aberturas constituirían una vía para que agentes dañinos para el hormigón como el agua y partículas extrañas lleguen a la base, pudiéndose llegar a formar bloques inestables bajo el tráfico. Además, son también necesarias las juntas de construcción cuando se interrumpe el hormigonado. En todo caso, debe evitarse que aparezcan discontinuidades en la transmisión de cargas y minimizar la percepción por parte de los usuarios.

Sensibilidad a agentes externos. Los hormigones tienen una ventaja muy importante frente a las mezclas bituminosas: su imperturbabilidad frente a los aceites y combustibles que vierten los vehículos sobre la superficie. Esto lo hace idóneo para zonas de estacionamiento y rampas. En zonas con riesgo de heladas, será necesario la inclusión de un aireante en el material para favorecer la oclusión de aire que actúe como cámara de expansión del agua intersticial del hormigón.

Características superficiales. La resistencia al deslizamiento de estos pavimentos se obtiene empleando una proporción apreciable de arena silíceas y confiriendo al hormigón fresco de una textura superficial adecuada. Otras texturas, más parecidas a las de los pavimentos bituminosos, se obtienen a partir de incrustar gravillas no pulimentables al hormigón fresco o por eliminación del mortero superficial. La regularidad superficial obtenida marca la regularidad superficial obtenida. Además, la textura longitudinal ayuda a la reducción del nivel sonoro.

Deterioro de Pavimentos

El deterioro de los pavimentos es una serie de manifestaciones superficiales de la capa de rodadura, haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación sean mayores. En estos casos deben analizarse las causas de falla que los originan, que se pueden especificar en forma general en cinco tipos: diseño insuficiente de la superestructura, inestabilidad de las obras de tierra, deficiencias constructivas, solicitudes no previstas y una inadecuada mantención. Algunas manifestaciones del deterioro en pavimentos

flexibles son: pérdida de agregado, desgranamiento, afloramiento del asfalto(exudación), ondulación transversal, ondulación por desplazamiento, ahuellamiento, distorsión, agrietamiento longitudinal, agrietamiento sinuoso, agrietamiento transversal, agrietamiento tipo piel de cocodrilo, agrietamiento irregular.

Durabilidad.

Como es sabido, la resistencia mecánica del hormigón aumenta con el tiempo, mientras que su índice de servicio disminuye lentamente. El agrietamiento generalizado del pavimento y la necesidad de su refuerzo o reconstrucción vendrá determinada por la fatiga a flexión. También influyen: el espesor de la losa, la resistencia a flexo tracción, la intensidad y número de aplicaciones de las cargas, el clima, el desgaste a la abrasión, la forma y dimensiones de las losas, etc.

Apertura al tráfico. Una vía construida con un pavimento de hormigón convencional no deberá abrirse al tráfico antes de siete días tras la finalización de la construcción del pavimento. Existen pavimentos denominados “fast-track” que, empleando un hormigón de alta resistencia

inicial, permiten abrir al tráfico la vía en un período de 6 a 24 horas.

Conservación y rehabilitación. Los pavimentos que nos ocupan, en el caso de que se hayan proyectado y ejecutado correctamente, requieren de poco mantenimiento: sellado de juntas y grietas, reconstrucción de losas en mal estado, restauración de la macrotextura, etc. La aparición de nuevos materiales (resinas sintéticas, hormigones superplastificados, tratamientos superficiales) y de pequeñas herramientas específicas (serradoras, fresadoras, escarificadoras) ha contribuido a la simplificación de estas operaciones. En las últimas décadas, debido a la degradación del pavimento, ha sido necesario rehabilitar o reconstruir un gran número de pavimentos de hormigón en varios países. Las soluciones empleadas han abarcado desde la repavimentación con una mezcla bituminosa hasta el recrecimiento e, incluso, el reciclado.

Patología de Pavimentos Rígidos

La patología es el estudio de las enfermedades, como procesos o estados anormales de causas conocidas o desconocidas.

Ventajas y desventajas de los pavimentos rígidos

Los pavimentos de hormigón hidráulico presentan una durabilidad superior a los de concreto asfáltico, pues su elemento ligante no es susceptible a oxidación o envejecimiento por acción de agentes atmosféricos. La materia prima para el cemento portland existe en el país en forma abundante. Su resistencia a las deformaciones los hace especialmente recomendables para intersecciones donde haya giros o frenadas bruscas que suelen ir acompañadas de derrame de lubricantes. Otra ventaja importante, sobre todo en localidades urbanizadas es su color claro, que absorbe menos calor y lo refleja hacia la atmósfera.

Por último, las tareas de mantenimiento en el mejor de los casos son mínimas, reduciéndose a resellado de juntas y sellado de fisuras y grietas. Como desventajas corresponde citar su costo de construcción más elevado³ y la mayor dificultad para instalación o reparación de servicios públicos bajo el pavimento. Sus espesores son mayores que los del pavimento flexible y ello tiende a interferir con las salidas de desagües pluviales domiciliarios.

Tipos de Fallas

Las fallas en los pavimentos pueden ser de orden funcional o estructural. Las fallas funcionales afectan a la comodidad en la circulación, las estructurales ponen en riesgo la integridad de la estructura, lo que a su vez repercute negativamente en la situación funcional.

Fallas en pavimentos rígidos

“Las fallas en los pavimentos rígidos se clasifican en cuatro grupos deterioros de las juntas, agrietamientos, deterioros superficiales y otros deterioros.

Los agrietamientos pueden ser transversales, longitudinales o de esquina. Cualquier grieta es signo de un esfuerzo que el hormigón no ha podido soportar. Se convierten en discontinuidades en las losas que alteran su respuesta a las solicitaciones.

Los deterioros superficiales más comunes son descascaramientos, pulido de agregados y fisuración tipo malla. Son deterioros funcionales.

Cada uno de los daños correspondientes a cada categoría se describe a continuación, presentando su definición, nivel de severidad, la forma de medición, sus posibles causas, su evolución probable y reparaciones que

pueden realizarse, (se presenta una posible reparación, que debe ser tomada como una primera aproximación a una solución definitiva la cual será sustentada con ensayos e información detallada). Las fotografías relacionadas con cada tipo de daño, se presentan a medida que se describe cada uno de ellos.

Los niveles de severidad son criterios adoptados para diferenciar la gravedad del daño, estos se basan fundamentalmente en la apreciación del grado de deterioro que pueda presentar cada daño en particular. En términos generales, los niveles de severidad adoptados en el presente manual son: severidad baja, severidad media y severidad alta; a medida que se van definiendo los diferentes tipos de daño se van definiendo también las características de cada nivel de acuerdo cada deterioro en particular.

Cuando en un mismo tipo de daño se advierten varios niveles de severidad es preciso reportar la más alta, es decir, si para un mismo tipo de daño en un mismo lugar se presentan deterioros con severidad baja y media, se debe reportar el daño con severidad media. En ocasiones ocurre que en un mismo sitio se advierten dos o más tipos de daño, en este caso se debe reportar el daño que más incomodidad presente a los usuarios de la vía, por ejemplo, si en un mismo sitio se presentan simultáneamente grietas longitudinales, transversales y levantamiento localizado, se debe reportar el levantamiento localizado.

Grietas

Las grietas de ancho menor a 0,03 mm se denominan fisuras, en la Figura 6 se muestra el ancho que define una grieta. Este grupo de deterioros incluye todas las discontinuidades y fracturas que afectan las losas de concreto.

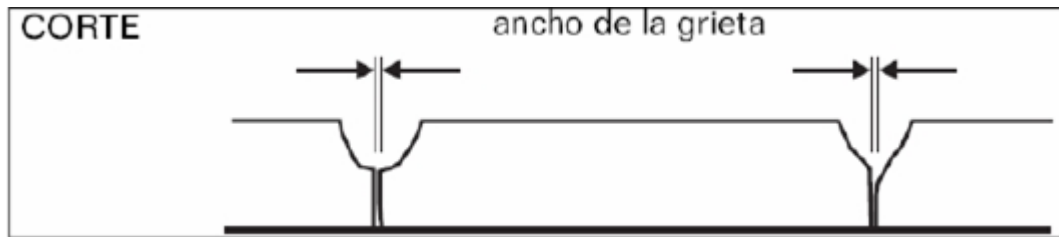


Figura 2.7. Corte transversal de una losa, mostrando el ancho de una grieta

Grietas de Esquina (GE). Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45° , con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo sobre la junta de la losa varía entre 0,3 m y la mitad del ancho de la losa. (Figura 7). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

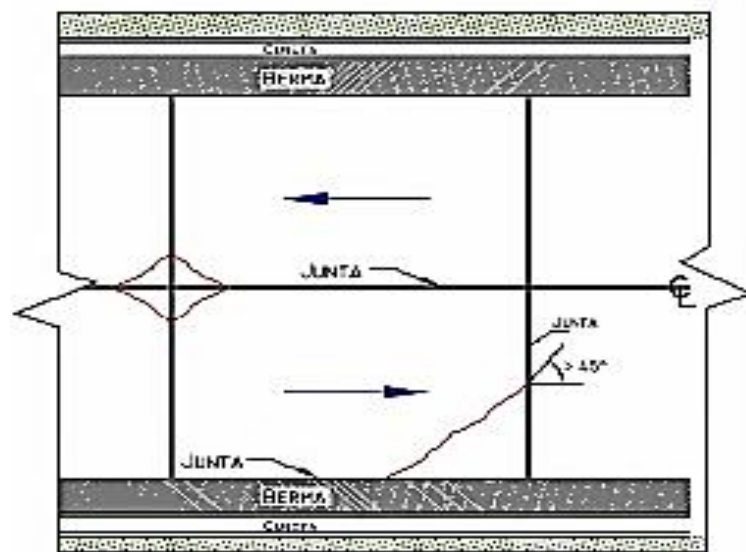


Figura 2.8. Vista en planta grieta de esquina.

Grietas longitudinales (GL) Grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa (Figura 8). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

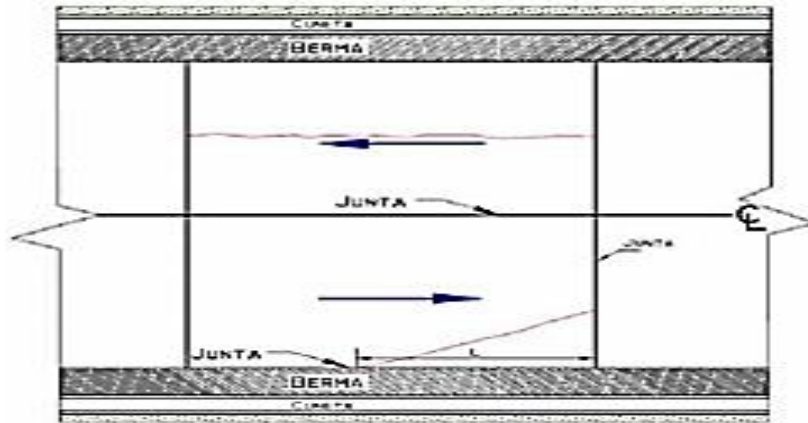


Figura 2.9. Características de las grietas longitudinales.

Grietas transversales (GT) Grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía (Figura 9). Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

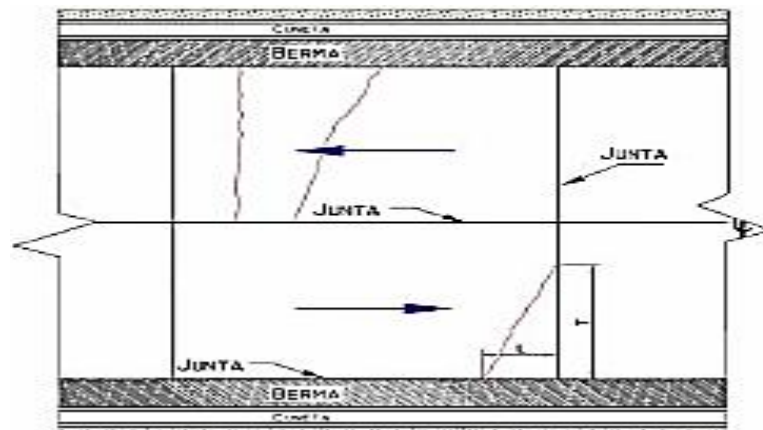


Figura 2.10. Vista en planta grietas transversales.

Grietas en los extremos de los pasadores (GP) Cercanas al extremo de los pasadores o dovelas. Pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo (Figura 10). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

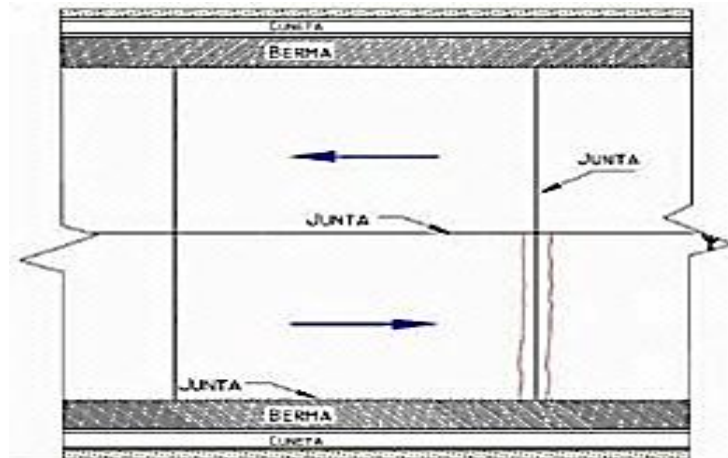


Figura 2.11. Vista en planta grietas extremos de los pasadores.

Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB) Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y” (Figura 11). Aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

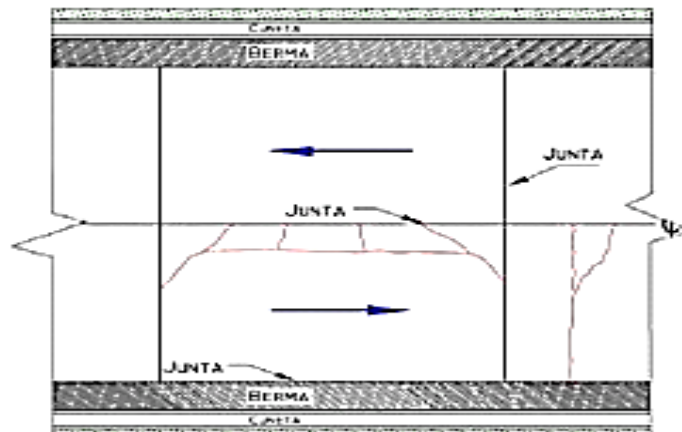


Figura 2.12. Características de las grietas en bloque

Grietas en pozos y sumideros (GA) Se presentan como una clasificación independiente, debido a que son grietas que están directamente relacionadas con la presencia del pozo o del sumidero (Figura 12). Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

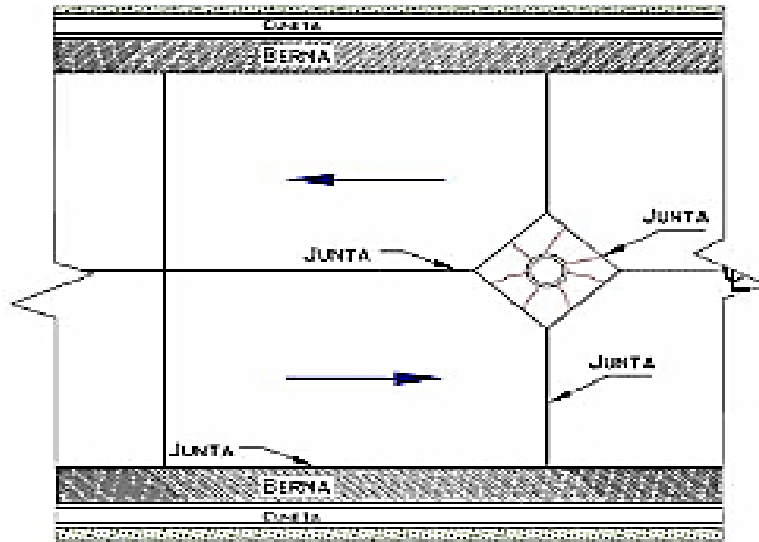


Figura 2.13. Características de las grietas en pozos de inspección.

Daños en juntas

Separación de Juntas Longitudinales (SJ) Corresponde a una abertura en la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido (Figura 13 y 14).

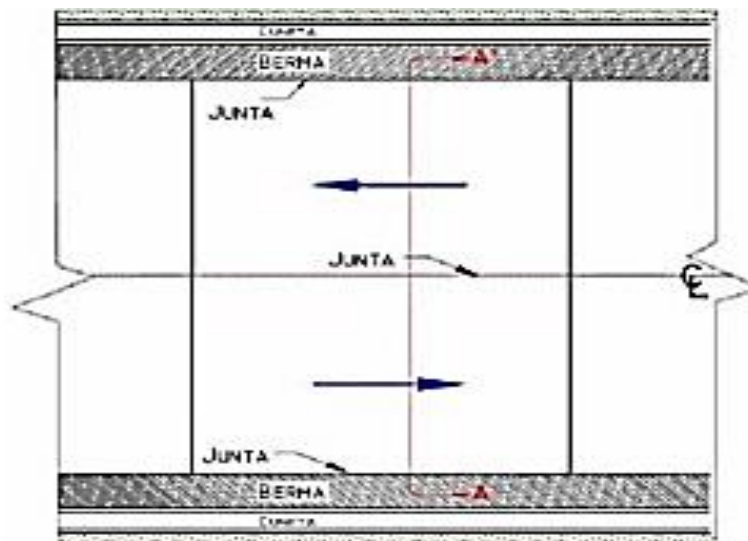


Figura 2.14. Separación de juntas longitudinales.

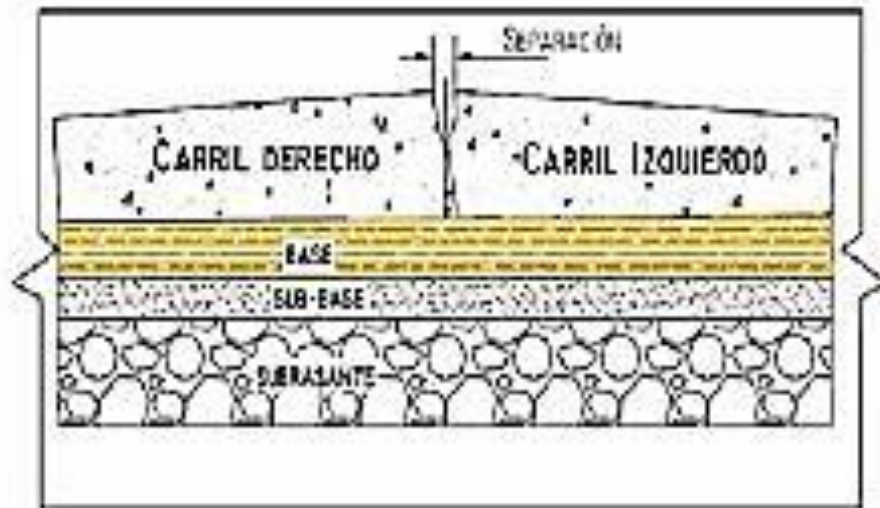


Figura 2.15. Detalle separación de juntas longitudinales.

Deterioro del sello (DST - DSL) Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación (Figura 15). Este deterioro se presenta en pavimentos de placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

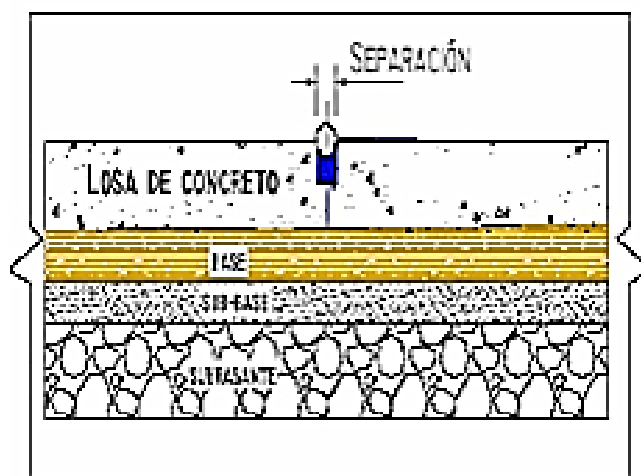


Figura 2.16. Deterioro del sello.

Deterioro superficiales

Desportillamiento de juntas (DPT, DPL) Desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que puede afectar hasta 0,15 m (15 cm) a lado y lado de la junta (Figura 16) Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rígido con juntas.

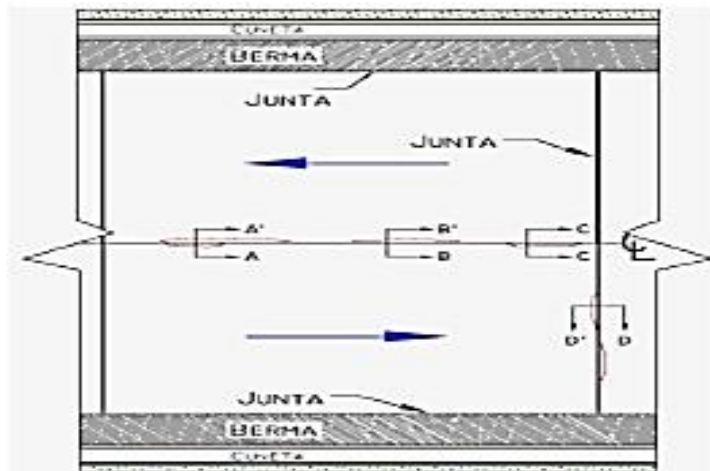


Figura 2.17. Desportillamiento.

Descascaramiento (DE) Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto (Figura 17).

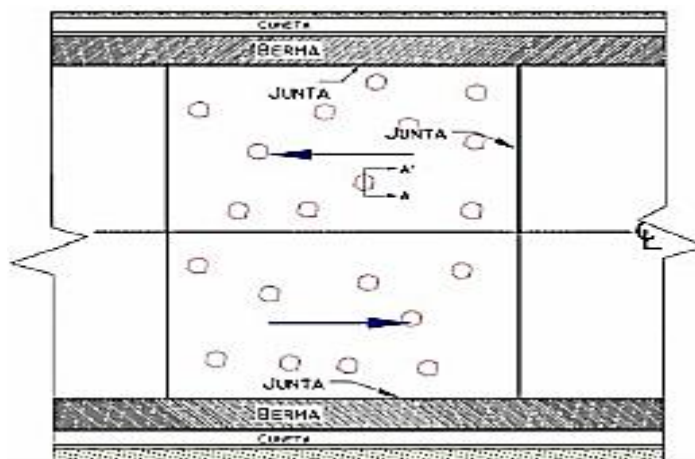


Figura 2.18. Descascaramiento superficial.

Desintegración (DI) Consiste en pérdida constante de agregado grueso en la superficie, debido a la progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arenamiento del concreto, provocando una superficie con pequeñas cavidades (Figura 18).¹⁰

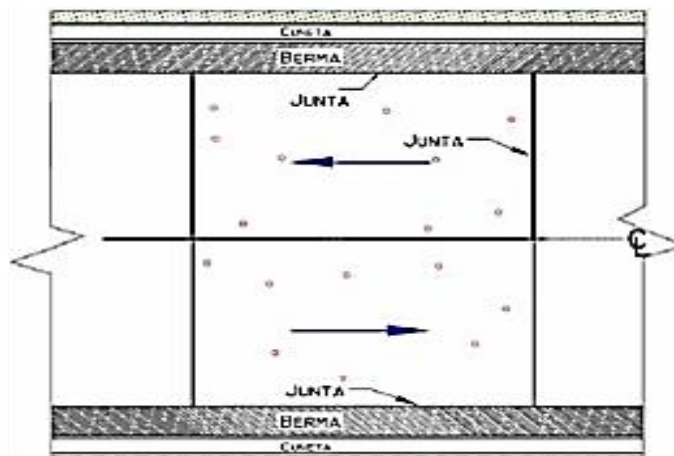


Figura 2.19. Desintegración.

Grietas	Daños en Juntas	Deterioro Superficiales	Escalonamiento de Juntas	Otros Deterioros
<ul style="list-style-type: none"> *Esquinas *Longitudinales *Transversales *Extremos de los Pasadores *Fracturación múltiple *Pozos y Sumideros 	<ul style="list-style-type: none"> *Separación de juntas longitudinales *Deterioro del sello 	<ul style="list-style-type: none"> *Despostillamientos de juntas *Descascaramiento *Desintegración *Baches *Pulimento 	<ul style="list-style-type: none"> *Parches *Asentamientos 	<ul style="list-style-type: none"> *Fisuración tipo malla *Fisuración por durabilidad *Fisuración por bombeo • Ondulaciones • Descenso de la berma

ENSAYO DE MATERIALES

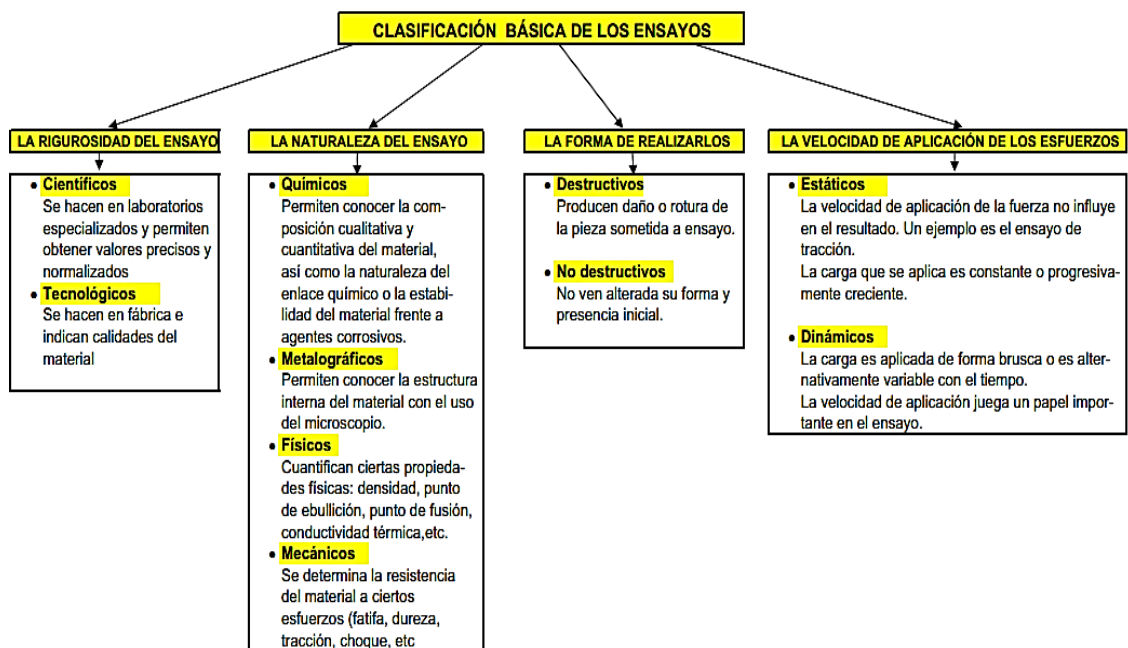
“Con el ensayo de los materiales deben determinarse los valores de resistencia, verificarse las propiedades y establecerse el comportamiento de aquellos bajo la acción de las influencias externas. El factor económico

¹⁰ docu_publicaciones pavimentos rígido3

juega un rol de importancia en el campo de la fabricación en general, imponiendo un perfecto conocimiento de los materiales a utilizar, de manera de seleccionarlos para cada fin y poder hacerlos trabajar en el límite de sus posibilidades, cumpliendo con las exigencias de menor peso, mejor calidad y mayor rendimiento.

En los ensayos físicos se determinan generalmente la forma y dimensiones de los cuerpos, su peso específico y densidad, contenido de humedad, etc. y en los mecánicos la resistencia, elasticidad y plasticidad, ductilidad, tenacidad y fragilidad, etc.”¹¹

Los ensayos de materiales básicos se clasifican en:



Cuadro # 1. Clasificación básica de los ensayos
Tomado de — Ensayos/Index.htm

11

PROPIEDADES DE MATERIALES

MECÁNICAS	FÍSICAS	QUÍMICAS	TECNOLÓGICAS
Resistencia que ofrecen los materiales al ser sometidos a determinados esfuerzos exteriores	Son propiedades que no afectan a las estructuras y composición de un material	Son propiedades que afectan a la estructura y composición de un material	Indican la mayor o menor disposición de un material para poder ser trabajado de diferente manera
<ul style="list-style-type: none"> • Cohesión • Elasticidad • Plasticidad • Dureza • Resistencia a la rotura • Tenacidad • Fragilidad • Resiliencia • Fluencia • Fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso específico • Calor específico • Conductividad calorífica • Coeficiente de dilatación lineal • Temperatura de fusión • Punto de solidificación • Calor de fusión • Conductividad eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación • Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Maleabilidad • Ductilidad • Acritud • Fusibilidad • Forjabilidad • Soldabilidad • Templabilidad • Maquinabilidad

Cuadro # 2. Propiedades de Materiales
Tomado de — Ensayos/Index.htm

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

CEMENTO

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las mismas que le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para la formación de un todo compactado.

En general el proceso de fabricación del cemento puede ser simplificado diciendo que éste se produce a través de la interacción química de caliza y sílice a temperaturas de 1400 a 1600 °C, para formar silicatos de calcio primarios. Después de este proceso de calcinación se obtiene un clínker, denominado de Pórtland, que molido finamente constituye el componente principal del cemento. Durante esta última etapa, se le añade yeso (u otra fuente de sulfatos) para controlar su temprana reacción de hidratación.

Durante la calcinación en la fabricación del clínker de cemento Pórtland, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia

prima; esta materia prima generalmente es una mezcla de material calcáreo, como la caliza, marga, creta o coquilla, y un material arcilloso como la pizarra, esquito o escoria de alto horno. Al combinarse forman cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% del peso del cemento, estos se muestran en el cuadro #3

Compuesto	Formula Química	Abreviatura
Silicato Tricálcico	3CaO SiO ₂	C3S
Silicato Dicálcico	2CaO SiO ₂	C2S
Aluminato Tricálcico	3CaO Al ₂ O ₃	C3A
Aluminoferrito Tetracálcico	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C4AF

Cuadro # 3. Compuestos químicos en el cemento Portland
Tomado de —Diseño y control de mezclas de concreto. IMCYC

Silicato Tricálcico: se hidrata y endurece rápidamente y es responsable del fraguado inicial y de la resistencia temprana. En términos generales la resistencia temprana del concreto de cemento Portland es mayor con porcentajes superiores de silicato tricálcico C3S.

Silicato Dicálcico: se hidrata y endurece lentamente y contribuye al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

Aluminato Tricálcico: libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. Contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. El yeso que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación de este compuesto.

Aluminoferrito Tetracálcico: Reduce la temperatura de formación del clinker, se hidrata rápidamente pero su contribución es mínima a la resistencia. La mayoría de efectos de color se debe a este compuesto y a sus hidratos.

Con la adición del agua, los componentes del cemento comienzan a

hidratarse y se forman productos, en su mayoría silicatos de calcio hidratados, que a su vez, comienzan a formar un esqueleto microestructural. Esta microestructura, se produce por el aumento progresivo del número de hidratos formados dentro del esqueleto poroso. A medida que la microestructura gana silicatos de calcio hidratado, la mezcla gana resistencia.

Inmediatamente después de la introducción de agua en la mezcla de cemento, se produce un intenso aumento de la actividad química, esto es la Hidratación.

Tipos de cemento.

Se fabrican diversos tipos de Cementos Portland para satisfacer diferentes necesidades químicas y físicas para propósitos determinados.

Según la ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales) en su norma C 150, estipula ocho tipos de cementos; los que se enlistan en el cuadro #4.

Tipos de Cemento	
Tipo I	: Normal
Tipo IA	: Normal, inclusivador de aire
Tipo II	: Resistencia Moderada a los Sulfatos
Tipo IIA	: Resistencia Moderada a los Sulfatos, inclusivador de aire
Tipo III	: Alta Resistencia a Edad Temprana
Tipo IIIA	: Alta Resistencia a Edad Temprana, inclusivador de aire
Tipo IV	: Bajo Calor de Hidratación
Tipo V	: Resistencia Elevada a los Sulfatos

Cuadro # 4. Tipos de Cemento
Tomado de —Diseño y control de mezclas de concretoll. IMCYC

Cemento Tipo I: Este cemento es de uso general, es adecuado para ser utilizado cuando las propiedades especiales de los otros tipos de cemento no son requeridas. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como en aquellos que tengan un aumento

cuestionable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación.

Cemento Tipo II: Se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de los sulfatos. Este cemento genera normalmente menos calor a menor velocidad que el Tipo I.

Cemento Tipo III: Este Proporciona resistencias elevadas a edades tempranas, normalmente a una semana o menos. Química y Físicamente es igual al Cemento Tipo I, la única diferencia es que las partículas han sido molidas más finamente.

Cemento Tipo IV: Ideal para cuando se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor generada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior respecto de los otros Tipos de Cemento.

Cemento Tipo V: Este se utiliza exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de sulfato. Su resistencia es adquirida más lentamente que en el Cemento Tipo I.

Para este trabajo usamos el cemento **PÓRTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP (ARMADURO)**, porque la adición de puzolanas al cemento es indispensable para contrarrestar el efecto de los sulfatos presentes tanto en suelos como en aguas freáticas. **VER ANEXO .**

“Uno de los mayores problemas que se producen en el cemento portland y de hecho en el hormigón, es causado por la cal. El problema radica en que la cal no se agota por completo al combinarse con los otros compuestos y queda un residuo libre, y disponible (aprox. 1%).

Al combinarse el agua con el cemento, reaccionan químicamente los

componentes, produciendo sales insolubles pero liberando más cal en forma de hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cual se acumula en cantidades muy importantes: hasta un 25 % del volumen del cemento.

La cal libre es el material vulnerable y el causante de la mayoría de los problemas del hormigón.

a) Inestabilidad de volumen del hormigón: La cal libre en el cemento (aprox. 1%), al humedecerse se hincha considerablemente; si el porcentaje es mayor, su hidratación puede provocar fisuras que se manifiestan a los pocos días de finalizado el fraguado del cemento, antes que hormigón haya desarrollado suficiente resistencia.

b) Porosidad y permeabilidad de hormigón: El hidróxido de calcio que se forma al hidratar el cemento es un material soluble y puede ser fácilmente arrastrado por las aguas en movimiento las mismas que pueden fluir por capilaridad por el hormigón.

c) Vulnerabilidad a sales de azufre (sulfatos): Los sulfatos reaccionan con el hidróxido de calcio formando sulfatos de calcio (yeso) aumentando el volumen (cerca del 18%). Provocando fracturas y desprendimiento de capas superficiales, exponiendo las capas interiores y eventualmente las armaduras. Se facilita el progresivo ingreso de agentes agresivos al hormigón principalmente las aguas portadoras de los iones sulfato y otros que estas llevan, reaccionan con algunos de los productos hidratados del cemento en procesos expansivos acumulados. Este deterioro continúa hasta dejar las estructuras inutilizables.

La puzolana reacciona químicamente con la cal a temperatura ambiente y en presencia de humedad.

Estas reacciones son tardías, lentas y continúan combinándose con el

hidróxido de calcio que se libera con la hidratación del cemento.

a) Al combinarse con el hidróxido de calcio, la puzolana forma nuevos compuestos estables y con poder cementante (silicatos y aluminatos de calcio), aumentando el volumen de pasta aglomerante.

b) Los hormigones con cemento portland puzolánico han demostrado ser muy resistentes a la acción de todo tipo de aguas agresivas y otros fenómenos físico - químicos.

c) Las porosidades propias del hormigón disminuyen en tamaño y cantidad volviéndolo menos permeable. Se reduce significativamente el lavado del hidróxido de calcio que aún permanece libre.

d) Los hormigones siguen ganando resistencia en forma notoria después de los 28 días de edad. Hasta 15-20% a los 56 días, hasta 30% a los 120 días de edad, siempre que los hormigones estén protegidos (curados)."¹²

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Los agregados, también llamados áridos, son materiales de forma granular de origen natural o artificial (los más frecuentes son los de origen pétreo aunque algunos materiales sintéticos como las escorias granuladas, limaduras metálicas, poliuretanos se han usado eficientemente) que constituyen entre el 65 y el 85 % del volumen total del hormigón y que aglomerados por el cementante, conforman el esqueleto pétreo o granular del hormigón. Su estudio está más que justificado porque de sus propiedades dependen las que tienen que ver con la resistencia, rigidez y durabilidad del hormigón.

¹²<http://www.lafarge.com.ec/Cemento%20Portland%20Puzolanico%20tipo%20IP.pdf>

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores de 5 mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 y 38 mm. Estos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo; deben ser partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

Los agregados de peso normal deben cubrir los requerimientos de la norma ASTM C33. Esta especificación limita las cantidades permisibles de sustancias contaminantes e informa de los requisitos para las características de los agregados.

“Existen distintas formas de clasificar los agregados siendo las más comunes:

a) Por su densidad.- Estos son:

Normales: Son los agregados de uso más generalizado y en el 90 % de las construcciones se los utiliza. El peso unitario está comprendido entre 1000 a 1800 kg/m³.

Livianos: Su peso unitario está por debajo de los 1000 kg/m³ (700 a 800 kg/m³) y con su uso se obtienen hormigones livianos.

Pesados: Tienen un peso unitario superior a los 2000 kg/m³ y provienen de rocas que contienen elementos pesados, por ejemplo, hierro, bario, plomo. Se los emplea para la elaboración de hormigones pesados para pantallas contra radiaciones.

b) Por su composición mineralógica.- Se da una clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca:

Ígneas.- Se producen por el enfriamiento del magma, pueden ser de dos tipos: las rocas intrusivas o plutónicas que se producen por debajo de la superficie terrestre debido a un enfriamiento lento del magma y las extrusivas o volcánicas que se producen por un enfriamiento brusco del magma en la superficie terrestre al ser expulsado por los volcanes.

Metamórficas.- La formación de este tipo de roca se da por un proceso que involucra altas presiones, temperaturas extremas y fuerzas que se producen en la superficie terrestre sobre roca que pueden ser de origen ígneo, sedimentario o las mismas metamórficas. Estas presiones producen cambios importantes en las estructuras de las rocas, ya sea de composición física o química.

Sedimentarias.- Este tipo de rocas se produce por la acumulación de materiales sobre la corteza terrestre debido a la erosión de otras rocas preexistentes. Generalmente, su consolidación depende del tiempo que haya transcurrido, es así que muchas de ellas no tienen una consolidación muy fuerte y se desmenuzan fácilmente.

c) Por el método de extracción.- Según el procedimiento de producción, los agregados pueden clasificarse como:

Naturales.- Debido a la cantidad de roca y distintas formas por la cuales se puede producir una fragmentación natural.

Artificiales.- En el caso que no existan agregados naturales hay que buscar fuentes de materiales para, por medios mecánicos obtener agregados adecuados para la construcción teniendo en cuenta además la calidad intrínseca de la roca, la forma de la partícula, granulometría y

limpieza. Los cuales se los puede subclasificar de la siguiente manera:
Minerales tratados térmicamente.

Trituración.

Reciclado.

d) Por su tamaño.- Se dividen en:

Agregado grueso.- Es el agregado que de acuerdo con su tamaño nominal, queda retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm). El tamaño del agregado grueso esta dictado por el espacio entre refuerzo o elementos incrustados. La falta de agregado grueso o el menor tamaño de este inciden en la cantidad de cemento necesaria para el hormigón que redunde en la cantidad de calor generada en la etapa de hidratación, la posibilidad de agrietamiento por cambio volumétrico y condiciones para colocación de hormigón.

El tamaño máximo de agregado grueso no debe ser menor a la cuarta parte de la menor dimensión de la estructura ni los dos tercios de la distancia libre entre refuerzos entre barras horizontales o donde hay más de un refuerzo vertical para cortante. Caso contrario, la norma para el agregado grueso en el hormigón masivo es utilizar el mayor tamaño de agregado grueso que sea practico.

El agregado grueso debe permanecer libre de sustancias dañinas, la tabla 10 muestra los porcentajes admisibles de ciertas sustancias.

Tabla 1. Porcentaje máximo permitido de sustancias dañinas en el agregado grueso (por peso).

Tipo de Sustancia	Porcentaje (por peso)
Material que pasa el tamiz N° 200 (75 um)	0.5
Material Ligero.	2.0
Grumos de Arcilla.	0.5
Otras sustancias dañinas	1.0

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 10)

La proporción de los agregados en la mezcla de hormigón influye de manera contundente en la trabajabilidad. En Estados Unidos de Norteamérica se recomienda para hormigones el uso de las proporciones de agregado que se muestran en la tabla 2, estas granulometrías han rendido grandes resultados en los que tiene que ver a trabajabilidad.

Tabla 2.- Requisitos para la clasificación de agregados gruesos.

Tamaño Tamiz (mm)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz			
	(6 – 3 pulg.) 150 – 75 mm	(3 – 1 ½ pulg.) 75 – 37.5 mm	(1 ½ - ¾ pulg.) 37.5 – 19 mm	(¾ - N° 4) 19 – 4.75 mm
175	100			
150	90 – 100			
100	20 – 45	100		
75	0 – 15	90 – 100		
50	0 - 5	20 – 55	100	
37.5		0 – 10	90 – 100	
25		0 – 5	20 – 45	100
19			1 – 10	90 – 100
9.5			0 – 5	30 – 55
4.75				0 – 5

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 11)

Agregado fino.- Es el agregado que pasa por lo menos el 95% el tamiz N° 4 (4,75 mm) y queda retenido en el tamiz N° 200 (75 µm).

El agregado fino debe consistir en partículas resistente, densa, durable, sin partículas de otro material. No debe contener cantidades dañinas de arcilla, limo, polvo, mica, materia orgánica u otras impurezas, ya sea por separado o en conjunto, pues estas vuelven imposible alcanzar las propiedades requeridas por el hormigón cuando se encuentran en proporciones considerables.

Tabla 3.-Sustancias nocivas que limitan las propiedades del hormigón.

Tipo de Sustancia	Porcentaje % (por peso)
Arcilla en grumos o partículas libres.	3.0
Material fino pasante tamiz N° 200:	
Para hormigón sujeta a abrasión	3.0*
Todos los demás hormigones	5.0*
El carbón y el lignito:	
En caso de que la apariencia de la superficie del hormigón sea de importancia.	0.5
Todos los demás hormigones	1.0
*En el caso de arenas trituradas, si el material pasa el tamiz N° 200 (75 mm) consiste en polvo de la fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites podrán incrementarse hasta el 5 por ciento para hormigón sujeta a la abrasión y 7 por ciento para todos los demás hormigones.	

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 9)

La graduación del agregado fino influye fuertemente en la trabajabilidad del hormigón.

Una buena clasificación de arena para hormigón masivo debe estar dentro de los límites que muestra la tabla 4.

Tabla 4.- Agregado fino para hormigón.

Tamiz	Porcentaje retenido, por cada peso
3/8 inch (9.5 mm)	0
N° 4 (4.75 mm)	0 – 5
N°8 (2.36 mm)	5 – 15
N° 16 (1.18 mm)	10 – 25
N° 30 (600 um)	10 – 30
N° 50 (300 um)	15 – 35
N° 100 (150 um)	12 – 20
Fracciones Menores	3 – 7
U. S. Bureau of Reclamation 1981	

(Fuente: ACI 207.1R-96, capítulo 2, página 9)

La investigación en laboratorio puede mostrar otras graduaciones satisfactorias, esto permite un amplio margen de graduaciones.

Pruebas en Agregados.

Propiedades de los agregados.- Los requisitos de calidad establecidos para los agregados se pueden separar en dos grupos:

Grupo A.- Las partículas deben ser duras, resistentes y durables.

Grupo B.- Las partículas deben estar limpias, libres de impurezas, de tamaño y forma adecuadas.

Si el material en estudio no reúne alguna de las características del Grupo A, no podrá ser empleado como agregado para hormigón, por ser estas características determinantes, y no es posible modificarlas.

Si en cambio no se cumplen las condiciones del Grupo B, las mismas se pueden corregir, por lavado o cribado.

Uno de los problemas regulares del agregado es el polvo que se adhiere a la superficie del mismo, el cual es frecuente en arenas de lechos de ríos o playas, puede aparecer entre los agregados en el proceso de trituración, aparecen por transporte mediante palas de arrastre con la incorporación de partículas del suelo.

Esto provoca una disminución de la resistencia mecánica del hormigón en especial la resistencia a tracción, además el polvo, por el proceso de exudación, llega a la superficie del hormigón formando una película de polvo, cemento y agua fácilmente desgastable y aumentar el contenido de cemento, el contenido de agua de mezclado, o ambos, manteniendo

constante la relación a/c.”¹³

Al menos tres cuartas partes del volumen del hormigón están ocupadas por agregados, en tal virtud sus propiedades físicas, térmicas y químicas, influyen en el comportamiento del hormigón, lo que demuestra que las características de resistencia de los agregados son importantes.

Distintos autores han realizado estudios con la finalidad de demostrar cuales son las propiedades de los agregados que influyen directamente en el hormigón, la tabla 5 muestra la influencia del agregado en el hormigón con respecto a la resistencia, y características térmicas.

¹³ Tesis 763. Manovanda Laica Carlos David.

Tabla 5.- **Propiedades de los agregados que influyen en el hormigón.**

PROPIEDADES DEL HORMIGON INFLUENCIADAS POR LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO			
Propiedad Relativa del Agregado	Ensayo estándar	Valores Típicos	Referencias
Propiedad del concreto: Resistencia			
Fuerza de tensión	ASTM D 2936 - Núcleos de roca	300 - 2300 psi	2,2
Fuerza de compresión	ASTM D 2938 - Núcleos de roca	10,000 - 40,000 psi	
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Placa de Color No. 3 o menos	4,5
	ASTM C 87	85 A 105 %	
Forma de la partícula	ASTM C 295 - Petográfico	Aparición de partículas	4,4
	ASTM D 4791 - Agregado Grueso	% plano o alargado	5,1
	CRD-C-120- Agregado fino	% plano o alargado	
	ASTM D 3398	Índice de la forma de la partícula	
	ASTM C 29	38 a 50 %	
Conglomerado de Arcilla y partículas desintegrables	ASTM C 142	0,5 A 2 %	4,3,1
	CRD-C141 - Desgaste del agregado fino	Cantidad de agregados finos generados	5,1
	ASTM C 1137	Igual que el anterior	
Tamaño máximo	ASTM C 136 - Análisis de tamizado	1/2 a 6 in	4,2,2
Propiedad del concreto - Características Térmicas			
Coefficiente de la expansión térmica	CRD - C - 125	1.0 - 9.0 x 10 ⁻⁶ F	2,4
Módulos de elasticidad	Ninguna	1.0 - 10.0 x 10 ⁶ psi	
Calor específico	CRD - C - 124		
Conductividad	Ninguna		
Disifusividad	Ninguna		

(Fuente: ACI 221R-96, capítulo 1, página 4)

Los agregados se dividen en dos grupos de tamaño: agregado fino, llamado a menudo arena con partículas no mayores a 4,75mm y agregado grueso, que comprende el material mayor de 4,75mm.

Agregado Fino

El agregado fino tiene la función de ocupar los espacios vacíos que se forman entre las partículas de agregado grueso, de esta manera se reduce considerablemente la cantidad de cemento necesaria para lograr la resistencia requerida. La tabla 6 muestra los ensayos de caracterización del agregado fino.

Tabla 6.- Ensayos de caracterización de agregado fino.

Nombre de ensayo	Norma
Densidad y Absorción (%)	ASTM C-127
Granulometría (modulo de finura)	ASTM C-136, ASTM C-33
Masa específica y masa unitaria (g/cm ³)	ASTM C-29, ASTM C-138
Taza de arcilla en grumos (%)	ASTM C-142
Resistencia al ataque de Sulfato de Sodio	ASTM C-88
Detección de impureza orgánica	ASTM C-40
Análisis petrográfico	ASTM C-295
Reactividad potencial	ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-1260/01

(Elaboración: Autor)

Agregado Grueso

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un

agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). La tabla 7 muestra los ensayos de caracterización del agregado grueso.

Tabla 7.- Ensayos de caracterización de agregado grueso.

Nombre de ensayo	Norma
Densidad y Absorción (%)	ASTM C-127
Granulometría (modulo de finura)	ASTM C-136, ASTM C-33
Masa específica y masa unitaria (g/cm ³)	ASTM C-29, ASTM C-138
Abrasión Los Ángeles (% perdida)	ASTM C-131
Resistencia al ataque de Sulfato de Sodio	ASTM C-88
Análisis petrográfico	ASTM C-295
Reactividad potencial	ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-1260/01

(Elaboración: Autor)

Se puede incluir de forma opcional el índice de forma del agregado, los métodos existentes para la determinación de este índice son empíricos y no se encuentran estandarizados, motivo por el cual se los excluye de los ensayos recomendados como obligatorios.

Agua

El agua utilizada para la mezcla de hormigón debe estar libre de materiales que afectan significativamente las reacciones de la hidratación del cemento portland.

El agua que es apta para beber en general puede considerarse como aceptable para el uso en la mezcla del hormigón. La Potabilidad se opone a cualquier contenido objetable de cloruros.

Como regla, el agua con PH de 6,0 a 8,0 o posiblemente hasta 9,0, que no tenga sabor solubre es adecuado para usar.

Cuando es conveniente determinar si el agua contiene materiales que afectan significativamente el desarrollo de la fuerza de cemento, las

pruebas comparativas se realizarán en morteros hechos con agua de la fuente y con agua destilada.

Aditivos

“Los aditivos para hormigón son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Importantes beneficios que pueden proporcionar al hormigón masivo en estado plástico: el aumento de trabajabilidad y/o reducir el contenido de agua, retrasar el fraguado inicial, modificar la rata y/o capacidad de sangrado, reduce la segregación.

Propiedades que pueden proporcionar al hormigón masivo en estado endurecido: reducción de la generación de calor durante el endurecimiento, incremento de capacidad portante, disminución del contenido de cemento, aumento de la durabilidad, disminución de permeabilidad, mejor resistencia a la abrasión/erosión.

La norma que cubre de forma amplia las adiciones químicas se encuentran en el ACI 212.3R y ASTM C-494. Los aditivos para incorporación de aire están normados por ASTM C-260.

Para este trabajo usamos el aditivo **SIKA VISCOCRETE 2100**, porque es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos. Diseñado para cumplir con todos los requerimientos de la Norma ASTM C-494. **VER ANEXO FICHA TECNICA.**

Diseño de mezclas

Existe una gran cantidad de métodos empíricos de diseño de mezclas para obtener hormigones con características específicas, sin embargo todos estos métodos deben ser tomados solamente como referenciales pues siempre requieren de pruebas de laboratorio para su afinamiento.

En la Norma NTE INEN 1 855 - 1:2001 2001- 08 en el numeral 3.1.3 menciona que el Diseño de Mezcla es la selección de las proporciones de las materias primas necesarias para producir el hormigón con las propiedades requeridas y las características de resistencia y/o durabilidad especificadas.

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase de colocación en obra y de uso.

Propiedades del Hormigón Fresco

El hormigón fresco es el producto del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un año después de su amasado. El hormigón fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado.

Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

a) Consistencia: Es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

b) Docilidad: Es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone.

c) Homogeneidad: Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de hormigón fresco separadas entre sí.

e) Masa específica: Es la relación entre la masa del hormigón fresco y el volumen ocupado.

Puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar. La densidad del hormigón fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado. Se mide en kg/m^3

f) Tiempo abierto: Es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el hormigón sin merma de sus características.

Propiedades del Hormigón Endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del

final de fraguado.

El hormigón endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y la red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades del hormigón endurecido son:

a) La densidad: Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m³. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³. Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³.

b) Compacidad: Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.

c) Permeabilidad: Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases.

El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

d) Resistencia: El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa. (Megapascales) y llegan hasta 50Mpa en hormigones normales y 100Mpa. en hormigones de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas

aplicaciones.

La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

e) Dureza: Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Schmidt.

f) Retracción: Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación.

Además en el hormigón endurecido está presente el agua en distintos estados:

f Agua combinada químicamente o de cristalización

f Agua de gel

f Agua zeolítica o intercristalina¹⁴

2.5 HIPOTESIS:

El Hormigón de Alta Resistencia influye positivamente en la Durabilidad de la Capa de Rodadura de las Vías el cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES:

2.6.1 Variable Independiente

¹⁴ <http://www.dspace.espol.edu.ec/>

Hormigones de alta resistencia.

2.6.2 Variable Dependiente:

Durabilidad de la capa de rodadura de las vías del cantón Ambato,
Provincia de Tungurahua.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE

El presente proyecto se basa en una investigación cuali-cuantitativa definida a través de una investigación de campo, obteniendo información real y directa de los materiales pétreos constituyentes del hormigón. Será necesario la interpretación de datos con la aplicación de las normas vigentes en el país, además se realizará el análisis y diseño de hormigones de alta resistencia, siendo primordial determinar las propiedades de los agregados, para obtener óptimos resultados al ensayar las probetas y encontrar las resistencias para calificar la durabilidad de la capa de rodadura propuesta en esta investigación.

3.2 MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACION

El diseño de la investigación se toma en consideración por las siguientes modalidades:

Por el objetivo, se utilizó la investigación aplicada porque los resultados obtenidos darán una mejor visión de cómo resolver el proceso de mejoramiento del diseño de la estructura y analizar las mejores técnicas constructivas para un proyecto.

Por el lugar, será una investigación de campo se realizará un estudio y recolección de muestras directamente de las minas, el Salvador ubicada en Aguajan y la Planta de Trituración la Alvarado Ortiz ubicado en la Península, que ayudará a analizar sus limitaciones, las ventajas,

desventajas y mejor aprovechamiento del lugar.

En atención a la problemática expuesta se elaborará también una investigación de laboratorio, ya que se deberá utilizar un lugar que tenga los requisitos para realizar ensayo de los materiales que muestren datos específicos y referencia del sector como la calidad de los agregados y de los recursos que pueden usar establecidos en las Normas INEN, NEC 11, Código ASTM.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Esta investigación se ha iniciado con el nivel exploratorio, utilizando una metodología flexible de sondeo de causas de la infraestructura; también se reconoció una variable independiente: Estudio de hormigones de alta resistencia; una variable dependiente: Durabilidad de la capa de rodadura de las vías del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua; de igual manera se generó varias hipótesis que ayudaron a encontrar una salida al problema en estudio.

Cabe considerar que en el nivel de Asociación de Variables se evaluará las transiciones de comportamiento de una variable en función de la otra, así como también se determinaran procesos y técnicas de construcción.

La investigación es de campo y cualitativa, porque trabaja directamente con los miembros representantes de las entidades mencionadas, que nos permite establecer conclusiones más asertivas de la presente investigación.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La encuesta se realizará a los representantes de:

1. Colegio de Ingenieros Civiles de Tungurahua

2. Cámara de la Construcción de Tungurahua
3. Municipio de Tungurahua
4. Universidad Técnica de Ambato
5. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
6. Laboratorio de materiales de la Universidad Técnica de Ambato
7. Laboratorio de materiales de la I. Municipalidad de Ambato y laboratorio de Sika.

Los profesionales a cargo de estas entidades son de vital importancia para el desarrollo de la investigación, porque muchos de ellos realizan ensayos destructivos y no destructivos, participan en comités para la elaboración de normas y recomendaciones y son parte de los organismos reguladores de la construcción en Ecuador, además que por facilidad se encuentran en la ciudad, lo que facilita el acceso al desarrollo del trabajo.

3.5 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

A) VARIABLE INDEPENDIENTE

Hormigones de alta resistencia.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Un concreto de alta Resistencia es diseñado para ser más durable y si es necesario más resistente que un concreto convencional son diseñadas para proveer la resistencia y durabilidad necesaria para los requerimientos estructurales y medioambientales del proyecto.	Resistencia a compresión	Resistencia característica	¿Cómo se determina la resistencia a Compresión?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM
	Resistencia a flexión	Resistencia MR	¿Cómo se determina la resistencia a Flexión?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM se
	Resistencia a Tracción	Prueba Brasilera	¿Cómo se determina la resistencia a Tracción?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM

Tabla 3.8: Operacionalización de la Variable Independiente

B) VARIABLE DEPENDIENTE

Influencia en la durabilidad de la capa de rodadura de las vías del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>La Durabilidad es propiedad del concreto endurecido es la capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea; los ataques químicos, físicos o biológicos, a los cuales puede estar expuesto; los efectos de la abrasión, la acción del fuego y las radiaciones: la acción de la</p>	Abrasión	Desgaste	Porcentaje de desgaste	Investigación Bibliográfica
	Álcali-agregado	Expansión	Porcentaje de expansión	Estudio Lafarge

Tabla 3.9: Operacionalización de la Variable Dependiente

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
1.- ¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar una propuesta técnica que garantice un óptimo aprendizaje profesional - Estudiantil, al Analizar el estudio hormigones de alta resistencia para vías para implementar en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. • Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, agua, cemento y aditivos para este tipo de hormigones. • Estudio completo sobre los pavimentos con hormigones de alta resistencia.
2.- ¿De qué personas u objetos?	<ul style="list-style-type: none"> • De agregados del cantón Ambato, cemento selva alegre, aditivos. • Vigas y cilindros de hormigón normalizados.
3.- ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de hormigón. • Resistencia a compresión • Resistencia a flexión • Resistencia a Tracción Indirecta
4.- ¿Quiénes?	<ul style="list-style-type: none"> • El investigador
5.- ¿Cuándo?	<ul style="list-style-type: none"> • Marzo del 2014 Abril del 2015
6.- ¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio: universidad técnica de Ambato Municipio de Ambato, Sika, cementera Lafarge.
7.- ¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> • La técnica utilizada: Pruebas en los laboratorios • Investigaciones normas INEN Y ASTM
8.- ¿Con qué?	Instrumento: Encuesta Socio-Económica (ANEXOS)

Tabla 3.10: plan de recolección de la información

3.6.1 Técnicas Indirectas

Como técnicas indirectas usadas en esta investigación fueron los textos bibliográficos, artículos, documentos físicos y electrónicos que permitieron profundizar el resultado de la investigación.

3.6.2 Técnicas Directas

Las técnicas directas utilizadas en esta investigación fueron:

3.6.2.1 La Observación

La convivencia con profesionales de la construcción en mi vida laboral me permite conocer los problemas más comunes de las vías, sus posibles causas e inconvenientes, pero sobre todo he podido evidenciar el grave deterioro que sufren y los síntomas que presentan durante su funcionamiento, que en la mayoría de los casos ha sido tomado muy a la ligera, sin tomar en cuenta la vida útil para la que fue diseñada.

3.6.2.2 La Encuesta

Una encuesta es un **estudio observacional** en el cual el investigador busca recaudar datos por medio de un cuestionario prediseñado. Los datos se obtienen a partir de realizar un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa en estudio, con el fin de conocer estados de opinión, características o hechos específicos.

A continuación se detalla las preguntas previamente diseñadas, que son una mezcla de preguntas abiertas y cerradas:

1.- ¿Usted tiene conocimiento si en Ambato existe una guía para diseñar Hormigones de Alta Resistencia y pavimentos rígidos?

2.- ¿En la actualidad existen estructuras en la ciudad de Ambato construidas con Hormigones de Alta Resistencia en la ciudad de Ambato?

3.- ¿Cree usted que es conveniente reemplazar la capa de rodadura por un concreto de Alta Resistencia?

4.- ¿Sabe usted, hasta que resistencias se puede conseguir con los agregados de la localidad?

3.7 PROCESAMIENTO Y ANALISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Al finalizar este trabajo de investigación se elaborara la respectiva propuesta:

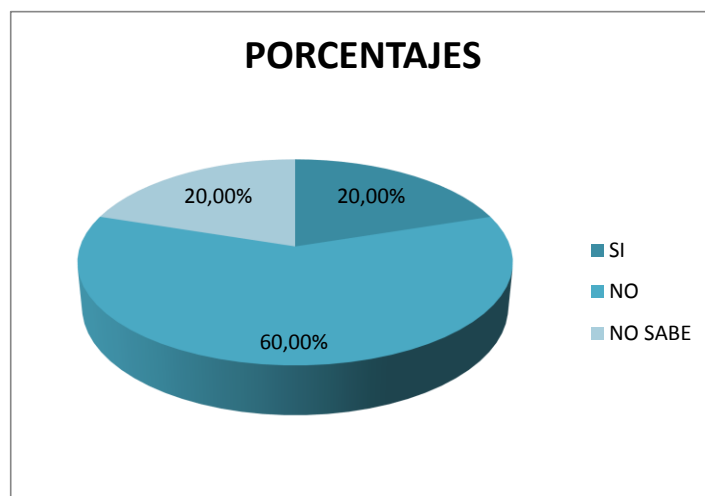
- La tabulación de los datos se los obtendrá de forma manual y representación gráfica circular; se creará un análisis y evaluación sobre los datos obtenidos para determinar la tendencia, de manera que y permita verificar la hipótesis planteada emitiendo conclusiones acerca de la investigación desarrollada.

RESULTADO DE ENCUESTAS				
Persona Encuestada	Pregunta. 1	Pregunta. 2	Pregunta. 3	Pregunta. 4
Ing. Santiago Medina	si	no sabe	si	no
Ing. Dilon Moya	si	si	si	si
Ing. Francisco Cevallos	no	si	no	no
Ing. Oswaldo Manotoa	no sabe	no	si	no sabe
Ing. Byron Leica	no	si	no sabe	no sabe
Ing. Francisco Aillon	no sabe	si	si	no
Ing. Ricardo Ulloa	no	si	si	no sabe
Ing. José Alvarado	no	si	si	no
Ing. Piedad López	no	si	si	no sabe
Ing. Iván Sanguil	no	no	si	no

Evaluación de resultados

1.- ¿Usted tiene conocimiento si en Ambato existe una guía para diseñar Hormigones de Alta Resistencia y pavimentos rígidos?

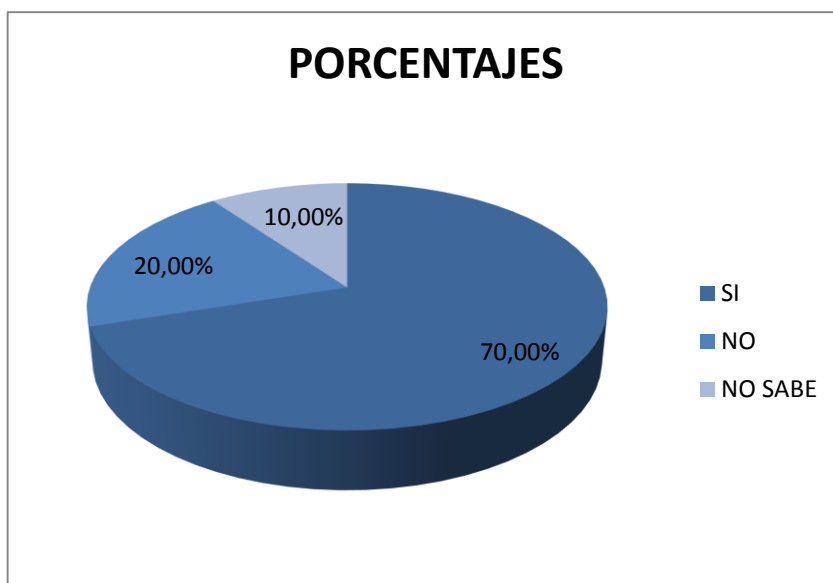
OPCIONES	RESPUESTA	PORCENTAJES
SI	2	20,00%
NO	6	60,00%
NO SABE	2	20,00%
TOTAL	10	100,00%



De la pregunta número 1 podemos analizar que el 60% de los encuestados desconocen de la existencia de una guía técnica para diseñar hormigones de Alta resistencia y pavimentos rígidos, en cambio el 20% afirman conocer la existencia de la misma.

2.- ¿En la actualidad existen estructuras en la ciudad de Ambato construidas con Hormigones de Alta Resistencia en la ciudad de Ambato?

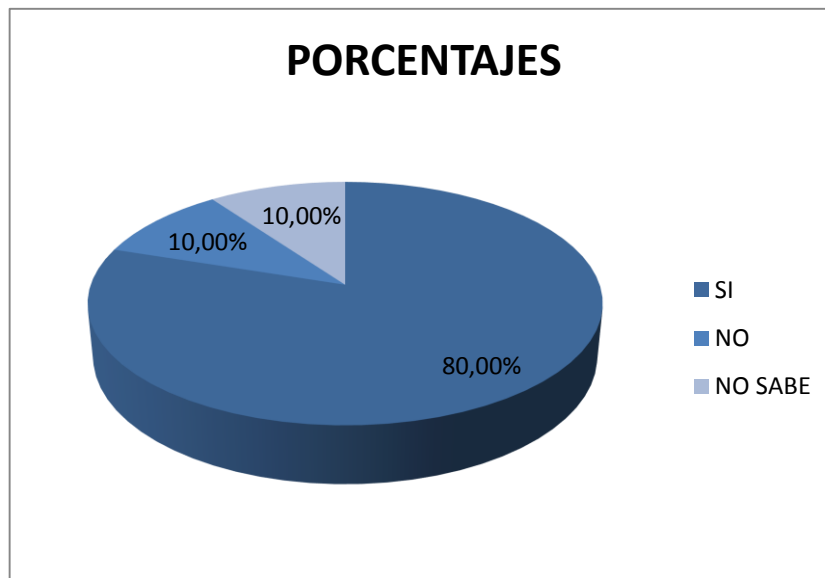
OPCIONES	RESPUESTA	PORCENTAJES
SI	7	70,00%
NO	2	20,00%
NO SABE	1	10,00%
TOTAL	10	100,00%



De la pregunta número 2 podemos analizar que el 70% de los encuestados conocen de la existencia de estructuras construidas con hormigones de Alta resistencia en la ciudad de Ambato, en cambio el 20% desconocen la existencia de la misma.

3.- ¿Cree usted que es conveniente reemplazar la capa de rodadura por un concreto de Alta Resistencia?

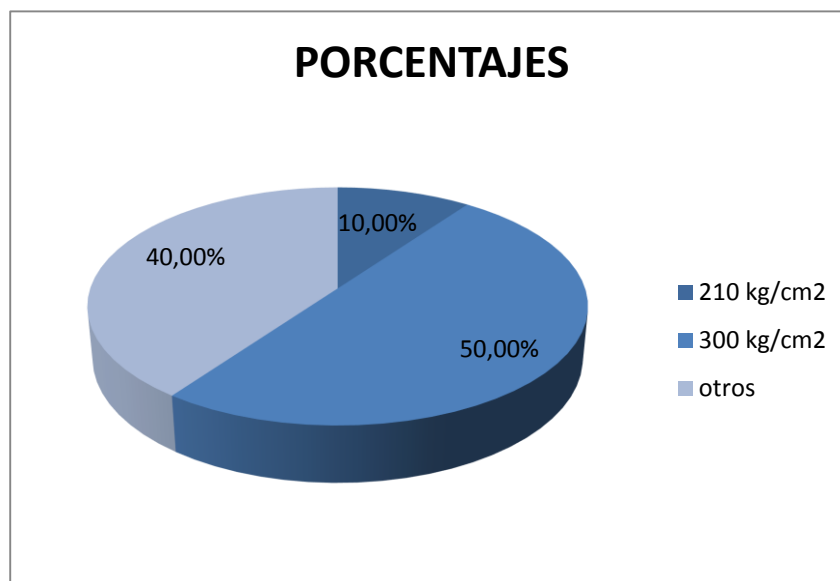
OPCIONES	RESPUESTA	PORCENTAJES
SI	8	80,00%
NO	1	10,00%
NO SABE	1	10,00%
TOTAL	10	100,00%



De la pregunta número 3 podemos analizar que el 80% de los encuestados están de acuerdo que es conveniente reemplazar la capa de rodadura por un concreto de Alta Resistencia en la ciudad de Ambato, en cambio el 10% no está de acuerdo con el remplazo de la misma .

4.- ¿Sabe usted, hasta que resistencias se puede conseguir con los agregados de la localidad?

OPCIONES	RESPUESTA	PORCENTAJES
210 kg/cm ²	1	10,00%
300 kg/cm ²	5	50,00%
otros	4	40,00%
TOTAL	10	100,00%



De la pregunta número 4 podemos analizar que el 50% de los encuestados conocen que con los agregados de la ciudad de Ambato podemos obtener resistencias hasta 300 kg/cm², en cambio el 40% conoce resistencias que llegan hasta los 400 kg/cm².

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para este capítulo se procedió a realizar las pruebas de laboratorio para agregado fino, agregado grueso así como uno de los cementos más usado en la construcción de obras civiles, cemento Selvalegre; todo con el fin de determinar las propiedades mecánicas de los agregados pétreos de las canteras en estudio.

4.1.1 ENSAYOS REALIZADOS

4.1.1.1 AGREGADO GRUESO

Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado
Peso Específico
Capacidad de Absorción
Resistencia al Desgaste

4.1.1.2 AGREGADO FINO

Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado
Peso Específico
Capacidad de Absorción

**ANÁLISIS FÍSICO DEL
AGREGADO GRUESO**

**PLANTA DE TRITURACIÓN DE
ARIDOS CONSTRUCTORA
ALVARADO**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Análisis Granulométrico

Especificación para agregado ASTM C-33

Norma técnica Ecuatoriana INEN 696

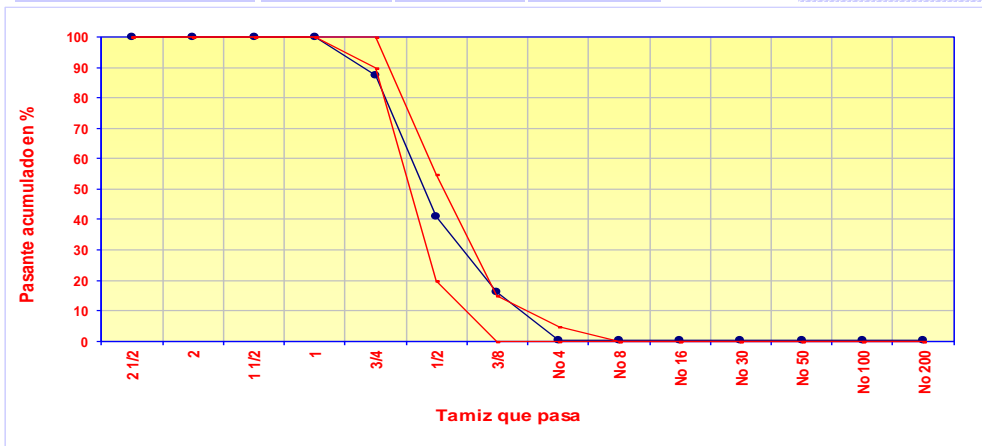
Ensayado por: **Salinas Edgar**

Fuente del material **Grava Mina Alvarado**

Fecha **42076**

56 (25,0 a 9,5 mm)

Tamiz		Peso parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificación	
Pulg	mm					Limite Superior	Limite Inferior
2 1/2	63,5		0,0	0,0	100,0	100	100
2	50,0		0,0	0,0	100,0	100	100
1 1/2	38,1		0,0	0,0	100,0	100	100
1	25,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4	19,0	322,2	12,5	12,5	87,5	100	90
1/2	12,5	1.194,4	46,5	59,0	41,0	55	20
3/8	9,5	635,3	24,7	83,8	16,2	15	0
No 4	4,75	404,9	15,8	99,5	0,5	5	0
No 8	2,36	3,1	0,1	99,6	0,4	0	0
No 16	1,18	0,0	0,0	99,6	0,4	0	0
No 30	0,6	0,0	0,0	99,6	0,4	0	0
No 50	0,3	0,0	0,0	99,6	0,4	0	0
No 100	0,15	0,0	0,0	99,6	0,4	0	0
No 200		0,0	0,0	99,6	0,4	0	0
Fondo		9,5	0,4	100,0	0,0		
TOTAL		2.569,4	Modulo de finura	6,94		Tamaños estándar de agregados procesados	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
MASAS UNITARIAS DE ARIDOS GRUESOS			
<i>A S T M C - 29</i>			
Ensayado por:		<i>Salinas Edgar</i>	
Fuente del Material:		<i>Grava Cantera Alvarado</i>	
Fecha:		<i>01-sep-14</i>	
V =	Volumen del Recipiente cm3	2748	
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
P1=	3744,8	P1=	4069,2
P2=	3726,0	P2=	4065,7
P3=	3670,3	P3=	4055,8
PROM. =	3714 GR.	PROM. =	4064 GR.
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
1,351	GR/CM3	1,479	GR/CM3
Observaciones :			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES	
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO	
ASTM C-127 o INEN 857	
Ensayado por:	<u>Salinas Edgar</u>
Fuente del Material:	<u>Grava Mina Alvarado</u>
Tipo de material :	<u>Grava Triturada</u>
Fecha:	<u>01-sep-14</u>
 DATOS : 	
a.-	1711,1 gm
b.-	1757,4 gm
c.-	1101,6 gm
 DENSIDAD y ABSORCION : 	
ds.-	2,609 kg/m ³
dsss.-	2,680 kg/m³
d.-	2,807 kg/m ³
po.-	2,706 %
 Nomenclatura y Formula : 	
a.-	Masa en el aire de la muestra secada al horno
b.-	Masa en el aire del àrido en estado saturado superficialmente seco
c.-	Masa en el agua del àrido en estado saturado superficialmente seco
ds.-	Densidad del volumen de masa
dsss.-	Densidad del volumen saturado superficialmente seco
d.-	Densidad del volumen aparente del àrido
po.-	Porcentaje de absorciòn del agua en el àrido
Visto Bueno	_____

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES****CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL****ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA****RESISTENCIA AL DESGASTE - PRUEBA DE LOS ANGELES AGREGADO GRUESO***Norma técnica Ecuatoriana INEN 860**Ensayado por: Salinas Edgar**Fuente del material: Grava Mina Alvarado**Fecha: 01-sep-14*

CORRESPONDENCIA	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DE LA MUESTRA ANTES DE ENSAYO	gr	5000,0	5000
PESO MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO. #12	gr	2807,9	2829,1
PESO MUESTRA PASANTE #12	gr	2192,1	2170,9
% AL DESGASTE	%	43,8	43,4
PROMEDIO	%	43,6	

ANÁLISIS FÍSICO DEL

AGREGADO FINO

CANTERA EL SALVADOR

AGUAJAN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Análisis Granulométrico

Especificación para agregado ASTM C-33

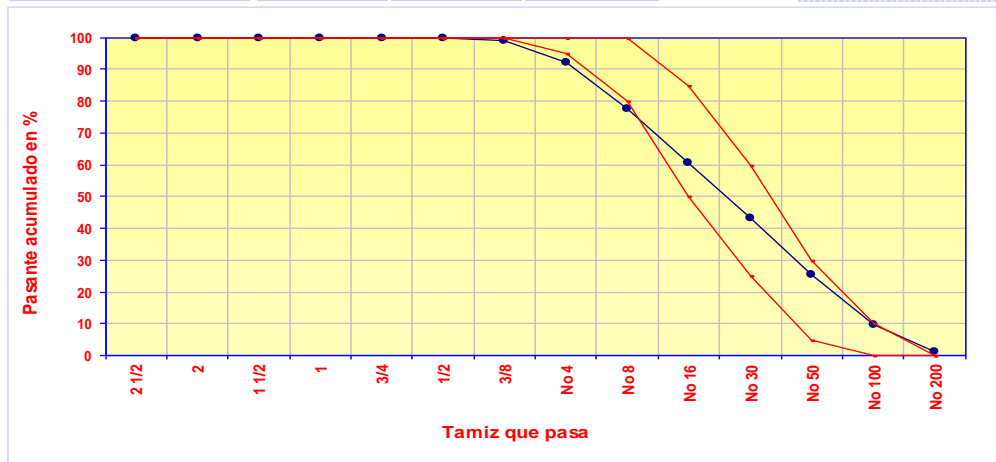
Norma técnica Ecuatoriana INEN 696

Ensayado por: Salinas Edgar

Fuente del material: Arena Lavada Cantera el Salvador

Fecha: 01-sep-14

Tamiz		Peso parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificación	
Pulg	mm					Limite Superior	Limite Inferior
2 1/2	63,5		0,0	0,0	100,0	100	100
2	50,0		0,0	0,0	100,0	100	100
1 1/2	38,1		0,0	0,0	100,0	100	100
1	25,0		0,0	0,0	100,0	100	100
3/4	19,0		0,0	0,0	100,0	100	100
1/2	12,5	3,1	0,3	0,3	99,7	100	100
3/8	9,5	6,6	0,6	0,8	99,2	100	100
No 4	4,75	81,5	7,0	7,9	92,1	100	95
No 8	2,36	170,1	14,6	22,5	77,5	100	80
No 16	1,18	197,5	17,0	39,5	60,5	85	50
No 30	0,6	201,6	17,4	56,8	43,2	60	25
No 50	0,3	206,6	17,8	74,6	25,4	30	5
No 100	0,15	183,9	15,8	90,5	9,5	10	0
No 200		98,2	8,5	98,9	1,1	0	0
Fondo		12,6	1,1	100,0	0,0		
TOTAL		1.161,7	Modulo de finura	2,93		Tamaños estándar de agregados procesados	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
MASAS UNITARIAS DEL AGREGADO FINO			
<i>ASTM C-29</i>			
<i>Ensayado por:</i>		<i>Salinas Edgar</i>	
<i>Fuente del Material:</i>		<i>Arena Cantera el Salvador</i>	
<i>Fecha:</i>		<i>01-sep-14</i>	
V =	Volumen del Recipiente cm³		2748
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
P1=	4163,2	P1=	4561,0
P2=	4244,8	P2=	4625,8
P3=	4189,9	P3=	4582,7
PROM. =	4199	GR.	PROM. = 4590 GR.
<hr/>			
MASA UNITARIA SUELTA		MASA UNITARIA COMPACTADA	
<hr/>		<hr/>	
1,528 GR/CM³		1,670 GR/CM³	
Observaciones :			
<hr/>			
<hr/>			
<hr/>			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION DE LA ARENA
ASTM C-128 o INEN 856
<p>Ensayado por: <u>Salinas Edgar</u></p> <p>Fuente del Material: <u>Arena Cantera el Salvador</u></p> <p>Fecha: <u>01-sep-14</u></p>
DATOS :
<p>a.- 484,5 gm</p> <p>b.- 673,7 gm</p> <p>c.- 977,0 gm</p> <p>s.- 500,0 gm</p>
DENSIDAD y ABSORCION :
<p>ds.- 2,463 kg/m³</p> <p>dsss.- 2,542 kg/m³</p> <p>d.- 2,674 kg/m³</p> <p>po.- 3,20 %</p>
Nomenclatura y Formula :
<p>a.- Masa en el aire de la muestra secada al horno</p> <p>b.- Peso del pignometro lleno con agua</p> <p>c.- Peso del pignometro con muestra y agua hasta la marca de calibración</p> <p>s.- Peso en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco</p> <p>ds.- Densidad del volumen de masa</p> <p>dsss.- Densidad del volumen saturado superficialmente seco</p> <p>d.- Densidad del volumen aparente del àrido</p> <p>po.- Porcentaje de absorción del agua en el àrido</p>
<p>Visto Bueno _____</p>

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES****CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL****ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA****RESUMEN DE RESULTADOS**

Origen **Planta de Trituración de Áridos Constructora Alvarado**
Ensayado por: **Egdo. Salinas Edgar**
Fecha: **01-sep-14**

AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
TAMAÑO NOMINAL MAXIMO	mm	19,0
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm3	1,351
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm3	1,479
PESO ESPECIFICO	gr./cm3	2,680
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	2,706
ABRACION	%	43,6

RESUMEN DE RESULTADOS

Origen **Canteras el Salvador Aguajan**
No **30**
Fecha: **01-sep-14**

AGREGADO FINO (ARENA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
MODULO DE FINURA		2,93
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm3	1,528
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm3	1,670
PESO ESPECIFICO	gr./cm3	2,542
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	3,200

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.2.1 AGREGADOS PARA DISEÑAR HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

A) AGREGADO GRUESO

Con los ensayos de laboratorio realizados al agregado grueso (piedra) de la planta de trituración de áridos de la Constructora Alvarado se pudo obtener los valores que corresponden a sus propiedades físicas, mecánicas y al compararlos con los valores especificados por las normas mencionadas en cada ensayo se establece que están dentro de los límites permisibles para la elaboración de Hormigón de Alta Resistencia.

AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
TAMAÑO NOMINAL MAXIMO	mm	19,0
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,351
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,479
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,680
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	2,706
ABRACION	%	43,6

Tabla 4.11. Agregado Grueso Planta de Trituración Alvarado

B) AGREGADO FINO

Con los ensayos de laboratorio realizados al agregado fino (arena) de la cantera el Salvador se pudo obtener los valores que corresponden a sus propiedades físicas, mecánicas y al compararlos con los valores especificados por las normas mencionadas en cada ensayo se establece que están dentro de los límites permisibles para la elaboración de Hormigón de Alta Resistencia.

AGREGADO FINO (ARENA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
MODULO DE FINURA		2,93
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,528
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,670
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,542
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	3,200

Tabla 4.12. Agregado fino Cantera el Salvador Aguajan

4.2.1.1 DISEÑO DE HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

A continuación detallo el diseño propuesto para este tipo de hormigón considerando las condiciones físicas de los materiales detallado anteriormente.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA									
	Origen	Planta de Trituración de Áridos Constructora Alvarado							
	Ensayado por:	Egdo. Salinas Edgar							
	Fecha:	03/03/2015							
	Resistencia Especificada	MAYOR A 50 MPA							
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES									
MATERIAL	Pe Kg/m ³	Pe (SSS) Kg/m ³	PUS Kg/m ³	PUC Kg/m ³	% CA ABSORCION	% CH HUMEDAD	MF Módulo de Finura	T _N Max mm	D. Pondera. Agregados
Cemento	2990								
Arena Triturada		2542			3.20	13.50			2614
Grava 25 mm		2680			2.63	1.00			
Arena 2									
Aire		1.00%							
DOSIFICACION POR m ³									
MATERIAL	PESO SSS m ³ Kg		PESO NATURAL m ³ Kg		Volumen por lts		Peso Lab Kg		
Agua		220		161	220	lts			4.82 Kg
Cemento		600		600	201	lts			18.00 Kg
Egdo. Salinas Edgar		717		789	282	lts			23.66 Kg
Planta de Trituración de Áridos		769		757	287	lts			22.70 Kg
Aire					10	lts			0.0
Viscocrete 2100	0.6%	3.60		3.60	3.30	lts			99 ml
	0.0%	0.00		0.000	0.00	lts			0 ml
TOTAL		2306		2306	1000	lts			168.3
	Relación a/c	0,37			Peso unitario	2307 Kg./cm³			

4.2.2 AGREGADOS PARA DISEÑAR PAVIMENTO RIGIDO

A) AGREGADO GRUESO

Con los ensayos de laboratorio realizados al agregado grueso (piedra) de la planta de trituración de áridos de la Constructora Alvarado se pudo obtener los valores que corresponden a sus propiedades físicas, mecánicas y al compararlos con los valores especificados por las normas mencionadas en cada ensayo se establece que están dentro de los límites permisibles para la elaboración de Hormigón para Pavimento Rígido.

AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
TAMAÑO NOMINAL MAXIMO	mm	19,0
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,351
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,479
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,680
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	2,706
ABRACION	%	43,6

Tabla 4.13. Agregado Grueso Planta de Trituración Alvarado

B) AGREGADO FINO

Con los ensayos de laboratorio realizados al agregado fino (arena) de la cantera el Salvador se pudo obtener los valores que corresponden a sus propiedades físicas, mecánicas y al compararlos con los valores especificados por las normas mencionadas en cada ensayo se establece que están dentro de los límites permisibles para la elaboración de Hormigón para Pavimento Rígido.

AGREGADO FINO (ARENA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
MODULO DE FINURA		2,93
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,528
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,670
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,542
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	3,200

Tabla 4.14. Agregado fino Cantera el Salvador Aguajan

4.2.1.1 DISEÑO DE HORMIGON PAVIMENTO RIGIDO

A continuación detallo el diseño propuesto para este tipo de hormigón considerando las condiciones físicas de los materiales detallado anteriormente.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA									
Origen	Planta de Trituración de Áridos Constructora Alvarado								
Ensayado por:	Egdo. Salinas Edgar								
Fecha:	03/03/2015								
Resistencia Especificada	4 MPA								
PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES									
MATERIAL	Pe Kg/m ³	Pe (SSS) Kg/m ³	PUS Kg/m ³	PCC Kg/m ³	% CA ABSORCION	% CH HUMEDAD	MF Mod.Finura	TNMax mm	D.Pondera. Agregados
Cemento	2990								
Arena Triturada		2542			3,20	11,50			2614
Grava 25 mm		2680			2,63	1,00			
Arena 2									
Aire		1,00%							
MR: 4.0 Mpa				DOSIFICACION POR m ³					
MATERIAL	PESO SSS/ m ³ Kg		PESO NATURAL/ m ³ Kg		Volumen por lts		Peso Lab 23 lts		
Agua	218		185		218 lts		4,27 Kg		
Cemento	500		500		167 lts		11,50 Kg		
Planta de Triturac Aguján	600		648		236 lts		14,91 Kg		
0	989		973		369 lts		22,39 Kg		
Aire					10 lts		0,0		
Plastiment 261 R	0,6%	2,75	2,75		2,29 lts		53 ml		
	0,0%	0,00	0,000		0,00 lts		0 ml		
TOTAL	2307		2307		1000 lts		105,8		
Relación a/c		0,44		Peso unitario		2306 Kg./cm ³			

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante los ensayos realizados a los agregados de cada cantera es claramente apreciable que los resultados obtenidos son adecuados para la elaboración de hormigones de buena calidad, por ende al momento de elaborar un diseño para una resistencia determinada la dosificación no será la misma y variará conforme a cada uno de ellos.

Para verificar las condiciones de la hipótesis es importante mencionar las

propiedades de cada uno de los diseños realizados, tanto en estado fresco como endurecido.

Las propiedades que se evaluaron son las siguientes:

MEZCLA FRESCA

- Asentamiento con aditivo.
- Temperatura

Ver anexo fotográfico Foto 1, 5, 6, 8, 9.

MEZCLA ENDURECIDA

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a flexión
- Resistencia a tracción indirecta
- Resistencia al desgaste (abrasión)

Ver anexo fotográfico Foto 10,12,13.

A continuación se resume los resultados para cada uno de los diseños:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

COMPRESION

Ensayado por: LABORATORIO DE MATERIALES

Fecha: 08-mar-15

PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ESFUERZO kg/cm ²
1	H. DE ALTA RESISTENCIA	3	418.40
2	H. DE ALTA RESISTENCIA	3	428.20
3	H. DE ALTA RESISTENCIA	7	466.10
4	H. DE ALTA RESISTENCIA	7	460.30
5	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	732.30
6	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	734.00

ASENTAMIENTO 25 cm

TEMPERATURA 22 grados centígrados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE 4 MPA

COMPRESION

Ensayado por: **LABORATORIO DE MATERIALES**

Fecha: **08-mar-15**

PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ESFUERZO kg/cm ²
1	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	3	236.7
2	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	3	224.7
3	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	7	287.9
4	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	7	283.8
5	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	371.1
6	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	383.4

ASENTAMIENTO 10 cm

TEMPERATURA 21.5 grados centígrados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA			
<i>FLEXION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		LABORATORIO DE MATERIALES	
<i>Fecha:</i>		08-mar-15	
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	MR (MPA)
1	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	5.41
2	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	5.12
ASENTAMIENTO		25 cm	
TEMPERATURA		22 grados centígrados	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE 4 MPA A FLEXION			
<i>FLEXION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		LABORATORIO DE MATERIALES	
<i>Fecha:</i>		08-mar-15	
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	MR (MPA)
1	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	3.62
2	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	3.81
ASENTAMIENTO		10 cm	
TEMPERATURA		21.5 grados centígrados	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE 4 MPA			
<i>TRACCION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		LABORATORIO DE MATERIALES	
<i>Fecha:</i>		09-abr-15	
.....			
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	RESISTENCIA A TRACCION (MPA)
1	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	3.56
2	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	3.49
ASENTAMIENTO		10 cm	
TEMPERATURA		21.5 grados centígrados	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA			
<i>TRACCION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		LABORATORIO DE MATERIALES	
<i>Fecha:</i>		09-abr-15	
.....			
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	RESISTENCIA A TRACCION (MPA)
1	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	4.80
2	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	4.42
ASENTAMIENTO		10 cm	
TEMPERATURA		21.5 grados centígrados	

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE 4 MPA			
<i>ABRASION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		<i>LABORATORIO DE MATERIALES</i>	
<i>Fecha:</i>		<i>09-abr-15</i>	
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ABRASION (mm3)
1	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	1030.5
2	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	1193.6
3	PAVIMENTO RIGIDO MR = 4MPA	28	1274.3
<i>ASENTAMIENTO</i>		<i>10 cm</i>	
<i>TEMPERATURA</i>		<i>21.5 grados centígrados</i>	

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA			
<i>ABRASION</i>			
<i>Ensayado por:</i>		<i>LABORATORIO DE MATERIALES</i>	
<i>Fecha:</i>		<i>09-abr-15</i>	
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ABRASION (mm3)
1	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	1233.5
2	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	1129.0
3	H. DE ALTA RESISTENCIA	28	1247.0
<i>ASENTAMIENTO</i>		<i>10 cm</i>	
<i>TEMPERATURA</i>		<i>21.5 grados centígrados</i>	

Estos datos corresponden a un resumen de los informes realizados en las siguientes instituciones: Laboratorio de Ensayo de Materiales UTA, GADMA, PUCE. Ver anexo 3.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

a) De la encuesta realizada se concluye que el 60% de los encuestados afirman que en la ciudad de Ambato desconocen la existencia de una guía técnicas de estudios de hormigones de alta resistencia aplicados a los pavimentos rígidos.

b) De la encuesta realizada se concluye que el 70% de los encuestados afirma que en la ciudad de Ambato se tiene experiencias de estructuras construidas con hormigón de alta resistencia. Es menester mencionar que consideran como alta resistencia aquellos hormigones que desarrollan entre 350 y 400 kg/cm².

c) De acuerdo a las propiedades verificadas de los pétreos de las canteras seleccionadas para este estudio, se logró diseñar las siguientes mezclas: HAR (Hormigón de Alta Resistencia) y Hormigón para Pavimentos Rígidos, consiguiendo excelentes condiciones en la mezcla fresca, como trabajabilidad y consistencia, evitando fenómenos de segregación y exudación en la misma.

d) Con estos materiales logramos obtener una resistencia a la compresión promedio de **730 kg/cm²** por lo tanto podemos concluir que el diseño propuesto encaja dentro de los hormigones de alta resistencia.

e) Con estos materiales logramos obtener una resistencia a la flexión promedio de **3,8 MPa** por lo tanto podemos concluir que el diseño propuesto encaja dentro de los parámetros para un pavimento rígido.

f) Con el fin de comprobar la hipótesis, se obtuvo del diseño de alta resistencia un valor a la flexión de **5,2 MPa** valor que excede las especificaciones para un pavimento rígido. De la misma forma del diseño para pavimento rígido se obtuvo una resistencia a compresión de **374 kg/cm²**. Con estos valores concluimos que un hormigón de alta resistencia supera los valores especificados para un pavimento rígido.

g) De los diseños realizados se obtuvo el 26,2mm de longitud de la cuerda al desgaste para el diseño de alta resistencia y 26,6mm para el diseño de pavimento rígido. Considerando que durante la vida útil de la capa de rodadura una de las acciones actuantes crítica es la abrasión producto del tráfico vehicular y peatonal existente, puedo concluir que dichos valores son técnicamente iguales, es decir sería antieconómico reemplazar un pavimento rígido con hormigón de alta resistencia.

5.2 RECOMENDACIONES

a) Es recomendable en cuanto se use hormigones de alta resistencia, tratar en lo posible que este hormigón se lo elabore in situ, debido a la alta pérdida de trabajabilidad producto de la cuantía de cemento elevada que lleva la mezcla y su muy baja relación A/C.

b) Sugiero que en la elaboración de hormigones de alta resistencia se utilice aditivos del tipo reductores de agua de alto poder de preferencia policarboxilatos por su capacidad de generar reducciones de agua por arriba del 30%.

c) Recomiendo para la elaboración de este tipo de hormigones especiales realizar un estricto control de los materiales a usar, debido a que cualquier impureza puede afectar en los resultados finales de la estructura.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

DISEÑO DE HORMIGON PARA REPARACION DE PAVIMENTOS DE LA CIUDAD DE AMBATO FAST TRACK, CON AGREGADOS DE LA CIUDAD.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Para la presente investigación se realizará la dosificación de un concreto para un fast Track; utilizando agregados pétreos de las canteras que se detallan a continuación:

6.1.1 CANTERA EL SALVADOR

La Cantera el Salvador (Playa Llagchoa) se encuentra localizada en el kilómetro 7 vía Pasa, el tipo de explotación aquí aplicado es artesanal cielo abierto; explotan un volumen diario aproximado de 300 m³ y mensualmente entre 10000 m³.

Esta cantera es propiedad la Familia Salvador y lleva funcionando alrededor de 20 años, explotan y procesan material pétreo como arena y ripio los cuales son clasificados por Zarandeo Mecánico y Trituradora es decir que tienen un proceso de mejoramiento basado en trituración (árido grueso).

6.1.2 PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ALVARADO

La Planta Industrial de Trituración de Áridos localizada en Las Viñas es una industria especializada en el trabajo con material pétreo destinado a la construcción de diferentes tipos de obras civiles, utilizan material de diferentes canteras siendo su principal fuente la cantera Kumochi, la cual abastece con el 90% de agregados procesados en esta industria, el método de explotación empleado es a cielo abierto.

Esta planta de trituración es propiedad de la Constructora Avarado y procesan diariamente un volumen aproximado de 400 m³ y mensualmente un volumen total entre 12000 y 14000 m³ de material pétreo; esta constructora instaló su planta en el año 2000 a partir del cual empezó a trabajar, cuentan con equipo técnico y especializado para el procesamiento de los materiales pétreos con que trabajan, los agregados son clasificados mediante Zarandeo Mecánico y Trituradora, la arena y ripio también pasan por procesos de mejoramiento tales como lavado y trituración.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

“El Concreto Fast Track, constituye una tecnología adecuada para la rehabilitación y refuerzo del pavimento, con una reducida alteración del tráfico. Mediante el proporcionamiento apropiado del concreto y técnicas de curado, es posible obtener resistencias que permiten la puesta en servicio del pavimento a las 24 horas o menos. El pavimento resultante es de excepcional calidad, con un costo relativamente bajo y ocasiona un mínimo de inconvenientes.

Las ventajas del pavimento de concreto sobre el pavimento asfáltico son muchas, sin embargo, cuando se trata de reparaciones se argumenta

sobre los plazos requeridos para el curado y endurecimiento del concreto, frente a la rápida ejecución y apertura al tránsito del pavimento de asfalto. Con el CFT esta desventaja desaparece. En la actualidad, el CFT ha sido utilizado y probado en todos los tipos de pavimentos de los Estados Unidos: Aeropuertos, carreteras y pavimentos urbanos. Se ha aplicado en diversos casos, sea en obras nuevas, reconstrucciones, reforzamientos adherentes y no adherentes en revestimientos sobre pavimentos asfálticos, etc.

El CFT se desarrolló inicialmente en el Estado de Iowa el año 1986, con la reconstrucción de un tramo (de 11.2 Kms. en U.S. Highway 71 North of Storm Lake, Iowa. Posteriormente siguieron numerosas realizaciones. En 1987, se efectuó la reconstrucción y puesta en servicio en 24 horas, de un tramo de 7 Kms de pavimento, con una sección de 7 mts. de ancho y 15 cm. de espesor en Dallas County Route, Iowa. Otra importante realización efectuada en 1988, fue la rehabilitación de 9 intersecciones, también en el estado de Iowa en la Highway 100 (Collins Avenue), de la localidad de Cedar Rapids, con una longitud total de 3.4 kms. (2) (3).

Sin embargo, con anterioridad se han construido y puesto en servicio en 24 horas pavimentos urbanos de concreto denominados "obras de un día de trabajo", en Austria(4) y en Alemania (5), empleando súper plastificantes en la mezcla de concreto.

El CFT tiene como antecedente los concretos de rápido endurecimiento, utilizados en obras de reparación.

Una de las aplicaciones más espectaculares del CFT se da en la rehabilitación de pavimentos de aeropuertos, reduciendo considerablemente el tiempo de inoperatividad de las líneas aéreas. En los proyectos recientes se emplea en la pavimentación secuencial en la reconstrucción de pistas de aterrizaje. También en casos específicos

como son las intersecciones que se encuentran en el medio campo y en las pistas de taxi. En los Estados Unidos, la Federal Aviation Administration (FAA), que anteriormente especificaba un lapso de 7 días y una resistencia a la flexión de 550 psi, para abrir al tráfico un pavimento de concreto, en la actualidad, con el advenimiento del CFT ha eliminado el límite, de tiempo.

En vías urbanas, en especial en aquellas que sirven de acceso a los sectores comerciales e industriales, en avenidas y calles, el CFT disminuye las pérdidas que un dilatado proceso de reparación ocasiona a las empresas afincadas en dichas zonas. En todo caso, la paralización del tráfico se reduce al fin de semana.

En los sectores residenciales limita únicamente por 24 horas el acceso de los residentes. Además la alta calidad del pavimento tiene la ventaja de un reducido mantenimiento y una elevada capacidad estructural que benefician a los usuarios.

En autopistas con peaje, elimina los problemas concernientes a la desviación del tráfico, pues las obras pueden ejecutarse en un solo día, y se minimiza el lucro cesante de los administradores de la vía.

En el caso de la reconstrucción de intersecciones, la experiencia demuestra que la solución con CFT es sumamente operativa.

MATERIALES

El CFT es producido con cementos, aditivos y agregados, que respondan a la normalización y que se encuentran en cualquier localidad. Su diseño se basa en los procedimientos convencionales.

Sin embargo, es indispensable efectuar estudios de laboratorio para asegurar las propiedades requeridas.

1. CEMENTO

En la mezcla de CFT se han usado cementos portland normalizados de los tipos I, II y III.

En el caso de emplearse los cementos tipo I y II, se ha requerido la incorporación de aditivos que aceleran el endurecimiento.

Los cementos tipo III, de alta resistencia inicial, seleccionados de manera preferente, deben alcanzar, una resistencia mínima a la compresión 9 kg. / cm² a las 12 horas, según la reciente modificación introducida en la especificación M85 de la norma del American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

La diferencia sustantiva entre los cementos tipo I y II y el cemento de rápido endurecimiento tipo III se encuentra en la finura, que en el cemento tipo IR fluctúa entre 4500 a 6000 cm²/gr, mientras en los otros cementos varía de 3400 a 4000 cm²/gr. La mayor finura del cemento tipo III, exige un adecuado control del concreto pues demanda un incremento de agua de mezcla, puede presentar el fenómeno de la falsa fragua y eventualmente mayor tendencia a la fisuración.

La resistencia inicial en los cementos portland depende básicamente del contenido en silicato tricálcico C₃S y en menor medida el aluminato tricálcico C₃A. Los álcalis del cemento también influyen débilmente. Además, la mayor finura del cemento favorece la resistencia inicial, especialmente en las fracciones menores a los 10 micrones.

Se ha estudiado el empleo de cementos especiales para su aplicación en

el CFT, como son el cemento Pyrament,(y los denominados regulated-set cements.

2. ADITIVOS

Dos aditivos han sido generalmente empleados en la práctica norteamericana con pavimentos de CFT : Incorporásemos de aire y reductores de agua.

Los agentes Incorporásemos de aire han sido considerados en obras ubicadas en zonas geográficas en las cuales hay que preservar la durabilidad del concreto por efecto del proceso de las heladas y del deshielo. Si bien el porcentaje de aditivo depende de las condiciones del medio y del tamaño máximo del agregado, se tiende a limitarlo a los valores más bajos compatibles con la disminución de resistencia que produce el aire incorporado.

En la experiencia norteamericana se ha utilizado aditivos reductores de agua del tipo A de la norma ASTM C 494-90, conocidos también como plastificantes. El propósito ha sido utilizar el incremento de trabajabilidad, que permite reducir significativamente el agua de la mezcla entre el 6 y 10% manteniendo el asentamiento del concreto.

En muchos casos se ha requerido emplear aditivos del tipo D, reductores de agua y retardadores de fragua, especialmente: cuando se han usado conjuntamente aceleradores de endurecimiento, para permitir un mayor lapso que faculte la buena colocación y terminación del pavimento.

La experiencia europea en pavimentos de concreto puestos en servicio a las 24 horas, se refiere a los aditivos denominados como superplastificantes, comprendidos en la norma de la referencia como del tipo F, reductores de agua de alto rango y del tipo G reductores de agua

de alto rango y retardadores de fragua.

Los aditivos superplastificantes son más efectivos que los reductores de tipo A, permitiendo duplicar la reducción del contenido de agua. Sin embargo su precio en el mercado es de 3 a 4 veces mayor.

3. ADITIVOS QUE ACELERAN EL ENDURECIMIENTO

En los casos que se han empleado los cementos pordand del tipo I y II en el CFT se ha requerido aditivos que aceleren el endurecimiento. Los aditivos acelerantes más comúnmente empleados, en los concretos sin refuerzo, tienen como producto de base el cloruro de calcio. La inclusión de un 2% de cloruros con relación al contenido del cemento, incrementa la resistencia a las 24 horas en un 100% sin embargo, cabe precisar que la ganancia de resistencia está en función de la temperatura.

Para evitar el riesgo de corrosión, cuando se trata de pavimentos con armadura de acero, como aquellos con refuerzo continuo, es recomendable utilizar aditivos aceleradores de la resistencia exentos de cloruros del tipo de los componentes orgánicos solubles, como la trietanolamina y el formiato de calcio.

4. AGREGADOS

En el CFT pueden ser utilizados todos los agregados que cumplan con la norma debiendo tener especial cuidado.

De la experiencia del CFT en los Estados Unidos se infiere la importancia de los agregados de granulometría continua, aplicando el criterio del agregado global, con un prototipo de huso granulométrico, (figura I), que contiene un aumento del material que pasa entre la malla 3/8" y la N' 9, con relación al material comúnmente utilizado en dicho país.

5. AGUA

Para incrementar la resistencia del CFT, se ha utilizado la incorporación del agua de mezcla a temperaturas que varían entre 60 y 40 grados centígrados para contribuir a la aceleración del endurecimiento. Es conocido que la temperatura incrementa las reacciones químicas y consecuentemente la formación de productos de hidratación del cemento. Esta opción es factible cuando se trata de obras pequeñas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es de suma importancia debido a que la necesidad de contar con un CFT hace indispensable conocer al detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados.

Este estudio será muy útil para: estudiantes, contratistas, fiscalizadores, instituciones públicas y demás personas naturales interesadas en el tema; debido a que a más de conocer técnicamente que propiedades poseen los agregados de las canteras de la ciudad de Ambato, también se dispondrá de la "Dosificación" ya calculadas tanto en volumen como en peso para su directa aplicación en obra.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño de hormigón para reparación de pavimentos de la ciudad de Ambato fast track (CFT), con agregados de la ciudad.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener mediante ensayos de laboratorio las propiedades mecánicas de los Agregados (Grueso y Fino) requeridas para ser empleados en la elaboración de CFT.
- Calcular las dosificaciones para CFT de acuerdo a las propiedades mecánicas de los agregados.
- Elaborar cilindros del CFT su respectiva dosificación y ensayarlos con el fin de verificar su resistencia a compresión.
- Contar con información técnica y verás sobre el diseño del CFT para el libre acceso y manejo de los constructores, fiscalizadores y demás personas involucradas en el campo de la construcción o interesadas en el tema.”¹⁵

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Esta técnica servirá, para dar respuesta a las necesidades crecientes de construir o reparar pavimentos de hormigón hidráulico, que permitan el tránsito lo más rápidamente posible (entre 8 y 24 horas) tiempo muy pequeño con relación a los periodos de 5 a 15 días especificados en la mayoría de las normas vigentes si se emplean tecnologías tradicionales de pavimentación.

Esta técnica es conveniente usarla en intersecciones de vías urbanas, reparaciones en carreteras o autopistas donde existe el cobro de peaje; en reparaciones de los parqueos en los puertos, en áreas industriales, etc. en fin, donde debe ser mínima la afectación de la circulación vial en el

15

http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/pavimentos/MGC46_mantenimiento_conc_reto.pdf

tiempo.

En la técnica de construcción no existe diferencia con respecto a las convencionales aunque deben usarse maquinarias de alto rendimiento y se requiere de una excelente organización de los trabajos para asegurar que los plazos de ejecución sean mínimos. Se aconseja su empleo en Ambato en intersecciones de alto volumen de tráfico y en tramos críticos de la ciudad.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Una vez determinadas las propiedades mecánicas de los agregados se procede a realizar los correspondientes cálculos de dosificación para el CFT (CONCRETO FAST TRACK).

6.7. – METODOLOGÍA

Para el presente proyecto predomina la investigación cuantitativa ya que la elaboración del diseño requerirá de la aplicación de normas para los cálculos correspondientes.

La modalidad de investigaciones del presente proyecto es:

Bibliográfica.- Se utilizara libros e internet como fuente de consulta para realizar los cálculos correspondientes al diseño de CFT.

Histórica.- Se consultará el desempeño que han tenido estos pavimentos construidos con CFT en obras similares en las que ya se han utilizado.

Especial.- Cuadro de resultados de los ensayos de los agregados (arena, piedra) para la dosificación del concreto Fast Track.

AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
TAMAÑO NOMINAL MAXIMO	mm	19,0
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,351
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,479
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,680
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	2,706
ABRACION	%	43,6

Tabla 6. Agregado Grueso Planta de Trituración Alvarado

AGREGADO FINO (ARENA)

PROPIEDAD MECANICA	UNIDAD	VALOR
MODULO DE FINURA		2,93
PESO UNITARIO SUELTO	gr./cm ³	1,528
PESO UNITARIO COMPACTADO	gr./cm ³	1,670
PESO ESPECIFICO	gr./cm ³	2,542
CAPACIDAD DE ABSORCION	%	3,200

Tabla 6. Agregado fino Cantera el Salvador Aguajan

Dosificación para un metro cubico de hormigón tipo Fast Track de un f^{cc} = 500 kg/cm² con agregados de la ciudad de Ambato.

DOSIFICACION POR m³					
MATERIAL		PESO SSS/m³	PESO NATURAL/m³	Volumen por lts	Peso Lab
		Kg	Kg		30 lts
Agua		225	173	225 lts	5,19 Kg
Cemento		550	550	184 lts	16,50 Kg
Arena 1:		660	726	260 lts	21,78 Kg
Grava 1":		864	850	322 lts	25,51 Kg
Aire				10 lts	0,0
Viscocrete 2100	0,3%	1,65	1,65	1,51 lts	45 ml
Plastocrete 169HE	1,0%	5,50	5,500	4,91 lts	147 ml
TOTAL		2299	2299	1001 lts	261,7
Relación a/c		0,41	Peso unitario		2297 Kg/cm³

Cuadro de resultados de los ensayos de cilindros ensayados a la compresión a 3, 7 y 28 días de edad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																													
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE MATERIALES																													
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																													
ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA DURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																													
RESUMEN DE RESULTADOS DEL HORMIGON FAST TRACK																													
COMPRESION																													
<i>Ensayado por:</i>	LABORATORIO DE MATERIALES																												
<i>Fecha:</i>	15-mar-15																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBETA</th> <th>IDENTIFICACION</th> <th>EDAD</th> <th>ESFUERZO kg/cm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>FAST TRACK</td> <td>3</td> <td>342.3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>FAST TRACK</td> <td>3</td> <td>360.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>FAST TRACK</td> <td>7</td> <td>422.3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>FAST TRACK</td> <td>7</td> <td>418.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>FAST TRACK</td> <td>28</td> <td>512.5</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>FAST TRACK</td> <td>28</td> <td>530.0</td> </tr> </tbody> </table>		PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ESFUERZO kg/cm ²	1	FAST TRACK	3	342.3	2	FAST TRACK	3	360.1	3	FAST TRACK	7	422.3	4	FAST TRACK	7	418.8	5	FAST TRACK	28	512.5	6	FAST TRACK	28	530.0
PROBETA	IDENTIFICACION	EDAD	ESFUERZO kg/cm ²																										
1	FAST TRACK	3	342.3																										
2	FAST TRACK	3	360.1																										
3	FAST TRACK	7	422.3																										
4	FAST TRACK	7	418.8																										
5	FAST TRACK	28	512.5																										
6	FAST TRACK	28	530.0																										
ASENTAMIENTO	25,5 cm																												
TEMPERATURA	23 grados centígrados																												

Interpretación de resultados

Al obtener los resultados de los cilindros del hormigón tipo Fast Track ensayados a la compresión a diferentes edades se demuestra que a 72 horas alcanza una resistencia superior a los 300 kg/cm², lo cual es propio de este tipo de hormigones alcanzar resistencias superiores a los 280 kg/cm² a las 24 horas.

6.7.1 CONCLUSIONES

- a. Al realizar este análisis se puede afirmar que llevar a cabo esta técnica de construcción de hormigón Fast Track se logra un fin último de disminuir los tiempos constructivos.
- b. Siguiendo ciertos conceptos generales para el diseño de este tipo de hormigones Fast Track como un estudio, lógica, construcción y un control de calidad muy bueno se lograra resultados favorables para habilitar el pavimento e impedir el congestionamiento del tránsito sin afectar la durabilidad del mismo.
- c. Desde el punto de vista económico la construcción de este tipo de pavimentos de hormigón Fast Track es más costoso por el contenido alto de cemento y la utilización de aditivos.

6.7.2 RECOMENDACIONES

- a. Para el diseño propuesto se utilizó los ensayos de los agregados antes mencionados en las condiciones propias del zona, se recomienda realizar las correcciones por humedad de los mismos siendo estos parámetros muy importantes para no tener datos erróneos.

6.8. ADMINISTRACIÓN

La Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con sus profesores serán los encargados de revisar el diseño.

6.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

El diseño podrá ser evaluado anualmente con el fin de dar las mejoras necesarias al mismo, de acuerdo a las actualizaciones de las normas y el avance tecnológico en el hormigón, esto estará a cargo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, profesores y estudiantes con conocimientos en este tema.

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFIA

1 BIBLIOGRAFICA

- NORMAS NTE INEN 2001
- NORMAS ASTM
- SIKA, Manual de Hormigón (2008).
- Sanz Benlloch, A. (2004) Valoración de Obras de Ingeniería Civil. Editorial de la UPV. Valencia-España.
- Ministerio del Ambiente (2008) Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil. Lima -Perú
- De Sitter, W.R. (1984) Durability of concrete Structures. Costs for Service Life Optimization. Copenhagen.

a Nivel de Perfil. Lima -Perú

- De Sitter, W.R. (1984) Durability of concrete Structures. Costs for Service Life Optimization. Copenhagen.

2 ANEXOS

2.1 ANEXO FOTOGRAFICO

FOTO 1



FOTO 2



FOTO 3



FOTO 4



FOTO 5



FOTO 6



FOTO 7



FOTO 8



FOTO 9



FOTO 10



FOTO 11



FOTO 12



FOTO 13



FOTO 14



FOTO 15



FOTO 16




FOTO 17




2.2 ANEXO DE RESULTADOS


2.2.1 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS DE EDAD


PROBETA N°	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	ESFUERZO (Kp/cm ²)	FECHA DE:		IDENTIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN (Kg/cm ²)
				ELABORACIÓN	ENSAYO		
1	10.21	81.87	236.70	03 - 03 - 15	06 - 03 - 15	Pavimento Rígido MR = 4Mpa	350
2	10.16	81.07	224.70	03 - 03 - 15	06 - 03 - 15	Pavimento Rígido MR = 4Mpa	350
3	10.19	81.55	418.40	03 - 03 - 15	06 - 03 - 15	Hormigón de Alta Resistencia	600
4	10.12	80.44	428.20	03 - 03 - 15	06 - 03 - 15	Hormigón de Alta Resistencia	600


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMA ASTM C39 - ISO 9001

ORDEN N°	013	OBRA O PROYECTO	Estudio de Hormigones de Alta Resistencia
NÚMERO DE MUESTRAS	4	LUGAR DEL PROYECTO	Ciudad de Ambato
FECHA DE EXPEDICION	06-mar-15	SOLICITADO POR	Ing. Patricio Vasco
		CONTRATISTA	Ing. Edgar Salinas


Ing. Byron López
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA




Ego. Alex Dario Tituaña
LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES FICM
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

2.2.2 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS DE EDAD



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPALIDAD DE AMBATO
 DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE CILINDROS DE HORMIGON

NORMA ASTM C 39

PROYECTO: Estudio de Hormigones de Alta Resistencia	INF. 610 – LAB – OPM – 2015
SOLICITA: Ing. Patricio Vasco	ESPECIF. 700 Kg/cm2
SECTOR: Planta	7 días 14 días
FECHA: 08 – abril – 2015	65% 85%
CONTRATISTA: Ing. Francisco Allón	

Probeta #	Situación	Factor	Fechas		Edad Días	Carga KN	Diám. cm	Area cm2	Resist. Kg/cm2	Resist. Correg.	% fc
			Fundición	Rotura							
1	P. Rígido 4 Mpa	1.00	03/03/15	10/03/15	7	226.4	10.1	80.1	287.9	287.9	41
2	H. Alta Resistencia	1.00	03/03/15	10/03/15	7	466.1	10.1	80.1	592.8	592.8	85
3	H. Alta Resistencia	1.00	03/03/15	10/03/15	7	460.3	10.1	80.1	585.4	585.4	84
4	P. Rígido 4 Mpa	1.00	03/03/15	10/03/15	7	223.1	10.1	80.1	283.8	283.8	41

Nota: Resistencia corregida en base a curva de Portland Cement Assn, ref 1342.
 Muestras entregadas en Laboratorio por Contratista.

Ing. Oswaldo Manotoa
 SERVIDOR PÚBLICO 4

Ing. Juan Ruiz L.
 DIRECTOR DE OO.PP.MM

Costo \$ 21.56

2.2.3 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD DEL H.A.R



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPALIDAD DE AMBATO
 DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS
 LABORATORIO DE SUELOS

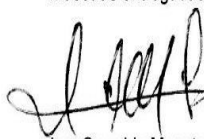
ENSAYO DE CILINDROS DE HORMIGON

NORMA ASTM C 39

PROYECTO: Estudio de Hormigones de Alta Resistencia	INF. 610 - LAB - OPM - 2015
SOLICITA: Ing. Patricio Vasco	ESPECIF. 700 Kg/cm2
SECTOR: Planta	7 días 14 días
FECHA: 08 - abril - 2015	65% 85%
CONTRATISTA: Ing. Francisco Aillón	

Probeta #	Situación	Factor	Fechas		Edad Días	Carga KN	Diám. cm	Area cm2	Resist. Kg/cm2	Resist. Correg.	% fc
			Fundición	Rotura							
1	H.AR	1.00	03/03/15	31/03/15	28	1263	15.0	176.7	728.3	728.3	104
2	H.AR	1.00	03/03/15	31/03/15	28	1270	15.0	176.7	732.3	732.3	105
3	H.AR	1.00	03/03/15	31/03/15	28	577.8	10.1	80.1	734.9	734.9	105
4	H.AR	1.00	03/03/15	31/03/15	28	569.4	10.1	80.1	724.2	724.2	103

Nota: Resistencia corregida en base a curva de Portland Cement Assn, ref 1342.
 Muestras entregadas en Laboratorio por Contratista.


 Ing. Oswaldo Manotoa
 SERVIDOR PÚBLICO 4

Ing. Juan Ruiz L.
 DIRECTOR DE OO.PP.MM

Costo \$ 21.56

2.2.4 ENSAYO A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD DEL PAVIMENTO RIGIDO



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPALIDAD DE AMBATO
 DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE CILINDROS DE HORMIGON

NORMA ASTM C 39

PROYECTO: Estudio de Hormigones de Alta Resistencia	INF. 608 - LAB - OPM - 2015
SOLICITA: Ing. Patricio Vasco	ESPECIF. 350 Kg/cm ²
SECTOR: Planta	7 días 14 días
FECHA: 08 - abril - 2015	65% 85%
CONTRATISTA: Ing. Francisco Aillón	

Probeta #	Situación	Factor	Fechas		Edad Días	Carga KN	Diám. cm	Area cm ²	Resist. Kg/cm ²	Resist. Correg.	% f _c
			Fundición	Rotura							
1	II Cilindro prueba diseño 350 kg/cm ²	1.00	03/03/15	31/03/15	28	652.2	15.1	179.1	371.1	371.1	106
2	I Cilindro prueba diseño 350 kg/cm ²	1.00	03/03/15	31/03/15	28	673.7	15.1	179.1	383.4	383.4	110
3	III Cilindro prueba diseño 350 kg/cm ²	1.00	03/03/15	31/03/15	28	275.5	10.0	78.5	357.4	357.4	102
4	IV Cilindro prueba diseño 350 kg/cm ²	1.00	03/03/15	31/03/15	28	297.3	10.0	78.5	385.7	385.7	110

Nota: Resistencia corregida en base a curva de Portland Cement Assn, ref 1342.
 Muestras entregadas en Laboratorio por Contratista.

Ing. Oswaldo Manotoa
 SERVIDOR PÚBLICO 4

Ing. Juan Ruiz L.
 DIRECTOR DE OO.PP.MM

Costo \$ 21.56

2.2.5 ENSAYO A FLEXION



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPALIDAD DE AMBATO
 DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS
 LABORATORIO DE SUELOS
ENSAYO DE FLEXION DEL HORMIGON
 NORMA NTE INEN 2554

PROYECTO: Estudio Hormigones Alta Resistencia.

SECTOR: Planta Aillón

SOLICITA: Ing. Patricio Vasco.

FECHA: 08 - abril - 2015

MUESTREADO POR: Ing. Edgar Salinas.

PROVEEDOR: Ing. Francisco Aillón

INF. 611 - LAB - OPM - 2015

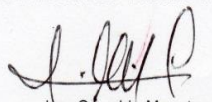
ESPECIF. 4.0 Mpa

EDAD: 28 Días

CONSTRUYE: Ing. Francisco Aillón.

MUESTRA #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IDENTIFICACION PROBETA										
FECHA FABRICACION	03/03/15	03/03/15	03/03/15	03/03/15						
FECHA ENSAYO	31/03/15	31/03/15	31/03/15	31/03/15						
EDAD (DIAS)	28	28	28	28						
LONGITUD (mm)	530	530	530	530						
ANCHO (mm)	152.0	152.0	152.0	152.0						
ALTURA (mm)	152.0	152.0	152.0	152.0						
DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	450	450	450	450						
CARGA MAXIMA (KN)	42.3	40.0	28.2	29.7						
FACTOR	1.000	1.000	1.000	1.000						
MODULO DE ROTURA (Mpa)	5.41	5.12	3.62	3.81						

OBSERVACIONES: Muestras Tomadas por Proveedor.



Ing. Oswaldo Manotoa
 SERVIDOR PUBLICO 4

Costo ensayo \$ 61.80





Ing. Juan Ruiz L.
 DIRECTOR DE OO.PP.MM

2.2.6 ENSAYO A TRACCION INDIRECTA (BRASILERO)



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624
Cel.: 09870 49430
Quito-Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: Tesis Estudio de Hormigones de Alta Resistencia **SOLICITA:** Ing. Patricio Vasco

LOCALIZACIÓN: Ambato **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Tomada por el laboratorio **CONTRATISTA:**

NORMA: ASTM C 496 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2015/04/08

RECEPCIÓN N°: 27295 **FECHA DE EMISIÓN:** 2015/04/10

HOJA: 2 de 2

Prueba N°	1	2	3	4
Descripción de la muestra	Pavimentos Rígidos de 350 Kg/cm ²		Hormigones de Alta Resistencia de 700 Kg/cm ²	
Resistencia esperada a la compresión a los 28 días (MPa)	34,3	34,3	68,6	68,6
Fecha de fabricación	2015/03/12	2015/03/12	2015/03/12	2015/03/12
Fecha de rotura	2015/04/09	2015/04/09	2015/04/09	2015/04/09
Edad (días)	28	28	28	28
Altura (mm)	301,00	300,00	302,00	303,00
Diámetro 1 (mm)	150,00	150,80	150,00	152,00
Diámetro 2 (mm)	151,00	151,00	151,30	151,00
Diámetro promedio (mm)	150,50	150,90	150,65	151,50
Área (mm ²)	17789,46	17884,15	17824,94	18026,65
Volumen (mm ³)	5354628,89	5365245,71	5383132,83	5462076,46
Masa (gr)	12280,00	12340,00	12140,00	12190,00
Peso unitario (gr/cm ³)	2,29	2,30	2,26	2,22
Carga de ruptura (kN)	253,00	248,00	343,00	319,00
Resistencia a la Tracción (MPa)	3,56	3,49	4,80	4,42

OBSERVACIONES:

1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.



Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área




Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
Ecuador Director LMC.

2.2.7 ENSAYO AL DESGASTE



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624
Cel.: 09870 49430
Quito-Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO

DESGASTE EN BLOQUES DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO

PROYECTO: Tesis Estudio de Hormigones de Alta Resistencia
LOCALIZACIÓN: Ambato
MUESTRA: Tomada por el cliente
NORMA: UNE EN 1338:2004

SOLICITADO POR: Ing. Patricio Vasco
FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2015/04/08
FECHA DE EMISIÓN: 2015/04/10

RECEPCIÓN N°: 27295
HOJA: 1 de 2

MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
Fecha de fabricación	12/03/2015	12/03/2015	12/03/2015	12/03/2015	12/03/2015	12/03/2015
Fecha de ensayo	09/04/2015	09/04/2015	09/04/2015	09/04/2015	09/04/2015	09/04/2015
Descripción de la muestra	Pavimentos Rígidos de 350 Kg/cm ²			Hormigones de Alta Resistencia de 700 Kg/cm ²		
Edad (días)	28	28	28	28	28	28
Velocidad de caída del abrasivo (gn75rev)	1383.44	1383.44	1383.44	1383.44	1383.44	1383.44
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844	13844	13844	13844
Ángulo (°)	14.94	15.69	16.04	15.86	15.40	15.92
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200	200	200	200
Factor corrección	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Longitud de la cuerda medida (mm)	26.3	26.6	27.2	26.9	26.1	27
Longitud de la cuerda corregida (mm)	26.8	27.3	27.9	27.6	26.8	27.7
VOLUMEN DE DESGASTE (mm ³)	1030.5	1193.6	1274.3	1233.5	1129.0	1247.0

OBSERVACIONES: Volumen de desgaste de muestra patron (mármol) = 467.37 mm³

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área



2.3 NORMAS EMPLEADAS

NTE INEN 696 2011: ÁRIDOS, ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO

NTE INEN 858 2011: ÁRIDOS, DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS

NTE INEN 856 2011: ÁRIDOS, DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

NTE INEN 857 2011: ÁRIDOS, DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

NTE INEN 860 2011: ÁRIDOS, DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

ASTM C 31: PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA PREPARACIÓN Y CURADO EN OBRA DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO DEL HORMIGÓN

UNE EN 1338:2004 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 856:2010
Primera revisión

ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE.

First Edition

DESCRIPTORES: Árido, árido fino, determinación de la densidad.
CO 02.03-307
CDU: 691.322
CIU: 2901
ICS: 91.100.15

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p>	<p align="center">ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO</p>	<p align="center">NTE INEN 856:2010 Primera revisión 2010-12</p>
--	---	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan luego de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un periodo definido.

2.2 Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra. La diferencia entre la densidad de las partículas del árido, determinadas por éste método, y la masa unitaria (peso volumétrico) de los áridos, determinada de acuerdo al procedimiento de la NTE INEN 858, radica en que éste último método incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del árido.

2.3 Este método de ensayo no es aplicable para ser utilizado con áridos livianos.

2.4 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo. Estas notas, exceptuando aquellas ubicadas en tablas y figuras, no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

2.5 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694 y además las siguientes:

3.1.1 *Absorción.* Incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado periodo de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

3.1.2 *Densidad.* Masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico.

3.1.2.1 *Densidad (SH).* Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Árido, árido fino, determinación de la densidad.

3.1.2.2 Densidad (SSS). Masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

3.1.2.3 Densidad aparente. Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

3.1.3 Seco al horno (SH), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

3.1.4 Densidad relativa (gravedad específica). Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

3.1.4.1 Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

3.1.4.2 Densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

3.1.4.3 Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

3.1.5 Saturado superficialmente seco (SSS), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas que contienen áridos, incluyendo hormigón de cemento portland, hormigón bituminoso y otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también se la utiliza para el cálculo de vacíos entre partículas en el árido, de acuerdo a la NTE INEN 858. La densidad relativa (gravedad específica)(SSS) se la utiliza en la determinación de la humedad superficial del árido fino mediante desplazamiento de agua de acuerdo a la NTE INEN 859. La densidad relativa (gravedad específica) se la utiliza si el árido está húmedo, esto es, si ha alcanzado su absorción; por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) (SH) se la utiliza para los cálculos cuando el árido está seco o se asume que está seco.

4.2 La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) corresponden al material sólido que conforman las partículas constitutivas, sin incluir los vacíos de poros dentro de las partículas, a los cuales es accesible el agua. Este valor no es muy utilizado en la tecnología de construcción con áridos.

4.3 Los valores de absorción se utilizan para calcular los cambios en la masa de un árido debido al agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas, comparado con la condición seca, cuando se considera que el árido ha estado en contacto con agua el suficiente tiempo para satisfacer la mayoría del potencial de absorción. El valor de absorción determinado en el laboratorio, se consigue después de sumergir en agua el árido seco por un determinado período. Los áridos extraídos de una mina bajo la superficie del agua, comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método, si se utilizan sin secarlos. Por el contrario, algunos áridos que no han sido conservados en una condición continua de humedad hasta ser utilizados, probablemente contendrán una cantidad de agua absorbida menor que en la condición de saturado en 24 horas. Para un árido que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en las superficies de las partículas, el porcentaje de humedad libre se determina restando el valor de la absorción, del valor total de humedad que contiene el árido, determinado por secado según la NTE INEN 862.

(Continúa)

4.4 Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son válidos para la determinación de la absorción de áridos que han sido sometidos a condiciones de saturación diferentes que la inmersión en agua por 24 horas, tales como agua en ebullición o saturación al vacío. Los valores de absorción obtenidos mediante otros métodos de ensayo, serán diferentes de los valores obtenidos mediante la saturación indicada en este método, así como también los valores de densidad (SSS) o de densidad relativa (gravedad específica) (SSS).

4.5 Los poros en los áridos livianos, después de la inmersión por 24 horas, no están necesariamente llenos con agua. En realidad, la absorción potencial para muchos de estos áridos no se alcanza luego de algunos días inmersos en agua. Por lo tanto, este método de ensayo no es apropiado para uso con áridos livianos.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Se sumerge en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico; finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

5.2 Equipos

5.2.1 Balanza. Que tenga una capacidad de 1 kg o más, con una sensibilidad de 0,1 g o menos y una precisión de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso para este método de ensayo. La diferencia entre lecturas debe tener una precisión dentro de 0,1 g, en cualquier rango de 100 g de carga.

5.2.2 Picnómetro (para uso con el procedimiento gravimétrico). Matraz u otro contenedor apropiado, en el cual la muestra de ensayo de árido fino, pueda ser introducida fácilmente y en el cual el volumen contenido pueda ser legible dentro de $\pm 0,1 \text{ cm}^3$. El volumen del contenedor lleno hasta la marca debe ser por lo menos 50% mayor que el requerido para acomodar la muestra de ensayo. Para una muestra de ensayo de 500 g del árido más fino, es adecuado un matraz o un recipiente de 500 cm^3 de capacidad, adaptado con un picnómetro en la parte superior.

5.2.3 Matraz (para uso con el procedimiento volumétrico). Para una muestra de ensayo de aproximadamente 55 g, es adecuado un frasco de Le Chatelier, como el que se describe en la NTE INEN 156.

5.2.4 Molde y compactador para ensayo de humedad superficial. El molde metálico debe tener la forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones: $40 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interno superior, $90 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interno en la base y $75 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. El compactador metálico debe tener una masa de $340 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$ y una cara compactadora circular y plana, de $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.

5.2.5 Horno. De tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.3 Muestreo. Tomar las muestras del árido, de acuerdo a la NTE INEN 695. Mezclar íntegramente la muestra y reducirla hasta obtener una muestra de ensayo de aproximadamente 1 kg, utilizando el procedimiento indicado en la NTE INEN 2 566.

5.4 Preparación de la muestra de ensayo

5.4.1 Colocar la muestra en una bandeja o en otro recipiente apropiado y secarla en el horno a una temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta conseguir una masa constante, dejarla que se enfríe hasta una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente $50 \text{ }^\circ\text{C}$), luego cubrirla con agua, ya sea por inmersión o por adición de agua, hasta alcanzar al menos 6% de humedad en el árido fino y dejar que repose por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.

(Continúa)

5.4.1.1 Cuando se utilizan los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) en la dosificación de mezclas de hormigón, en las que el árido estará en condición de humedad natural; el requisito del numeral 5.4.1 sobre el secado inicial es opcional y si la superficie de las partículas de la muestra ha sido conservada húmeda continuamente hasta el ensayo, el requisito del numeral 5.4.1 sobre la inmersión por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, también es opcional (ver nota 1)

5.4.2 Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos (ver apéndice X), extender la muestra sobre una superficie plana, no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Si se desea, se pueden utilizar equipos mecánicos como un agitador, para ayudar a alcanzar la condición saturada superficialmente seca. Continuar esta operación hasta que la muestra se aproxime a una condición de flujo libre. Seguir el procedimiento indicado en el numeral 5.4.3 para determinar si la humedad superficial todavía esta presente en las partículas constituyentes del árido fino. Realizar el primer ensayo para esta determinación cuando todavía exista agua superficial en la muestra. Continuar secando con agitación constante y probar a intervalos frecuentes hasta que el ensayo indique que la muestra ha alcanzado la condición de superficie seca. Si el primer ensayo de determinación de humedad superficial indica que la humedad no esta presente en la superficie, significa que se ha secado más allá de la condición saturada superficialmente seca; en este caso, mezclar íntegramente el árido fino con algunos cm^3 de agua y dejar que la muestra repose en un recipiente cubierto por 30 minutos. A continuación, reanudar el proceso de secado y ensayos a intervalos frecuentes hasta determinar el inicio de la condición de superficie seca.

5.4.3 *Ensayo para determinar la humedad superficial.* Mantener firmemente el molde sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar en el molde en forma suelta, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo colocando material adicional en la parte superior manteniendo firme el molde con la mano, compactar el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente 5 mm sobre la superficie del árido. Permitir que el compactador caiga libremente bajo la atracción gravitacional en cada golpe. Ajustar la altura de inicio a la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuirlos sobre la superficie. Remover el árido fino que ha caído alrededor de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía esta presente, el árido fino mantendrá la forma del molde. Cuando el árido fino se desmorona ligeramente, ello indica que se ha alcanzado la condición de superficie seca.

5.4.3.1 Algunos áridos finos con partículas de forma predominantemente angular o con una alta proporción de finos, pueden no desmoronarse en el ensayo del cono, al alcanzar la condición de superficie seca. Este problema se puede verificar si al dejar caer desde una altura de 100 mm a 150 mm sobre una superficie, un puñado de árido fino, tomado de la muestra ensayada, se pueden observar partículas individuales muy finas. Para estos materiales, se considera que han alcanzado la condición saturada superficialmente seca, en el punto en que, luego de remover el molde, un lado del árido fino apenas se derrumba. En el Apéndice W se describen algunos criterios que se han utilizado en materiales que no se desmoronan fácilmente.

5.5 Procedimiento

5.5.1 Ensayar, ya sea por el procedimiento gravimétrico indicado en el numeral 5.5.2 o por el procedimiento volumétrico indicado en el numeral 5.5.3. Realizar todas las determinaciones de masa con una aproximación al 0,1 g.

5.5.2 *Procedimiento gravimétrico (picnómetro):*

5.5.2.1 Llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introducir en el picnómetro $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ de árido fino saturado superficialmente seco, preparado como se describe en el numeral 5.4 y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar el picnómetro como se describe, manualmente en el literal a) o mecánicamente en el literal b) de este numeral.

NOTA 1. Los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) (SSS) pueden ser significativamente más altos en áridos que no se los ha secado en el horno antes de la inmersión, respecto al mismo árido tratado de acuerdo con el numeral 5.4.1.

(Continúa)

- a) Manualmente: rodar, invertir y agitar el picnómetro (o utilizar una combinación de estas tres acciones) para eliminar las burbujas visibles de aire (ver nota 2).
- b) Mecánicamente: agitar el picnómetro mediante una vibración externa, de una forma que no degrade la muestra. Para promover la eliminación de aire sin degradación, es suficiente un nivel de agitación ajustado para solamente mantener las partículas individuales en movimiento. Se puede considerar aceptable un agitador mecánico, si en ensayos de comparación para cada período de seis meses de uso, muestra variaciones menores que el rango aceptable de dos resultados (2ds) indicados en la tabla 1, respecto a los resultados de la agitación manual en el mismo material.

5.5.2.2 Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, si es necesario media nte inmersión parcial en agua circulante; y llevar el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del picnómetro, muestra y agua.

5.5.2.3 Retirar el árido fino del picnómetro, secarlo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$, determinar su masa.

5.5.2.4 Determinar la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración, con agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.5.3 Procedimiento volumétrico (frasco de Le Chatelier):

5.5.3.1 Llenar el frasco, inicialmente con agua hasta un punto en el cuello, entre las marcas 0 cm^3 a 1 cm^3 . Registrar esta lectura inicial con el frasco y su contenido dentro de un rango de temperatura de $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Añadir $55\text{ g} \pm 5\text{ g}$ de árido fino e n condición saturado superficialmente seco (u otra cantidad medida, según sea necesario). Después de que todo el árido fino ha sido introducido, colocar el tapón en el frasco y rodarlo en posición inclinada o hacerlo girar suavemente en círculos horizontales, de manera de desalojar todo el aire atrapado, continuando hasta que no suban a la superficie más burbujas (ver nota 3). Tomar la lectura final con el frasco y su contenido a una temperatura dentro de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto de la inicial.

5.5.3.2 Para la determinación de la absorción, utilizar una porción separada de $500\text{ g} \pm 10\text{ g}$ de árido fino en condición saturada superficialmente seca, secarlo hasta conseguir una masa constante y determinar su masa seca.

5.6 Cálculos

5.6.1 Símbolos

- A = masa de la muestra seca al horno, g
 B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g
 C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g
 R_1 = lectura inicial del nivel de agua en el frasco de Le Chatelier, cm^3
 R_2 = lectura final del nivel de agua en el frasco de Le Chatelier, cm^3
 S = masa de muestra saturada superficialmente seca (utilizada en el procedimiento gravimétrico, para determinar la densidad y la densidad relativa (gravedad específica) o para determinar la absorción, con ambos procedimientos), g
 S_1 = masa de la muestra saturada superficialmente seca (utilizada en el procedimiento volumétrico, para determinar la densidad y la densidad relativa (gravedad específica)), g

5.6.2 Densidad relativa (gravedad específica):

5.6.2.1 Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Calcular la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición seco al horno, de la siguiente manera:

NOTA 2. Normalmente se necesita alrededor de 15 min a 20 min, para eliminar las burbujas de aire, por métodos manuales. Para dispersar la espuma que algunas veces se genera cuando se eliminan las burbujas

NOTA 3. Para eliminar la espuma que aparece en la superficie, se puede utilizar una pequeña cantidad medida de alcohol isopropílico (no mayor a 1 cm^3). El volumen de alcohol utilizado debe ser restado de la lectura final registrada. (R_2).

(Continúa)

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (1)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (2)$$

5.6.2.2 *Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)*. Calcular la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (3)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{S_1}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (4)$$

5.6.2.3 *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)*. Calcular la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) de la siguiente manera:

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (5)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1) - \left[\left(\frac{S_1}{S}\right)(S - A)\right]} \quad (6)$$

5.6.3 *Densidad:*

5.6.3.1 *Densidad (SH)*. Calcular la densidad del árido en condición seco al horno, de la siguiente manera:

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997,5 A}{(B + S - C)} \quad (7)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997,5 S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (8)$$

(Continúa)

5.6.3.2 Densidad (SSS). Calcular la densidad del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997,5 S}{(B + S - C)} \quad (9)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997,5 S_1}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (10)$$

5.6.3.2 Densidad aparente. Calcular la densidad aparente de la siguiente manera:

a) Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad aparente (SSS), kg/m}^3 = \frac{997,5 A}{(B + A - C)} \quad (11)$$

b) Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad aparente (SSS), kg/m}^3 = \frac{997,5 S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1) - \left[\left(\frac{S_1}{S}\right)(S - A)\right]} \quad (12)$$

5.6.4 Absorción. Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \quad (13)$$

(Ver nota 4)

5.7 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido fino,
- d) Resultados de densidad con una aproximación de 10 kg/m³, resultados de densidad relativa (gravedad específica) con una aproximación de 0,01 e indicar la condición del árido para densidad o densidad relativa (gravedad específica), ya sea (SH), (SSS) o aparente,
- e) Resultado de absorción con una aproximación de 0,1%,
- f) Si los valores de densidad, densidad relativa (gravedad específica) fueron determinados sin el secado preliminar del árido, según lo permitido en el numeral 5.4.1.1, registrar este particular en el informe,
- g) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

NOTA 4. El valor constante (997,5 kg/m³), utilizado en los cálculos de los numerales 5.6.2 a 5.6.4 es la densidad del agua destilada a 23 °C. Algunas autoridades recomiendan utilizar la densidad del agua destilada a 4 °C (1 000 kg/m³ o 1,000 Mg/m³), valores suficientemente precisos.

(Continúa)

5.8 Precisión y desviación

5.8.1 Precisión. La estimación de la precisión de este método de ensayo, que figura en la tabla 1, se basa en los resultados del Programa de muestras de referencia del laboratorio de materiales de la AASHTO, los ensayos fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM C 128 y a la norma AASHTO T 84. La diferencia significativa entre estos métodos es que la norma ASTM C 128 requiere un período de saturación de 24 h \pm 4 h mientras que la norma AASHTO T 84 requiere un período de saturación de 15 h a 19 h. Se ha encontrado que esta diferencia tiene un efecto insignificante sobre los índices de precisión. Los datos se basan en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. La estimación de la precisión para densidad fue calculada a partir de valores determinados de densidad relativa (gravedad específica), utilizando la densidad del agua destilada a 23 °C para la conversión.

TABLA 1. Precisión

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,027
Absorción, % ^B	0,11	0,31
Precisión multilaboratorio:		
Densidad (SH), kg/m ³	23	64
Densidad (SSS), kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción, % ^B	0,23	0,66
<p>^A Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670. La estimación de la precisión fue obtenida del análisis de los resultados de las muestras de referencia combinadas del laboratorio de materiales de la AASHTO, obtenidos de laboratorios que utilizaron un tiempo de saturación de 15 h a 19 h y otros laboratorios que utilizaron 24 h \pm 4 h de saturación. El ensayo se realizó en áridos de masa normal y comenzó con los áridos en condición seca al horno.</p> <p>^B La estimación de la precisión está basada en áridos con absorciones menores de 1% y pueden variar en áridos finos producto de trituración, así como en áridos que tengan valores de absorción mayores de 1%.</p>		

5.8.2 Desviación. Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

(Continúa)

APÉNDICE W
(Información opcional)

CRITERIOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA, EN MATERIALES QUE NO SE DESMORONAN FÁCILMENTE

W.1 En materiales que no se desmoronan fácilmente se han utilizado los siguientes criterios:

W.1.1 *Ensayos provisionales de cono.* Realizar el ensayo del molde cónico como se describe en el numeral 5.4.3, excepto que se debe aplicar solamente 10 golpes. Añadir más árido fino y aplicar 10 golpes nuevamente. A continuación, agregar material dos veces más, aplicando 3 y 2 golpes del compactador, respectivamente. Nivelar el material al ras de la parte superior del molde, retirar el material suelto en la base y levantar el molde verticalmente.

W.1.2 *Ensayo provisional de la superficie.* Si se observan los finos en el aire cuando se tiene un árido fino que no se desmorona cuando se encuentra en una condición de humedad, agregar más humedad al árido fino y cuando se considera que el material está en la condición de superficie seca, colocar con la mano aproximadamente 100 g de material sobre una superficie plana, no absorbente, seca, limpia, oscura o gris, como una plancha de caucho, una superficie de acero, galvanizada o una superficie de metal pintada de negro. Después de 1 s a 3 s, retirar el árido fino. Si se muestra humedad visible en la superficie de ensayo por más de 1 s a 2 s, entonces se considera que la humedad superficial está aún presente en el árido fino.

W.1.3 Procedimientos colorimétricos, descritos por Kandhal y Lee, en Highway Research Record No. 307, página 44.

W.1.4 Para alcanzar la condición saturada superficialmente seca en un material de un solo tamaño, que se desmorona cuando está húmedo, se pueden utilizar toallas de papel con textura áspera para secar la superficie del material hasta el punto donde se alcanza la condición, que es cuando la toalla de papel no parece estar recogiendo humedad de las superficies de las partículas del árido fino.

(Continúa)

APÉNDICE X
(Información opcional)

DIFERENCIAS POTENCIALES EN LA DENSIDAD RELATIVA Y LA ABSORCIÓN DEBIDO A LA PRESENCIA DE MATERIAL MÁS FINO QUE 75 μm

X.1 Se ha encontrado que puede haber diferencias significativas en la densidad relativa y la absorción, entre muestras de árido fino ensayadas con material más fino que 75 μm (tamiz No. 200) presente y no presente en las muestras. Las muestras en las que no se ha retirado el material más fino que 75 μm , por lo general dan una mayor absorción y una menor densidad relativa en comparación con el resultado del ensayo del mismo árido fino del cual se ha retirado el material más fino que 75 μm , siguiendo los procedimientos de la NTE INEN 697. En las muestras que contienen material más fino que 75 μm , se puede crear una capa que recubre las partículas más gruesas del árido fino, durante el proceso de secado superficial. El resultado de la medición de la densidad relativa y absorción, es el de las partículas aglomeradas y recubiertas y no el del material original. La diferencia en la absorción y en la densidad relativa determinada entre las muestras en las que no se ha retirado el material más fino que 75 μm y las muestras en las que si se lo ha retirado, depende tanto de la cantidad presente del material más fino que 75 μm como de la naturaleza del material. Cuando la presencia del material más fino que 75 μm es menor que aproximadamente el 4% en masa, la diferencia en la densidad relativa entre las muestras lavadas y sin lavar es inferior a 0,03. Cuando la presencia del material más fino que 75 μm es mayor que aproximadamente el 8% en masa, la diferencia en la densidad relativa obtenida entre las muestras lavadas y sin lavar puede ser tan grande como 0,13. Se ha encontrado que la densidad relativa determinada en áridos finos de los cuales se ha retirado el material más fino que 75 μm antes del ensayo, refleja con mayor precisión la densidad relativa del material.

X.2 Se puede suponer que el material más fino que 75 μm , que se extrae, tiene la misma densidad relativa del árido fino. Alternativamente, la densidad relativa (gravedad específica) del material más fino que 75 μm puede ser también evaluada, utilizando el procedimiento descrito en la norma ASTM D 854, sin embargo, este ensayo determina la densidad relativa aparente y no la densidad relativa.

(Continúa)

APÉNDICE Y
(Información opcional)

**INTERRELACIÓN ENTRE DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y
ABSORCIÓN, SEGÚN SE DEFINEN EN LAS NTE INEN 857 Y NTE INEN 856**

Y.1 Este apéndice proporciona relaciones matemáticas entre los tres tipos de densidad relativa (gravedad específica) y la absorción. Estos valores pueden ser útiles para controlar la correspondencia de los datos reportados o calcular un valor que no se ha reportado mediante el uso de otros datos reportados.

Y.2 Donde:

S_d = densidad relativa (gravedad específica) (SH),
 S_s = densidad relativa (gravedad específica) (SSS),
 S_a = densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), y
 A = absorción en %.

Calcular los valores de cada uno, de la siguiente manera:

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (\text{Y.1})$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (\text{Y.2})$$

$$\text{ó } S_a = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \left[\frac{A}{100}(S_s - 1)\right]} \quad (\text{Y.3})$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) 100 \quad (\text{Y.4})$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)}\right) 100 \quad (\text{Y.5})$$

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697	<i>Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µM (No. 200), mediante lavado.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857	<i>Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858	<i>Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 859	<i>Áridos para hormigón. Determinación de la humedad superficial en el árido fino.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862	<i>Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 566	<i>Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo</i>
Norma ASTM C 128	<i>Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del árido fino.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>
Norma ASTM D 854	<i>Método de ensayo para determinar la gravedad específica de los suelos sólidos por medio del picnómetro con agua.</i>
Norma AAASHTO T 84	<i>Gravedad específica y absorción del árido fino.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 128 – 07a. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2007.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 856
Primera revisión

TÍTULO: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

Código: CO 02.03-307

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Acuerdo Ministerial No. 504 del 1983-09-27 publicado en el Registro Oficial No. 598 del 1983-10-13 Fecha de iniciación del estudio: 2010-02-25
--	---

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: HORMIGONES, ÁRIDOS Y MORTEROS

Fecha de iniciación: 2010-03-09

Fecha de aprobación: 2010-03-25

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce (Vicepresidente)

Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egüez

Ing. Raúl Cabrera

Sr. Carlos Aulestia

Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno

Ing. Carlos González

Ing. Víctor Buri

Ing. Douglas Alejandro

Ing. Verónica Miranda

Ing. Diana Sánchez

Ing. Stalin Serrano

Ing. Xavier Herrera

Ing. Mireya Martínez

Ing. Rubén Vásquez

Ing. Víctor Luzuriaga

Ing. Patricio Torres

Ing. Luis Balarezo

Ing. Eric Galarza

Ing. Nelson Alvear

Ing. Carlos Castillo(Prosecretario Técnico)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC.

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN
PREMEZCLADO DEL ECUADOR, APRHOPEC.

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS

HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES

LAFARGE CEMENTOS S. A.

CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

INTACO ECUADOR S. A.

INTACO ECUADOR S. A.

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA /
HORMIGONERA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

HORMIGONERA EQUINOCCIAL.

HORMIGONERA QUITO

CAMINOSCA CIA. LTDA.

CEMENTO CHIMBORAZO C. A.

INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.

DICOPLAN CIA. LTDA.

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

SIKA ECUATORIANA S. A.

SIKA ECUATORIANA S. A.

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 856:1983 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 856:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 856:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-10-29

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 347 de 2010-12-23

Por Resolución No. 127-2010 de 2010-11-30

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815**

Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec

Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec

Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec

Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec

Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec

URL: www.inen.gov.ec



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 696:2011
Primera revisión

ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos grueso y fino, ensayo, granulometría.
CO 02.03-301
CDU: 691.322 :620.173.2
CIU: 2901
ICS: 91.100.15

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.	NTE INEN 696:2011 Primera revisión 2011-05
---	--	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas.

2.2 En esta norma se incluyen instrucciones para el análisis granulométrico de áridos que contienen mezclas de fracciones finas y gruesas.

2.3 Mediante el uso de este método de ensayo, no se puede lograr una determinación precisa del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200). Para el tamizado del material más fino que el tamiz de 75 µm mediante lavado, se debe emplear la NTE INEN 697.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 694.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Algunas especificaciones para áridos las cuales hacen referencia a este método de ensayo contienen requisitos para graduación de las fracciones gruesa y fina. En esta norma se incluyen las instrucciones para los análisis granulométricos de tales áridos.

4.2 Para los métodos de muestreo y ensayo de los áridos de alta densidad, se debe referir a la norma ASTM C 637.

4.3 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos grueso y fino, ensayo, granulometría.

5.2 Equipos

5.2.1 Balanzas. Las balanzas utilizadas en el ensayo del árido fino y grueso deben tener una legibilidad y exactitud como la que se indica a continuación:

5.2.1.1 Para árido fino, debe ser legible hasta 0,1 g y tener una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto, dentro del rango de uso.

5.2.1.2 Para árido grueso o mezclas de áridos fino y grueso, debe ser legible y tener una precisión de 0,5 g o 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

5.2.2 Tamices. La tela del tamiz debe ser montada sobre marcos cuya construcción evite pérdidas de material durante el tamizado. La tela y los marcos del tamiz normalizado deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. Los marcos de tamiz no normalizados deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154 que sean aplicables (ver nota 1).

5.2.3 Agitador de tamices mecánico. Un dispositivo de tamizado mecánico, si se utiliza, debe crear un movimiento en los tamices que produzca que las partículas reboten y caigan, u otro tipo de movimiento que presente diferente orientación a la superficie de tamizado. La acción de tamizado debe ser tal que se cumpla el criterio para un tamizado adecuado, descrito en el numeral 5.4.4, en un período de tiempo razonable (ver nota 2).

5.2.4 Horno. Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

5.3 Muestreo

5.3.1 Muestrear el árido de conformidad con NTE INEN 695. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en la NTE INEN 695 o cuatro veces la cantidad requerida en los numerales 5.3.4 y 5.3.5 (excepto como se ha modificado en el numeral 5.3.6), el que sea mayor.

5.3.2 Mezclar completamente la muestra y reducirla a una cantidad adecuada para el ensayo, utilizando los procedimientos descritos en la norma ASTM C 702. La muestra para el ensayo debe ser, aproximadamente, la cantidad deseada en seco y se la debe obtener como resultado final de la reducción. No se permite una reducción a una cantidad exacta predeterminada (ver nota 3).

5.3.3 Árido fino. El tamaño de la muestra para el ensayo, luego de secarla, debe ser como mínimo 300 gramos.

5.3.4 Árido grueso. El tamaño de la muestra para el ensayo de árido grueso debe cumplir con lo señalado en la tabla 1.

NOTA 1. Para ensayos de árido grueso se recomienda utilizar tamices montados en marcos más grandes que el normalizado de 203,2 mm de diámetro, para reducir la posibilidad de sobrecargar los tamices. Ver el numeral 5.4.3.

NOTA 2. Se recomienda el uso de un agitador de tamices mecánico cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o más, aunque puede ser utilizado para muestras más pequeñas, incluyendo árido fino. Un tiempo excesivo (mayor a 10 minutos aproximadamente) puede resultar en la degradación de la muestra. El mismo agitador de tamices mecánico puede no resultar práctico para todos los tamaños de muestras, ya que se necesita un área de tamizado mayor para el tamizado efectivo de un árido grueso de mayor tamaño nominal y muy probable puede ocasionar la pérdida de una porción de la muestra si se lo utiliza con una muestra pequeña de árido grueso o árido fino.

NOTA 3. En caso de que el análisis granulométrico, incluyendo la determinación del material más fino que el tamiz de 75 µm, sea el único ensayo a realizarse, se puede reducir en el campo el tamaño de la muestra para evitar el envío de cantidades excesivas de material adicional al laboratorio.

(Continúa)

TABLA 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

5.3.5 Mezclas de áridos grueso y fino. El tamaño de la muestra para el ensayo de las mezclas de árido grueso y fino, debe ser el mismo que para el árido grueso indicado en el numeral 5.3.4.

5.3.6 Muestreo del árido grueso de gran tamaño. El tamaño de la muestra requerida para árido con un tamaño nominal máximo de 50 mm o mayor, debe ser tal que se evite la reducción de la muestra y se ensaye como una unidad, excepto si se utilizan grandes separadores mecánicos y agitadores de tamices. Como una opción, cuando dicho equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar incrementos de la muestra y luego reducir la muestra de campo al tamaño de ensayo, realizar el tamizado en un número de porciones de muestra aproximadamente iguales tal que la masa total ensayada cumpla con los requisitos del numeral 5.3.4.

5.3.7 En el caso de que se determine la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) mediante el método de ensayo de la NTE INEN 697, proceder de la siguiente manera:

5.3.7.1 Para áridos con un tamaño nominal máximo de 12,5 mm o menor, utilizar la misma muestra para los ensayos que se realizan con esta norma y con la NTE INEN 697. Primero ensayar la muestra de conformidad con la NTE INEN 697, luego realizar la operación de secado final y tamizar la muestra seca de acuerdo a lo estipulado en los numerales 5.4.2 al 5.4.7 de esta norma.

5.3.7.2 Para áridos con un tamaño nominal máximo superior a 12,5 mm, utilizar una única muestra de ensayo, según lo descrito en el numeral 5.3.7.1 u opcionalmente utilizar muestras separadas para los ensayos según la NTE INEN 697 y esta norma.

5.3.7.3 Cuando las especificaciones requieran la determinación de la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75 μm por lavado y por tamizado en seco, proceder según lo descrito en el numeral 5.3.7.1.

5.4 Procedimiento

5.4.1 Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de 110 $^{\circ}\text{C} \pm 5$ $^{\circ}\text{C}$ (ver nota 4).

5.4.2 Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, con el propósito de obtener la información requerida en las especificaciones. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo, de tal forma que cumpla con el criterio de conformidad o de tamizado descritos en el numeral 5.4.4.

NOTA 4. Para propósitos de control, especialmente cuando se desean resultados rápidos, no es necesario secar el árido grueso para el ensayo del análisis granulométrico. Los resultados son poco afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño nominal máximo sea menor que 12,5 mm; (2) el árido grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que el tamiz de 4,75 mm (No. 4); o (3) el árido grueso tenga una absorción muy alta (por ejemplo, un árido de densidad baja). Además, se pueden secar las muestras a altas temperaturas mediante el uso de planchas calientes, sin afectar los resultados, siempre que el vapor se escape sin generar presión suficiente para fracturar la partículas y las temperaturas no sean tan altas como para causar una descomposición química del árido.

5.4.3 Limitar la cantidad de material sobre un determinado tamiz de manera que todas las partículas tengan oportunidad de llegar a las aberturas del tamiz algunas veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4,75 mm (No. 4), la cantidad que se retiene sobre cualquier tamiz al finalizar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m² en la superficie de tamizado (ver nota 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (No. 4) y más grandes, la cantidad retenida en kg no debe exceder del producto de 2,5 X (la abertura del tamiz, en mm y X (el área efectiva de tamizado, en m²)). Esta cantidad se muestra en la tabla 2, para cinco diferentes dimensiones del marco de tamiz entre circulares, cuadrados y rectangulares, los que son de mayor uso. En ningún caso la cantidad retenida debe ser tan grande como para causar una deformación permanente de la tela de tamiz.

TABLA 2. Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz, en kg.

Tamaño de abertura del tamiz (mm)	Tamiz de dimensiones nominales				
	Ø = 203,2 mm ^A	Ø = 254 mm ^A	Ø = 304,8 mm ^A	350 X 350 mm	372 X 580 mm
	Área de tamizado, (m ²)				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	B	B	B	B	67,4
100	B	B	B	30,6	53,9
90	B	B	15,1	27,6	48,5
75	B	8,6	12,6	23,0	40,5
63	B	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,5
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

^A El área para los tamices de marcos redondos se basa en un diámetro efectivo de 12,7 mm, menor que el diámetro nominal del marco, porque la NTE INEN 154 permite que el sello entre la tela del tamiz y el marco se extienda a 6,35 mm sobre la tela del tamiz. Así el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz con un marco de diámetro de 203,2 mm es de 190,5 mm. En tamices elaborados por algunos fabricantes el sello no se extiende en la tela del tamiz los 6,35 mm completos.

^B Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas completas y no deben ser utilizados para el ensayo de tamizado, excepto por lo indicado en el numeral 5.4.6.

5.4.3.1 Evitar una sobrecarga de material sobre un tamiz individual, mediante alguno de los siguientes métodos:

- Insertar un tamiz adicional con un tamaño intermedio de abertura entre el tamiz que puede estar sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior al tamiz en el conjunto original de tamices.
- Dividir la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combinar las masas de las varias porciones retenidas sobre un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz.
- Utilizar tamices con un tamaño de marco más grande y que proporcione un área mayor de tamizado.

NOTA 5. Los 7 kg/m² equivalen a 200 g en un tamiz habitual de 203,2 mm de diámetro (con un diámetro de la superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm).

(Continúa)

5.4.4 Continuar tamizando por un período suficiente de forma tal que, después de la finalización, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual pase el tamiz durante 1 min de tamizado manual continuo realizado de la siguiente manera: sostener el tamiz individual, provisto con una bandeja inferior y una tapa, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear un lado del tamiz fuertemente y con un movimiento hacia arriba contra la base de la otra mano, a razón de aproximadamente 150 veces por minuto, girar el tamiz, aproximadamente una sexta parte de una revolución, en intervalos de alrededor de 25 golpes. En la determinación de la efectividad del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4,75 mm (No. 4), limitar el material sobre el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento descrito de tamizado no sea práctico, utilizar tamices con diámetro de 203 mm para verificar la efectividad del tamizado.

5.4.5 Evitar la sobrecarga de los tamices individuales según el numeral 5.4.3.1 para el caso de mezclas de áridos grueso y fino.

5.4.5.1 Opcionalmente, reducir la porción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) utilizando un reductor mecánico de acuerdo con la norma ASTM C 702. Si se sigue este procedimiento, calcular la masa de cada fracción de tamaño de la muestra original de la siguiente manera:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

Donde:

- A = masa corregida en base a la muestra total,
- W_1 = masa de la fracción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) en la masa total,
- W_2 = masa reducida del material más fino que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) actualmente tamizado, y
- B = masa de la fracción en cada porción reducida tamizada.

5.4.6 A menos que se utilice un agitador de tamices mecánico, tamizar a mano las partículas mayores de 75 mm mediante la determinación de la abertura más pequeña de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Iniciar el ensayo con el tamiz más pequeño a ser utilizado. Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular, sin embargo, no se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.

5.4.7 Determinar las masas de cada incremento de tamaño en una balanza que cumpla con los requisitos especificados en el numeral 5.2.1, con una precisión de 0,1% de la masa total de la muestra seca original. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

5.4.8 Si se ha ensayado previamente la muestra por el método de ensayo de la NTE INEN 697, agregar la masa más fina que el tamiz de 75 μ m (No. 200) determinado por ese método de ensayo, a la masa que pasa por el tamiz de 75 μ m (No. 200) en el tamizado en seco de la misma muestra por este método de ensayo.

5.5 Cálculos

5.5.1 Calcular los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos totales o porcentajes en fracciones de varios tamaños con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial. Si la misma muestra de ensayo fue ensayada previamente por el método de ensayo de la NTE INEN 697, incluir en el cálculo del análisis por tamizado, la masa del material más fino que el tamiz de 75 μ m (No. 200) determinada por lavado, utilizando la masa seca total de la muestra antes del lavado como base para el cálculo de todos los porcentajes.

5.5.1.1 Cuando los incrementos de la muestra sean ensayados según lo dispuesto en el numeral 5.3.6, sumar las masas de la porción de los incrementos retenidas en cada tamiz y utilizar estas masas para calcular los porcentajes según el numeral 5.5.1.

(Continúa)

5.5.2 Cuando se lo requiera, calcular el módulo de finura mediante la sumatoria de los porcentajes totales de material que es más grueso que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm, 19,0 mm, 37,5 mm y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

5.6 Informe de resultados. Dependiendo de la forma de las especificaciones para el uso del material sometido a ensayo, se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido,
- d) Porcentaje total del material pasante de cada tamiz, o
- e) Porcentaje total del material retenido sobre cada tamiz, o
- f) Porcentaje del material retenido entre tamices consecutivos,
- g) Informar los porcentajes con una aproximación al número entero más próximo, excepto si el porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) es inferior al 10%, este debe ser informado con una precisión de 0,1%,
- h) El módulo de finura, cuando se lo requiera, con una precisión de 0,01,
- i) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra y cualquier desviación de alguno de los enunciados de esta muestra.

5.7 Precisión y desviación

5.7.1 Precisión. La estimación de la precisión de este método de ensayo se muestran en la tabla 3. Las estimaciones se basan en los resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos realizados con el método de ensayo de las normas ASTM C 136 y AASHTO No. T 27. Los datos se basan en el análisis de los resultados de los ensayos de 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de ensayos de árido grueso para comparación y resultados de ensayos de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de ensayos de árido fino para comparación (muestras No. 21 a 90). Los valores de la tabla se refieren a diferentes rangos de porcentaje total de áridos que pasa por un tamiz.

5.7.1.1 Los valores de precisión para el árido fino indicados en la tabla 3 se basan en muestras de ensayo nominales de 500 g. La revisión de este método de ensayo en 1994, permitió que el tamaño de la muestra de ensayo del árido fino sea de 300 g como mínimo. El análisis de los resultados de los ensayos en muestras de ensayo de 300 g y 500 g de las muestras de árido para comparación 99 y 100 (las muestras 99 y 100 eran esencialmente idénticas) produjo los valores de precisión que se muestran en la tabla 4, que indica solo las menores diferencias debido al tamaño de la muestra de ensayo (ver nota 6).

5.7.2 Desviación. Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

NOTA 6. Los valores para el árido fino indicados en la tabla 3 serán revisados para reflejar el tamaño de la muestra de 300 g cuando un número suficiente de ensayos de competencia en áridos sean realizados utilizando ese tamaño de la muestra para proporcionar datos confiables.

(Continúa)

TABLA 3. Precisión

	Porcentaje total de material pasante	Desviación estándar (1s), % A	Rango aceptable de dos resultados (d2s), % A	
Árido grueso. ^B Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9	
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3	
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8	
	< 80 ≥ 60	2,25	6,4	
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7	
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7	
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8	
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1	
	< 5 ≥ 2	0,53	1,5	
	< 2 > 0	0,27	0,8	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
		< 95 ≥ 85	1,37	3,9
		< 85 ≥ 80	1,92	5,4
		< 80 ≥ 60	2,82	8,0
< 60 ≥ 20		1,97	5,6	
< 20 ≥ 15		1,60	4,5	
< 15 ≥ 10		1,48	4,2	
< 10 ≥ 5		1,22	3,4	
Árido fino: Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,26	0,7	
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6	
	< 60 ≥ 20	0,83	2,4	
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5	
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0	
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1	
	< 2 > 0	0,14	0,4	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
		< 95 ≥ 60	0,77	2,2
		< 60 ≥ 20	1,41	4,0
		< 20 ≥ 15	1,10	3,1
		< 15 ≥ 10	0,73	2,1
< 10 ≥ 2		0,65	1,8	
	< 2 > 0	0,31	0,9	
<p>^A Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, descritos en la norma ASTM C 670.</p> <p>^B La precisión estimada basada en áridos con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm .</p>				

(Continúa)

TABLA 4. Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 gramos y 500 gramos

Muestra para comparación de árido fino				Dentro del laboratorio		Entre laboratorios	
Resultado del ensayo	Tamaño de la muestra (g)	Números de laborat.	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
Norma ASTM C 136 / AASHTO No. T 27	500	285	99,992	0,027	0,066	0,037	0,104
	300	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Total de material pasante por el tamiz No. 4 (%)	500	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Total de material pasante por el tamiz No. 8 (%)	500	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Total de material pasante por el tamiz No. 16 (%)	500	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Total de material pasante por el tamiz No. 30 (%)	500	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Total de material pasante por el tamiz No. 50 (%)	500	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Total de material pasante por el tamiz No. 100 (%)	500	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigones y áridos para elaborar hormigón. Terminología</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos para hormigón. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697	<i>Áridos para hormigón. Determinación de los materiales más finos que 75 μm.</i>
Norma ASTM C 136	<i>Método de ensayo para el análisis por tamizado de áridos finos y gruesos</i>
Norma ASTM C 637	<i>Especificaciones para áridos para hormigón para protección de la radiación.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica Para la Preparación de Informes de Precisión y Desviación para Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción</i>
Norma ASTM C 702	<i>Práctica para reducción de muestras de árido hasta el tamaño de ensayo.</i>
Norma AASHTO No. T 27	<i>Análisis por tamizado de áridos finos y gruesos</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 136 – 06. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2006.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 696 Primera revisión	TÍTULO: ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.	Código: CO 02.03-301
---	---	--------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 484 del 1983-09-19 publicado en el Registro Oficial No. 597 del 1983-10-12 Fecha de iniciación del estudio: 2009-10-05
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: Hormigones, áridos y morteros	Fecha de aprobación: 2009-10-22
Fecha de iniciación: 2009-10-08	
Integrantes del Subcomité Técnico:	

NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:
Ing. Guillermo Realpe (Presidente)	FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Ing. José Arce	HORMIGONES HÉRCULES S. A.
Ing. Jaime Salvador	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.
Ing. Raúl Ávila	ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.
Ing. Hugo Egüez	HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS
Ing. Raúl Cabrera	HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES
Sr. Carlos Aulestia	LAFARGE CEMENTOS S. A.
Ing. Xavier Arce	CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL.
Ing. Marlon Valarezo	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
Arq. Soledad Moreno	INTACO ECUADOR S. A.
Ing. Carlos González	INTACO ECUADOR S. A.
Ing. Víctor Buri	HORMIGONES HÉRCULES S. A.
Ing. Douglas Alejandro	MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.
Ing. Verónica Miranda	COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL
Ing. Diana Sánchez	FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
Ing. Stalin Serrano	HORMIGONES EQUINOCCIAL.
Ing. Xavier Herrera	HORMIGONERA QUITO
Ing. Mireya Martínez	CAMINOSCA CIA. LTDA.
Ing. Rubén Vásquez	CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
Ing. Víctor Luzuriaga	INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
Ing. Patricio Torres	DICOPLAN CIA. LTDA.
Ing. Luis Balarezo	CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 696:1983 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 696:2011 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 696:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-12-17

Oficializada como: Voluntaria	Por Resolución No. 150-2010 de 2010-12-17
Registro Oficial No. Edición especial 151 de 2011-05-26	

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inenlaboratorios@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gob.ec
URL: www.inen.gob.ec**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 858:2010
Primera revisión

ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR BULK DENSITY ("UNIT WEIGHT") AND VOIDS IN AGGREGATE.

First Edition

DESCRIPTORES: Áridos, Determinación de la masa.
CO 02.03-309
CDU: 691.322
CIU: 2901
ICS: 91.100.15

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p>	<p style="text-align: center;">ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS</p>	<p style="text-align: center;">NTE INEN 858:2010 Primera revisión 2010-12</p>
--	--	--

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del árido, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos, basándose en la misma determinación.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo es aplicable a los áridos que no exceden de un tamaño máximo nominal de 125 mm, (ver nota 1).

2.2 Este método es frecuentemente utilizado para determinar los valores de masa unitaria (peso volumétrico), que son necesarios, en varios métodos, para la selección de las dosificaciones para las mezclas de hormigón.

2.3 El valor de la masa unitaria (peso volumétrico) también puede ser utilizada para la determinación de la relación masa / volumen, para las conversiones en la compra de áridos. Sin embargo, con este método de ensayo no se puede determinar la relación entre el grado de compactación de los áridos en una unidad de transporte o en el almacenamiento. Con este método de ensayo se determina la masa unitaria en condición seca, en cambio los áridos en las unidades de transporte y en el almacenamiento suelen contener humedad absorbida y superficial (esta última afecta su volumen).

2.4 Se incluye un procedimiento para el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas del árido, basado en la masa unitaria (peso volumétrico) determinada por este método de ensayo.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694 y además las siguientes:

3.1.1 *Masa unitaria (peso volumétrico) del árido.* Masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total, en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas. Expresada en kg/m³.

3.1.1.1 *Comentario.* Peso es igual a la masa del cuerpo multiplicada por la aceleración gravitacional. El peso puede ser expresado en unidades absolutas (newtons) o en unidades gravitacionales (kgf); por ejemplo: sobre la superficie de la tierra, un cuerpo con una masa de 1 kg tiene un peso de 1 kgf (aproximadamente 9,81 N). Puesto que el peso es igual a la masa por la aceleración gravitacional, el peso de un cuerpo puede variar según el lugar en que se determina el peso, mientras que la masa del cuerpo se mantiene constante. En la superficie de la tierra, la fuerza gravitacional produce a un cuerpo que está en caída libre, una aceleración de aproximadamente 9,81 m/s².

3.1.2 *Vacíos, en volumen unitario de árido.* Espacio entre las partículas de una masa de árido, no ocupado por la materia mineral sólida.

3.1.2.1 *Comentario.* Los vacíos dentro de las partículas, tanto permeables como impermeables, no se incluyen en los vacíos determinados por este método de ensayo

NOTA 1. Masa unitaria es la terminología tradicional utilizada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, que es la masa por unidad de volumen o densidad.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Áridos, Determinación de la masa

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Se coloca el árido en un molde con una capacidad adecuada, se lo compacta mediante alguno de los tres procedimientos señalados en este método de ensayo, se calcula la masa unitaria (peso volumétrico) del árido y el contenido de vacíos mediante las fórmulas indicadas en esta norma.

5.2 Equipos

5.2.1 Balanza. Que tenga una precisión de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, con graduaciones de al menos 0,05 kg. Se debe considerar que el rango de uso se extiende desde la masa del molde vacío, hasta la masa del molde más su contenido el cual se considera que tiene una masa unitaria de 1 920 kg/m³.

5.2.2 Varilla de compactación. Debe ser una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo el extremo de compactación o los dos extremos redondeados con punta semiesférica, cuyo diámetro es de 16 mm.

5.2.3 Molde. Recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto de asas. Impermeable, con la parte superior y el fondo, rectos y uniformes. Suficientemente rígido para mantener su forma bajo condiciones agresivas de uso. El molde debe tener una altura aproximadamente igual a su diámetro, pero en ningún caso la altura debe ser menor al 80% ni superior al 150% del diámetro. La capacidad del molde debe cumplir con los límites indicados en la tabla 1, de acuerdo al tamaño del árido a ser ensayado. El espesor del metal en el molde debe cumplir con lo que se describe en la tabla 2. El borde superior debe ser liso y plano dentro de 0,25 mm y debe ser paralelo al fondo con una tolerancia de 0,5° (ver nota 2). La pared interior del molde debe ser una superficie lisa y continua.

TABLA 1. Capacidad de los moldes

Tamaño máximo nominal del árido mm	Capacidad nominal del molde ^A m ³ [litros]
12,5	0,0028 [2,8]
25,0	0,0093 [9,3]
37,5	0,014 [14]
75,0	0,028 [28]
100,0	0,070 [70]
125,0	0,100 [100]

^A Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. El volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

NOTA 2. El borde superior es satisfactoriamente plano, si un calibrador de sondeo de 0,25 mm, no puede ser insertado entre el borde y una placa de vidrio, de 6 mm o más gruesa, colocada sobre el molde. La parte superior e inferior son satisfactoriamente paralelas si la pendiente entre la placa de vidrio en contacto con el borde superior y el fondo, no excede de 0,87% en cualquier dirección.

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos para los moldes

Capacidad del molde	Espesor mínimo del metal		
	Fondo	38 mm superiores de la pared ^A	Resto de la pared
Menor que 11 (litros)	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
De 11 litros a 42 litros incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 litros a 80 litros incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 litros a 133 litros incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

^A El espesor adicional, se puede obtener mediante la colocación de una banda de refuerzo en la parte superior del molde.

5.2.3.1 Si el molde es también utilizado para el ensayo de la masa unitaria (peso volumétrico) del hormigón fresco, de acuerdo a la norma ASTM C 138, el molde debe ser fabricado de acero o de otro metal adecuado, que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento. Se permiten materiales reactivos, tales como las aleaciones de aluminio, cuando como consecuencia de una reacción inicial, se forma una película superficial que protege el metal contra la corrosión futura.

5.2.3.2 Los moldes de capacidad nominal mayor a 28 litros, deben ser fabricados de acero por su rigidez. Para otros metales los espesores mínimos que se indican en la tabla 2 deben ser adecuadamente incrementados.

5.2.4 *Pala o cucharón.* De tamaño conveniente para llenar el molde con el árido.

5.2.5 *Equipo de calibración:* Además de la balanza.

5.2.5.1 *Placa de vidrio.* De al menos 6 mm de espesor y por lo menos 25 mm mayor que el diámetro del molde a ser calibrado.

5.2.5.2 *Grasa.* Un suministro de grasa liviana automotriz o similar.

5.2.5.3 *Termómetro.* Con un rango de al menos entre 10 °C y 32 °C y que permita una lectura de por lo menos 0,5 °C.

5.3 Calibración del molde

5.3.1 Los moldes deben ser calibrados por lo menos una vez al año o cada vez que exista motivos para dudar de su precisión.

5.3.2 Determinar la masa de la placa de vidrio y del molde, con una aproximación de 0,05 kg.

5.3.3 Colocar una fina capa de grasa en el borde del molde para prevenir la fuga de agua.

5.3.4 Llenar el molde con agua a temperatura ambiente y cubrirlo con la placa de vidrio de tal manera de eliminar las burbujas y el exceso de agua. Eliminar cualquier porción de agua que pueda haberse desbordado sobre el molde o la placa de vidrio.

5.3.5 Determinar la masa del agua, la placa de vidrio y el molde, con una aproximación de 0,05 kg.

5.3.6 Medir la temperatura del agua con una aproximación de 0,5 °C y determinar su densidad de acuerdo a la información de la tabla 3, interpolando si es necesario.

5.3.7 Calcular el volumen V, del molde. Alternativamente, calcular el factor F, para el molde (ver nota 3).

NOTA 3. Para el cálculo de la masa unitaria (peso volumétrico), el volumen del molde en unidades del SI debe ser expresado en metros cúbicos, o el factor como 1/m³. Sin embargo, por comodidad el tamaño del molde puede ser expresado en litros.

(Continúa)

TABLA 3. Densidad del agua

Temperatura °C	Densidad kg/m ³
15,0	999,19
17,0	998,86
19,0	998,49
21,0	998,08
23,0	997,62
25,0	997,13
27,0	996,59
29,0	996,02
31,0	995,41

5.4 Muestreo. Tomar la muestra del árido, de acuerdo a la NTE INEN 695 y reducirla hasta obtener una muestra de ensayo, de acuerdo con la NTE INEN 2 566.

5.5 Preparación de la muestra de ensayo. El tamaño de la muestra debe ser de aproximadamente 125% a 200% respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde y debe ser manejada de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra hasta obtener masa constante, de preferencia en un horno a 110 °C ± 5 °C.

5.6 Selección del procedimiento. El procedimiento por paladas para la masa unitaria (peso volumétrico) suelta debe ser utilizado únicamente cuando se lo estipule específicamente. De lo contrario, se debe determinar la masa unitaria (peso volumétrico) compactada por el procedimiento por varillado, para áridos que tengan un tamaño máximo nominal de 37,5 mm o menos, o con el procedimiento por sacudidas, para áridos que tengan un tamaño máximo nominal superior a 37,5 mm y que no excedan de 125 mm.

5.7 Procedimiento por varillado

5.7.1 Llenar la tercera parte del molde y nivelar la superficie con los dedos. Compactar la capa de áridos, con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos uniformemente sobre la superficie. Llenar los dos tercios del molde, nuevamente nivelar y compactar de la forma indicada anteriormente. Por último, llenar el molde a rebosar y compactar nuevamente en la misma forma mencionada anteriormente. Nivelar la superficie del árido con los dedos o una regleta, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso, equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde.

5.7.2 En la compactación de la primera capa, no se debe permitir que la varilla golpee fuertemente el fondo del molde. La compactación de la segunda y tercera capas debe ser vigorosa evitando que la varilla de compactación penetre la capa anterior del árido (ver nota 4).

5.7.3 Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido. Registrar los valores con una aproximación de 0,05 kg.

5.8 Procedimiento por sacudidas

5.8.1 Colocar el molde sobre una base firme, como un piso de hormigón, llenar el molde en tres capas aproximadamente iguales, como se describe en el numeral 5.7.1, levantar los lados opuestos del molde alternativamente unos 50 mm y permitir que el molde caiga de tal manera que el golpe sea seco y fuerte. Las partículas del árido, con este procedimiento, se acomodan por si mismas en una condición muy compacta. Compactar cada capa dejando caer el molde 50 veces en la forma descrita, 25 veces en cada lado. Nivelar la superficie del árido con los dedos o con una regleta, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso, equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde.

NOTA 4. En la compactación de árido grueso de tamaños grandes, puede que no sea posible penetrar la capa que se está consolidando, especialmente con los áridos angulares. La compactación se llevará a cabo si se utiliza un esfuerzo vigoroso.

(Continúa)

5.8.2 Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido. Registrar los valores con una aproximación de 0,05 kg.

5.9 Procedimiento por paladas

5.9.1 Llenar el molde a rebosar por medio de una pala o cucharón, descargar el árido desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del molde. Tener cuidado para prevenir, tanto como sea posible, la segregación de las partículas que componen la muestra. Nivelar la superficie del árido con los dedos o con una regleta, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso, equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde.

5.9.2 Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido. Registrar los valores con una aproximación de 0,05 kg.

5.10 Cálculos

5.10.1 *Masa unitaria (peso volumétrico)*. Calcular la masa unitaria (peso volumétrico) mediante los procedimientos de varillado, de sacudidas o de paladas, de la siguiente manera:

$$M = (G - T) / V \quad (1)$$

o

$$M = (G - T) \times F \quad (2)$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G = masa del árido más el molde, kg

T = masa del molde, kg

V = volumen del molde, m³, y

F = factor del molde, 1/m³.

5.10.1.1 Si se desea el valor de la masa unitaria (peso volumétrico) en condición saturada superficialmente seca (SSS), utilizar el mismo procedimiento descrito en este método de ensayo y a continuación, calcular la masa unitaria (peso volumétrico) SSS aplicando la siguiente fórmula:

$$M_{sss} = M [1 + (A / 100)] \quad (3)$$

Donde:

M_{sss} = masa unitaria (peso volumétrico) en condición SSS, kg/m³, y

A = % de absorción, determinado de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.

5.10.2 *Contenido de vacíos*. Calcular el contenido de vacíos en el árido utilizando la masa unitaria (peso volumétrico) determinada mediante los procedimientos de varillado, de sacudidas o de paladas, de la siguiente manera:

$$\text{Vacíos, \%} = \frac{[(S \times M) - D_a] \times 100}{(S \times D_a)} \quad (4)$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

S = gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.

D_a = densidad del agua, 998 kg/m³.

(Continúa)

5.10.3 Volumen del molde. Calcular el volumen del molde, de la siguiente manera:

$$V = (W - M) / D \quad (5)$$

$$F = D / (W - M) \quad (6)$$

Donde:

- V = volumen del molde, m³
- W = masa del agua, placa de vidrio y molde, kg.
- M = masa de la placa de vidrio y molde, kg
- D = densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m³, y
- F = factor del molde, 1/m³.

5.11 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido,
- d) Resultado de la masa unitaria (peso volumétrico), con una aproximación de 10 kg/m³, ya sea para el método por varillado, por sacudidas o suelta,
- e) Resultado de contenido de vacíos, con una aproximación de 1%, ya sea: vacíos en el árido compactado por varillado, vacíos en el árido compactado por sacudidas o vacíos en el árido suelto.
- f) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

5.12 Precisión y desviación

5.12.1 Las siguientes estimaciones de precisión para este método de ensayo, se basan en los resultados del Programa de muestras de referencia del laboratorio de materiales de la AASHTO (AMRL), los ensayos fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM C 29 y a la norma AASHTO T 19/T19M. No existen diferencias significativas entre estos dos métodos de ensayo. Los datos se basan en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios.

5.12.2 Árido grueso (masa unitaria (peso volumétrico)):

5.12.2.1 Precisión para un solo operador. Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material similar, no deben diferir en más de 40 kg/m³ (d2s).

5.12.2.2 Precisión multilaboratorio. Se ha encontrado que la desviación estándar multilaboratorio es de 30 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por dos laboratorios diferentes, en un material similar, no deben diferir en más de 85 kg/m³ (d2s).

5.12.2.3 Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de los datos de muestra de AMRL para la masa unitaria (peso volumétrico) de áridos de densidad normal, mediante el procedimiento de varillado, que tienen un tamaño máximo nominal de 25,0 mm y utilizando un molde de 14 litros.

5.12.3 Árido fino (masa unitaria (peso volumétrico)):

5.12.3.1 Precisión para un solo operador. Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material similar, no deben diferir en más de 40 kg/m³ (d2s).

5.12.3.2 Precisión multilaboratorio. Se ha encontrado que la desviación estándar multilaboratorio es de 44 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por dos laboratorios diferentes, en un material similar, no deben diferir en más de 125 kg/m³ (d2s).

(Continúa)

5.12.3.3 Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de los datos de muestras de AMRL para la masa unitaria (peso volumétrico) suelta de laboratorios que utilizan un molde de 2,8 litros.

5.12.4 No están disponibles datos de precisión sobre el contenido de vacíos. Sin embargo, como el contenido vacíos en el árido se calcula a partir de la masa unitaria (peso volumétrico) y la gravedad específica, la precisión del contenido de vacíos refleja la precisión de estos parámetros de medición señalados en los numerales 5.12.2 y 5.12.3 de esta norma y de la NTE INEN 857 y la NTE INEN 856.

5.12.5 *Desviación.* El procedimiento de este método de ensayo para la medición de la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos, no tiene desviación puesto que los valores para masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos pueden ser definidos solamente en términos de un método de ensayo.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos para hormigón. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856	<i>Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857	<i>Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 566	<i>Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.</i>
Norma ASTM C 138	<i>Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del hormigón.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>
Norma AAASHTO T 19	<i>Método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos en el árido.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 29 – 09. *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2009.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA Código:
NTE INEN 858 UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE **CO 02.03-309**
Primera revisión VACÍOS

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Acuerdo Ministerial No. 501 del 1983-09-27 publicado en el Registro Oficial No. 597 del 1983-10-12 Fecha de iniciación del estudio: 2010-03-10
---	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **Hormigones, áridos y morteros**

Fecha de iniciación: 2010-03-16

Fecha de aprobación: 2010-04-29

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)
Ing. José Arce (Vicepresidente)
Ing. Jaime Salvador
Ing. Raúl Ávila
Ing. Hugo Egüez
Ing. Raúl Cabrera
Sr. Carlos Aulestia
Ing. Xavier Arce
Ing. Marlon Valarezo
Arq. Soledad Moreno
Ing. Carlos González
Ing. Víctor Buri
Ing. Douglas Alejandro
Ing. Verónica Miranda
Ing. Diana Sánchez
Ing. Stalin Serrano
Ing. Xavier Herrera
Ing. Mireya Martínez
Ing. Rubén Vásquez
Ing. Víctor Luzuriaga
Ing. Patricio Torres
Ing. Luis Balarezo
Ing. Eric Galarza
Ing. Nelson Alvear
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC.
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN
PREMEZCLADO DEL ECUADOR, APRHOPEC.
HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
INTACO ECUADOR S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA /
HORMIGONERA EQUINOCCIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
HORMIGONERA EQUINOCCIAL.
HORMIGONERA QUITO
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
DICOPLAN CIA. LTDA.
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
SIKA ECUATORIANA S. A.
SIKA ECUATORIANA S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 858:1983 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 858:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 858:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-10-29

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 348 de 2010-12-24

Por Resolución No. 128-2010 de 2010-11-30

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 857:2010
Primera revisión

ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos, árido grueso, densidad, absorción, ensayo.

CO 02.03-308
CDU: 691.22 :531.755
CIU: 2901
ICS: 91.100.15

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO	NTE INEN 857:2010 Primera revisión 2010-10
---	---	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido grueso.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan luego de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un periodo definido.

2.2 Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra. La diferencia entre la densidad de las partículas del árido, determinadas por éste método, y la masa unitaria (peso volumétrico) de los áridos, determinada de acuerdo al procedimiento de la NTE INEN 858, radica en que éste último método incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del árido.

2.3 Este método de ensayo no es aplicable para ser utilizado con áridos livianos.

2.4 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo. Estas notas, exceptuando aquellas ubicadas en tablas y figuras, no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

2.5 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694 y además las siguientes:

3.1.1 *Absorción.* Incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado período de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

3.1.2 *Seco al horno (SH), relacionado a las partículas del árido.* Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

3.1.3 *Saturado superficialmente seco (SSS), relacionado a las partículas del árido.* Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos, árido grueso, densidad, absorción, ensayo.

3.1.4 Densidad. Masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico.

3.1.4.1 Densidad (SH). Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

3.1.4.2 Densidad (SSS). Masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

3.1.4.3 Densidad aparente. Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

3.1.5 Densidad relativa (gravedad específica). Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

3.1.5.1 Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

3.1.5.2 Densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

3.1.5.3 Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas que contienen áridos, incluyendo hormigón de cemento portland, hormigón bituminoso y otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también se la utiliza para el cálculo de vacíos entre partículas en el árido, de acuerdo a la NTE INEN 858. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) se la utiliza si el árido está húmedo, esto es, si ha alcanzado su absorción; por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) (SH) se la utiliza para los cálculos cuando el árido está seco o se asume que está seco.

4.2 La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) corresponden al material sólido que conforman las partículas constitutivas, sin incluir los vacíos de poros dentro de las partículas, a los cuales es accesible el agua.

4.3 Los valores de absorción se utilizan para calcular los cambios en la masa de un árido debido al agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas, comparado con la condición seca, cuando se considera que el árido ha estado en contacto con agua el suficiente tiempo para satisfacer la mayoría del potencial de absorción. El valor de absorción determinado en el laboratorio, se consigue después de sumergir en agua el árido seco por un determinado período. Los áridos extraídos de una mina bajo la superficie del agua, comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método, si se utilizan sin secarlos. Por el contrario, algunos áridos que no han sido conservados en una condición continua de humedad hasta ser utilizados, probablemente contendrán una cantidad de agua absorbida menor que en la condición de saturado en 24 horas. Para un árido que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en las superficies de las partículas, el porcentaje de humedad libre se determina restando el valor de la absorción, del valor total de humedad que contiene el árido, determinado con la NTE INEN 862.

4.4 Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son válidos para la determinación de la absorción de áridos que han sido sometidos a condiciones de saturación diferentes que la inmersión en agua por 24 horas, tales como agua en ebullición o saturación al vacío. Los valores de absorción obtenidos mediante otros métodos de ensayo, serán diferentes de los valores obtenidos mediante la saturación indicada en este método, así como también los valores de densidad relativa (gravedad específica) (SSS).

(Continúa)

4.5 Los poros en los áridos livianos, después de la inmersión por 24 horas, no están necesariamente llenos con agua. En realidad, la absorción potencial para muchos de estos áridos no se alcanza luego de algunos días inmersos en agua. Por lo tanto, este método de ensayo no es apropiado para uso con áridos livianos.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Se sumerge en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua; finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

5.2 Equipos

5.2.1 Balanza. Equipo para determinar masa, que sea sensible y legible, con una aproximación de 0,05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango de uso para este ensayo, o 0,5 g, la que sea mayor. La balanza debe estar equipada con un dispositivo apropiado para suspender el recipiente para la muestra en agua, desde el centro de la plataforma o recipiente de la balanza.

5.2.2 Recipiente para la muestra: Canasta de alambre con una abertura de 3,35 mm (No. 6) o de malla más fina o un cubo de ancho y altura aproximadamente iguales, con una capacidad de 4 litros a 7 litros, para un árido con tamaño máximo nominal de 37,5 mm o menor, o una canasta más grande, según sea necesario, para el ensayo de áridos de mayor tamaño máximo. El recipiente debe ser construido de tal forma que evite retener aire cuando esté sumergido.

5.2.3 Tanque de agua. Tanque hermético, dentro del cual se coloca el recipiente para la muestra mientras se suspende bajo la balanza.

5.2.4 Tamices. Tamiz de 4,75 mm (No. 4) o de otros tamaños según sean necesarios (ver los numerales 5.3.2 a 5.3.4), que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 154.

5.2.5 Horno. De tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.3 Muestreo

5.3.1 Tomar las muestras del árido, de acuerdo a la NTE INEN 695.

5.3.2 Mezclar íntegramente la muestra de árido y reducirlo hasta aproximadamente la cantidad necesaria, utilizando el procedimiento de la NTE INEN 2 566. Rechazar todo el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) mediante tamizado en seco y por medio de lavado remover el polvo u otro recubrimiento de la superficie. Si el árido grueso contiene una cantidad importante de material más fino que 4,75 mm (tal como los áridos de tamaño No. 8 y No. 9, según la clasificación de la norma ASTM D 448), utilizar el tamiz de 2,36 mm (No. 8) en lugar del de 4,75 mm. Alternativamente, separar y ensayar el material más fino que 4,75 mm, de acuerdo con la NTE INEN 856 (ver nota 1).

5.3.3 La masa mínima de la muestra de ensayo a ser utilizada se presenta en la tabla 1. Se permite ensayar el árido grueso en varias fracciones de tamaño. Si más del 15% de la muestra es retenida en el tamiz de 37,5 mm, ensayar el material más grande que 37,5 mm en una o más fracciones separadas, desde la fracción más pequeña. Cuando se ensaya un árido en fracciones separadas, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción debe ser la diferencia entre las masas señaladas para los tamaños máximo y mínimo de la fracción.

NOTA 1. Si la muestra contiene áridos más pequeños que 4,75 mm (tamiz No. 4), revisar el recipiente para la muestra para asegurarse que el tamaño de sus aberturas sean más pequeñas que el tamaño mínimo del árido.

(Continúa)

TABLA 1. Masa mínima de la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

5.3.4 Si la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaño, determinar la granulometría de la muestra, de acuerdo a la NTE INEN 696, incluyendo los tamices utilizados para la separación de las fracciones en las determinaciones de este método. Al calcular el porcentaje de material en cada fracción, ignorar la cantidad de material más fino que 4,75 mm (tamiz No. 4) (o 2,36 mm (tamiz No. 8) si se utiliza ese tamiz de acuerdo con el numeral 5.3.2) (ver nota 2).

5.4 Procedimiento

5.4.1 Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas, para muestras de ensayo de tamaño máximo nominal de hasta 37,5 mm o por más tiempo para tamaños más grandes, hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.

5.4.2 Cuando se utilizan los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) en la dosificación de mezclas de hormigón, en las que el árido estará en condición de humedad natural; el requisito del numeral 5.4.1 sobre el secado inicial es opcional y si la superficie de las partículas de la muestra ha sido conservada húmeda continuamente hasta el ensayo, el requisito del numeral 5.4.1 sobre la inmersión por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$, también es opcional (ver nota 3).

5.4.3 Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Evitar la evaporación de agua desde los poros del árido durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca, registrar esta y todas las masas subsiguientes con una aproximación de 0,5 g o 0,05% de la masa de la muestra, la que sea mayor.

5.4.4 Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge (ver notas 4 y 5).

NOTA 2. Cuando se ensaye árido grueso que por su tamaño máximo nominal, requiera muestras grandes, puede ser más conveniente realizar el ensayo con dos o más submuestras y combinar los valores obtenidos con el cálculo descrito en el numeral 5.5.

NOTA 3. Los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) (SSS) potenciales del árido pueden ser significativamente más altos que los calculados en áridos que no se los ha secado en el horno antes de la inmersión, respecto al mismo árido tratado de acuerdo con numeral 5.4.1, esto es especialmente real para partículas mayores de 75 mm puesto que el agua puede no ser capaz de penetrar hasta los poros del centro de la partícula en el período de inmersión.

NOTA 4. La diferencia entre la masa en aire y la masa en agua, es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

NOTA 5. El recipiente y la muestra de ensayo deben sumergirse a una profundidad suficiente para ser cubiertos mientras se determina la masa aparente en agua. El alambre que sostiene al recipiente debe ser del más pequeño tamaño práctico, para minimizar cualquier efecto posible de una longitud variable sumergida.

(Continúa)

5.4.5 Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas o hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y determinar su masa.

5.5 Cálculos

5.5.1 *Densidad relativa (gravedad específica):*

5.5.1.1 *Densidad relativa (gravedad específica) (SH).* Calcular la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición seca al horno, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{(B - C)} \quad (1)$$

Donde:

- A = masa en aire de la muestra seca al horno, g,
- B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g, y
- C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g.

5.5.1.2 *Densidad relativa (gravedad específica) (SSS).* Calcular la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{B}{(B - C)} \quad (2)$$

5.5.1.3 *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente).* Calcular la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) de la siguiente manera:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (SSS)} = \frac{A}{(A - C)} \quad (3)$$

5.5.2 *Densidad:*

5.5.2.1 *Densidad (SH).* Calcular la densidad del árido en condición seca al horno, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997,5 A}{(B - C)} \quad (4)$$

5.5.2.2 *Densidad (SSS).* Calcular la densidad del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997,5 B}{(B - C)} \quad (5)$$

5.5.2.3 *Densidad aparente.* Calcular la densidad aparente de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997,5 A}{(A - C)} \quad (6)$$

5.5.3 *Valores promedio de densidad y de densidad relativa (gravedad específica).* Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, calcular el promedio de los valores de densidad o de densidad relativa (gravedad específica) de cada fracción de tamaño, calculada de acuerdo con los numerales 5.5.1 ó 5.5.2, utilizando la siguiente ecuación:

(Continúa)

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}} \quad (\text{ver el Apéndice X}) \quad (7)$$

Donde:

G = promedio de densidad o de densidad relativa (gravedad específica). Todas las formas de expresión de densidad o de densidad relativa (gravedad específica) pueden ser promediadas de esta manera,

$G_1, G_2 \dots G_n$ = valores apropiados del promedio de densidad o de densidad relativa (gravedad específica) para cada fracción, en función del tipo de densidad o de densidad relativa (gravedad específica) a ser promediada, y

$P_1, P_2 \dots P_n$ = porcentajes de la masa de cada fracción presente en la muestra original (no se incluye el material más fino, ver el numeral 5.3.4).

5.5.4 Absorción. Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad (8)$$

5.5.5 Promedio del valor de absorción. Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor promedio de absorción es el promedio de los valores calculados de acuerdo al numeral 5.5.4, ponderado en proporción a los porcentajes de masa de cada fracción presente en la muestra original de la siguiente manera (no se incluye el material más fino, ver el numeral 5.3.4):

$$A = \frac{P_1 A_1}{(100)} + \frac{P_2 A_2}{(100)} + \dots + \frac{P_n A_n}{(100)} \quad (9)$$

Donde:

A = promedio de absorción, %,

$A_1, A_2 \dots A_n$ = porcentajes de absorción para cada fracción, y

$P_1, P_2 \dots P_n$ = porcentajes de la masa de cada fracción presente en la muestra original.

(ver nota 6)

5.6 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido fino,
- d) Resultados de densidad con una aproximación de 10 kg/m³, resultados de densidad relativa (gravedad específica) con una aproximación de 0,01 e indicar la condición del árido para densidad o densidad relativa (gravedad específica), ya sea (SH), (SSS) o aparente,
- e) Resultado de absorción con una aproximación de 0,1%,
- f) Si los valores de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción fueron determinados sin el secado preliminar del árido, según lo permitido en el numeral 5.4.2, registrar este particular en el informe,
- g) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

NOTA 6. El valor constante (997,5 kg/m³), utilizado en los cálculos de los numerales 5.5.2.1 a 5.5.2.3 es la densidad del agua a 23 °C. Algunas autoridades recomiendan utilizar la densidad del agua a 4 °C (1 000 kg/m³ o 1,000 Mg/m³) valor suficientemente preciso.

(Continúa)

5.7 Precisión y desviación

5.7.1 La estimación de la precisión de este método de ensayo, que figura en la tabla 2, se basa en los resultados del Programa de muestras de referencia del laboratorio de materiales de la AASHTO, los ensayos fueron realizados de acuerdo con las normas ASTM C 127 y AASHTO T 85. La diferencia significativa entre estos métodos es que la norma ASTM C 127 requiere un período de saturación de $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ mientras que la norma AASHTO T 85 requiere un período de saturación de mínimo 15 horas. Se ha encontrado que esta diferencia tiene un efecto insignificante sobre los índices de precisión. Los datos se basan en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. La estimación de la precisión para densidad fue calculada a partir de valores determinados de densidad relativa (gravedad específica), utilizando la densidad del agua a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ para la conversión.

TABLA 2. Precisión

	Desviación estándar (1s)^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s)^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m^3	9	25
Densidad (SSS), kg/m^3	7	20
Densidad aparente, kg/m^3	7	20
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,009	0,025
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,007	0,020
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,007	0,020
Precisión multilaboratorio:		
Densidad (SH), kg/m^3	13	38
Densidad (SSS), kg/m^3	11	32
Densidad aparente, kg/m^3	11	32
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,013	0,038
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,011	0,032
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,011	0,032

^A Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670. La estimación de la precisión fue obtenida del análisis de los resultados de las muestras de referencia combinadas del laboratorio de materiales de la AASHTO, obtenidos de laboratorios que utilizaron un mínimo de 15 h para la saturación y otros laboratorios que utilizaron $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ de saturación. Los ensayos se realizaron en áridos de masa normal y comenzó con los áridos en condición seca al horno.

5.7.2 Desviación. Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

(Continúa)

APÉNDICE X
(Información opcional)

DESARROLLO DE LA ECUACIÓN

X.1 El desarrollo de la ecuación No. 7 proviene de los siguientes casos simplificados, utilizando dos sólidos. Sólido 1: tiene una masa M_1 en gramos y un volumen V_1 en cm^3 ; su densidad relativa (gravedad específica) (G_1) es por lo tanto M_1/V_1 . Sólido 2: tiene una masa M_2 y un volumen V_2 ; $G_2 = M_2/V_2$. Si se considera que los dos sólidos están juntos, la densidad relativa (gravedad específica) de la combinación es la masa total en gramos dividida para el volumen total en cm^3 .

$$G = \frac{M_1 + M_2}{V_1 + V_2} \quad (\text{X.1})$$

Mediante el desarrollo de esta ecuación se obtiene:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{M_1 + M_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{M_1 + M_2}} \quad (\text{X.2})$$

$$G = \frac{1}{\frac{M_1}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_1}{M_1}\right) + \frac{M_2}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_2}{M_2}\right)} \quad (\text{X.3})$$

Sin embargo, los porcentajes en masa de los dos sólidos son:

$$\frac{M_1}{M_1 + M_2} = \frac{P_1}{100} \quad \text{y} \quad \frac{M_2}{M_1 + M_2} = \frac{P_2}{100} \quad (\text{X.4})$$

Además,

$$\frac{1}{G_1} = \frac{V_1}{M_1} \quad \text{y} \quad \frac{1}{G_2} = \frac{V_2}{M_2} \quad (\text{X.5})$$

Sustituyendo estas relaciones en la ecuación X.3, se obtiene

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100} \frac{1}{G_1} + \frac{P_2}{100} \frac{1}{G_2}} \quad (\text{X.6})$$

Un ejemplo de este cálculo está dado en la tabla X.1

TABLA X.1 Ejemplo de cálculos de valores de masas de densidad relativa (gravedad específica) y absorción para áridos gruesos ensayados por separado

Fracción de tamaño, mm	% en la muestra original	Masa de la muestra utilizada, g	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	Absorción, %
4,75 a 12,5	44	2 213,0	2,72	0,4
12,5 a 37,5	35	5 462,0	2,56	2,5
37,5 a 63	21	12 593,0	2,54	3,0

(Continúa)

Promedio de densidad relativa (gravedad específica) (SSS)

$$G_{SSS} = \frac{1}{\frac{0,44}{2,72} + \frac{0,35}{2,56} + \frac{0,21}{2,54}} = 2,62$$

Promedio de absorción

$$A = (0,44 \times 0,4) + (0,35 \times 2,5) + (0,21 \times 3,0) = 1,7\%$$

(Continúa)

APÉNDICE Y
(Información opcional)

**INTERRELACIÓN ENTRE DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y
ABSORCIÓN, SEGÚN SE DEFINEN EN LAS NTE INEN 857 Y NTE INEN 856**

Y.1 Este apéndice proporciona relaciones matemáticas entre los tres tipos de densidad relativa (gravedad específica) y la absorción. Estos valores pueden ser útiles para controlar la correspondencia de los datos reportados o calcular un valor que no se ha reportado mediante el uso de otros datos reportados:

Donde:

S_d = densidad relativa (gravedad específica) (SH),
 S_s = densidad relativa (gravedad específica) (SSS),
 S_a = densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), y
 A = absorción en %.

Y.2 Calcular los valores de cada uno, de la siguiente manera:

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (\text{Y.1})$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (\text{Y.2})$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \left[\frac{A}{100}(S_s - 1)\right]} \quad (\text{Y.3})$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) 100 \quad (\text{Y.4})$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)}\right) 100 \quad (\text{Y.5})$$

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696	<i>Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856	<i>Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858	<i>Áridos. Determinación de la masa unitaria y del porcentaje de huecos</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862	<i>Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 566	<i>Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.</i>
Norma ASTM C 127	<i>Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del árido grueso.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>
Norma ASTM D 448	<i>Clasificación por tamaños del árido para la construcción de caminos y puentes.</i>
Norma AASHTO T 85	<i>Gravedad específica y absorción del árido grueso</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 127 – 07. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2007.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, Código:
NTE INEN 857 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y **CO 02.03-308**
Primera revisión ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Acuerdo Ministerial No. 503 del 1983-09-27 publicado en el Registro Oficial No. 598 del 1983-10-13 Fecha de iniciación del estudio: 2010-02-03
---	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: HORMIGONES, ÁRIDOS Y MORTEROS

Fecha de iniciación: 2010-02-10

Fecha de aprobación: 2010-02-18

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Ing. José Arce (Vicepresidente)

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

Ing. Jaime Salvador

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC.

Ing. Raúl Ávila

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN
PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.

Ing. Hugo Egüez

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS

Ing. Raúl Cabrera

HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES

Sr. Carlos Aulestia

LAFARGE CEMENTOS S. A.

Ing. Xavier Arce

CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE
GUAYAQUIL.

Ing. Marlon Valarezo

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Arq. Soledad Moreno

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Carlos González

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Víctor Buri

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

Ing. Douglas Alejandro

MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

Ing. Verónica Miranda

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE
PICHINCHA / HORMIGONERA EQUINOCCIAL

Ing. Diana Sánchez

FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Ing. Stalin Serrano

HORMIGONERA EQUINOCCIAL.

Ing. Xavier Herrera

HORMIGONERA QUITO

Ing. Mireya Martínez

CAMINOSCA CIA. LTDA.

Ing. Rubén Vásquez

CEMENTO CHIMBORAZO C. A.

Ing. Víctor Luzuriaga

INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.

Ing. Patricio Torres

DICOPLAN CIA. LTDA.

Ing. Luis Balarezo

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

Ing. Eric Galarza

SIKA ECUATORIANA S. A.

Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL
HORMIGÓN. INECYC.

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 857:1982 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 857:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 857:1982

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-07-30

Oficializada como: **Voluntaria**
Registro Oficial No. 303 de 2010-10-19

Por Resolución No. 104-2010 de 2010-07-30

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815**

Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec

Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec

Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec

Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec

Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec

Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec

URL: www.inen.gov.ec



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 860:2011
Primera Revisión

ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.

Primera Edición

STANDARD OF TEST METHOD FOR RESISTANCE TO DEGRADATION OF COARSE AGGREGATE PARTICLES SMALLER THAN 37,5 mm USING THE LOS ANGELES MACHINE.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, árido grueso, ensayo, degradación .
CO 02.03-316
CDU: 691.322 :620.178.16
CIU: 2901
ICS: 91.100.15

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES	NTE INEN 860:2011 Primera Revisión 2011-06
---	--	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37,5 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles (ver nota 1).

2. ALCANCE

2.1 El valor de la degradación es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares. Los resultados obtenidos por este ensayo no permiten realizar comparaciones entre fuentes de diferente origen, composición o estructura (ver nota 2).

2.2 Los áridos referidos en esta norma pueden ser gravas, piedras naturales, así como otros materiales obtenidos por trituración.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo. A medida que el tambor gira, una plataforma recoge la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido gira conjuntamente con el tambor, en una acción de molido, hasta que la plataforma recoja nuevamente la muestra y las esferas de acero y se repite el ciclo. Luego de un número especificado de revoluciones, se retiran los contenidos del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida.

NOTA 1. El procedimiento de ensayo para árido grueso de tamaño mayor a 19,0 mm se presenta en la NTE INEN 861.

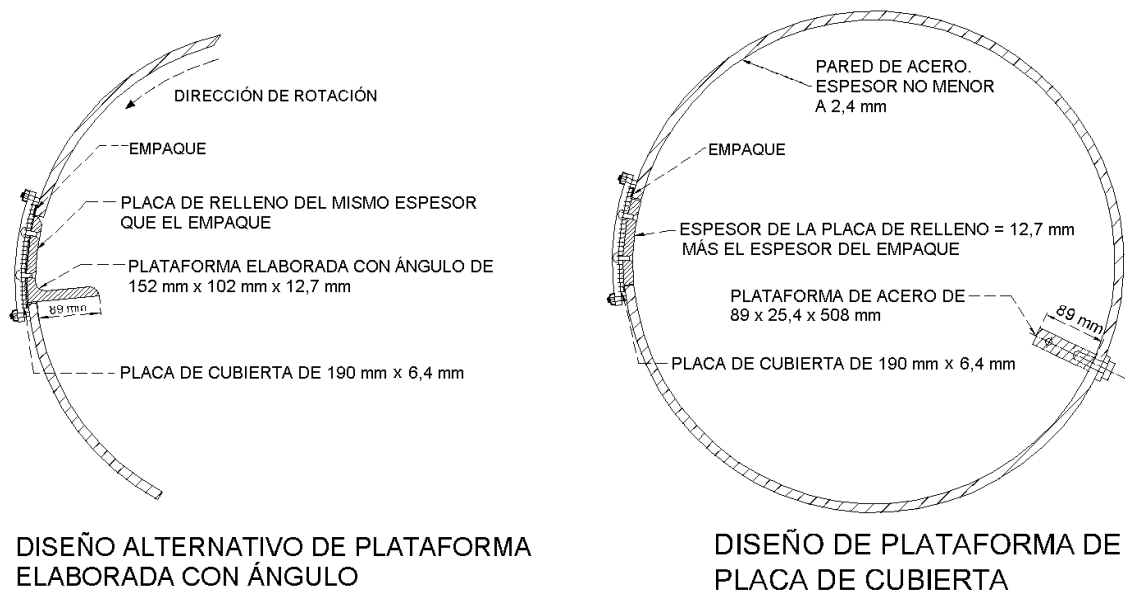
NOTA 2. Al elaborar especificaciones se debe tener especial cuidado al establecer límites, hay que considerar los tipos de áridos disponibles y su historial de rendimiento para usos específicos.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, árido grueso, ensayo, degradación.

5.2 Equipos

5.2.1 Máquina de Los Ángeles. Se debe utilizar una máquina de Los Ángeles que cumpla con todas las características esenciales del diseño mostrado en la figura 1. La máquina debe estar compuesta por un cilindro de acero hueco, con espesor de pared no menor que 12,4 mm (ver nota 3), cerrado en ambos extremos, que cumpla con las dimensiones que se muestran en la figura 1, que tenga diámetro interno de $711 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ y longitud interna de $508 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. La superficie interior del cilindro debe estar libre de protuberancias que interrumpan la trayectoria de la muestra y de las esferas de acero, a excepción de la plataforma que se describe más adelante. El cilindro debe ser montado sobre puntas de ejes acoplados a los extremos del cilindro, pero no deben entrar en él y debe estar colocado de tal manera que gire con el eje en posición horizontal con una tolerancia en la pendiente de 1%. Se debe proveer una abertura en el cilindro para la introducción de la muestra y las esferas. Para cubrir la abertura, debe estar provisto de una tapa apropiada que no deje escapar el polvo, con dispositivos para atornillar la tapa en su lugar. La tapa debe estar diseñada para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior, a menos que la plataforma esté localizada de modo que la carga no caiga sobre la tapa o entre en contacto con ésta durante el ensayo. En el interior de la superficie cilíndrica se debe acoplar una plataforma de acero, extendida toda la longitud del cilindro y proyectada hacia el interior en $89 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, de tal manera que un plano centrado entre las caras grandes coincida con un plano axial. La plataforma debe ser montada por medio de tornillos u otros medios adecuados y tener un espesor que le permita estar firme y rígida. La posición de la plataforma debe ser tal que la muestra y las esferas de acero no golpeen en o cerca de la abertura y su tapa. La distancia desde la plataforma a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en el sentido del giro, no debe ser menor a 1 270 mm (ver nota 4). Inspeccionar periódicamente la plataforma para determinar que no se ha doblado longitudinalmente, ni tampoco se ha modificado su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra cualquiera de estas condiciones, se debe reparar o reemplazar la plataforma antes de que se lleven a cabo más ensayos.



DISEÑO ALTERNATIVO DE PLATAFORMA ELABORADA CON ÁNGULO

DISEÑO DE PLATAFORMA DE PLACA DE CUBIERTA

NOTA 3. Esta es la mínima tolerancia permitida en una plancha de acero laminado de 12,7 mm, como se describe en la norma ASTM A 6.

NOTA 4. Es preferible el uso de una plataforma de acero resistente al desgaste, de sección transversal rectangular y montada independientemente de la tapa. Se puede utilizar una plataforma de cubierta, siempre que el sentido de giro sea tal que la carga sea recogida por la cara externa del ángulo.

(Continúa)

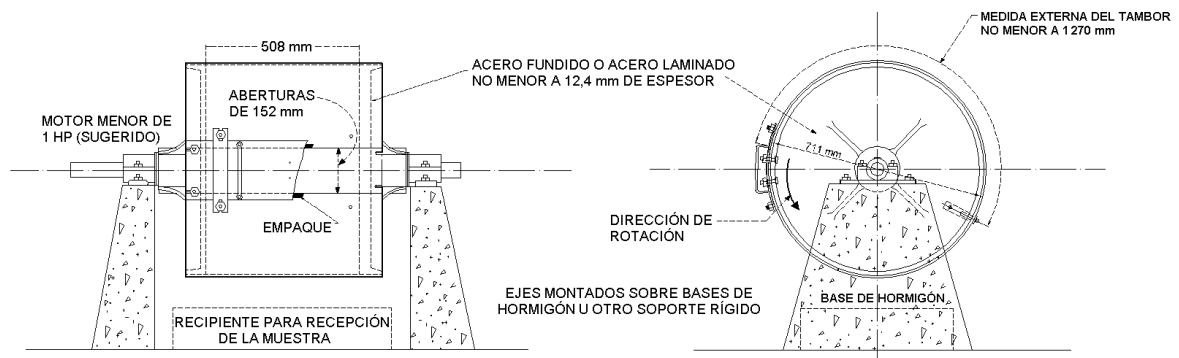


FIGURA 1. Máquina de Los Ángeles

5.2.1.1 La máquina debe estar balanceada y operar de tal forma que mantenga una velocidad periférica sustancialmente uniforme (ver nota 5). Si se utiliza un ángulo como plataforma, la dirección de rotación debe ser tal que la carga sea recogida por la superficie externa del ángulo.

5.2.2 *Tamices.* Que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 154.

5.2.3 *Balanza.* Con una precisión de por lo menos 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso para este método de ensayo.

5.2.4 *Carga.* La carga consiste en esferas de acero que promedien aproximadamente 47 mm de diámetro, que cada una tenga una masa de entre 390 g y 445 g.

5.2.4.1 La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo descrita en el numeral 5.4, debe cumplir lo indicado en la tabla 1 (ver nota 6).

TABLA 1. Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

5.3 Muestreo. Obtener la muestra de campo, de acuerdo con la NTE INEN 695 y reducirla hasta el tamaño de muestra adecuado, de acuerdo con la NTE INEN 2 566.

5.4 Preparación de la muestra de ensayo. Lavar la muestra reducida y secarla al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener masa prácticamente constante (ver el numeral 5.5.1.1), separar en fracciones individuales por tamaño y recombinarlas para obtener la gradación indicada en la tabla 2 que mejor represente al rango de tamaños del árido proporcionado para el ensayo. Registrar la masa de la muestra antes del ensayo con aproximación de 1 g.

NOTA 5. Es muy probable que movimientos de reacción o deslizamiento en el mecanismo de conducción proporcione resultados de ensayos que no se dupliquen en otras máquinas de Los Ángeles que tengan una velocidad periférica constante.

NOTA 6. Las esferas de acero, con diámetros entre 46,0 mm y 47,6 mm, que tienen una masa aproximadamente de 400 g y 440 g cada una, respectivamente, se adquieren fácilmente. Las esferas de acero de 46,8 mm de diámetro que tengan una masa de aproximadamente 420 g también pueden obtenerse. La carga puede consistir en una mezcla de estos tamaños, que se ajusten a los límites de tolerancia de masa de los numerales 5.2.4 y 5.2.4.1.

(Continúa)

TABLA 2. Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

5.5 Procedimiento

5.5.1 Colocar la muestra y la carga para el ensayo en la máquina de Los Ángeles, girar la máquina 500 revoluciones (ver nota 7) a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min. Después del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz de mayor abertura que el de 1,70 mm. Tamizar la porción fina por el tamiz de 1,70 mm, según el procedimiento descrito en la NTE INEN 696. Lavar el material más grueso que 1,70 mm y secarlo al horno a 110 °C ± 5 °C hasta obtener masa prácticamente constante (ver el numeral 5.5.1.1) y determinar la masa con aproximación de 1 g.

5.5.1.1 Si el árido esencialmente no contiene recubrimientos adherentes y polvo, el requisito del lavado luego del ensayo es opcional (ver nota 8). Sin embargo, para el caso de ensayos de arbitraje, se debe realizar el procedimiento de lavado.

5.6 Cálculos. El valor de la degradación es la pérdida de masa (diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra) expresada en porcentaje respecto a la masa inicial (ver nota 9)

$$D = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

D = valor de la degradación, en porcentaje

B = masa inicial de la muestra de ensayo

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo.

NOTA 7. Se puede obtener información valiosa sobre la uniformidad de la muestra a ser ensayada mediante la determinación de la pérdida después de 100 revoluciones. La pérdida debe ser determinada por tamizado en seco del material sin lavar, por el tamiz de 1,70 mm. La relación de la pérdida después de 100 revoluciones a la pérdida después de 500 revoluciones no debería ser mayor a 0,20 para un material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, trabajar con cuidado para evitar la pérdida de cualquier parte de la muestra; regresar toda la muestra, incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales necesarias para completar el ensayo.

NOTA 8. Suprimir el lavado después del ensayo rara vez reducirá la pérdida medida en más de 0,2% respecto a la masa original de la muestra.

NOTA 9. No se conoce ninguna relación coherente entre el porcentaje de pérdida, determinado por este método de ensayo con el porcentaje de pérdida para el mismo material cuando se lo determina de acuerdo con la NTE INEN 861.

(Continúa)

5.7 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) identificación de la fuente, tipo y tamaño máximo nominal del árido,
- d) designación de la gradación utilizada para el ensayo, según la tabla 2,
- e) valor de la degradación, con una aproximación de 1%, y
- f) otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

5.8 Precisión y desviación

5.8.1 Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio, para un árido grueso con tamaño máximo nominal de 19,0 mm, con un porcentaje de pérdida dentro del rango de 10% a 45%, es de 4,5%; por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por dos laboratorios diferentes, en muestras del mismo árido grueso, no deben diferir en más de 12,7% (ver nota 10) de su promedio (probabilidad del 95%). Se ha encontrado que el coeficiente de variación para un solo operador, es de 2,0%; por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en muestras del mismo árido grueso, no deben diferir en más de 5,7% de su promedio (probabilidad del 95%) (ver nota 10) (ver nota 11).

5.8.2 Desviación. Puesto que no hay un material de referencia aceptado que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

NOTA 10. Estos números representan los límites (1s%) y (d2s%) respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670.

NOTA 11. Los límites (1s%) y (d2s%) se han tomado del numeral 12 de la norma ASTM C 131-06.

(Continúa)

APÉNDICE Y

(Información opcional)

MANTENIMIENTO DE LA PLATAFORMA

Y.1 La plataforma de la máquina de Los Ángeles está sujeta a impacto y a un severo desgaste de la superficie. Con el uso, la superficie de trabajo de la plataforma es martillada por las esferas y tiende a desarrollar un cordón de metal paralelo, alrededor de 32 mm desde la unión de la plataforma con la superficie interior del cilindro. Si la plataforma está fabricada de una sección de ángulo laminado, no solamente puede desarrollar este cordón, sino que la plataforma misma puede doblarse longitudinalmente o transversalmente respecto a su posición original.

Y.2 Se debe inspeccionar periódicamente la plataforma para determinar que no esté doblada, tanto longitudinalmente como en su posición radial original con respecto al cilindro. Si se encuentra cualquiera de estas condiciones, la plataforma debe ser reparada o reemplazada antes de realizar más ensayos. No se conoce la influencia del cordón desarrollado por el martilleo de la cara de trabajo de la plataforma sobre el resultado del ensayo. Sin embargo, para uniformizar las condiciones de ensayo, se recomienda que el cordón sea limado si su altura es superior a 2 mm.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos para hormigón. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696	<i>Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 861	<i>Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 566	<i>Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción.</i>
Norma ASTM A 6	<i>Especificaciones para los requisitos generales para barras, placas, formas y tablestacas de acero laminado estructural.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 131 – 06. *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2006.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 860 Primera Revisión	TÍTULO: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	Código: CO 02.03-316
---	--	--------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2010-06-14	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 112 de 1983-03-30 publicado en el Registro Oficial No. 471 de 1983-04-14 Fecha de iniciación del estudio: 2010-06-14
---	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: Hormigones, áridos y morteros

Fecha de iniciación: 2010-06-21

Fecha de aprobación: 2010-10-28

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce (Vicepresidente)
Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egüez
Sr. Carlos Aulestia
Ing. Luis Quinteros
Ing. Víctor Luzuriaga
Ing. Marlon Valarezo

Ing. Carlos González
Ing. Verónica Miranda

Ing. Xavier Herrera
Dr. Juan José Recalde
Ing. Mireya Martínez
Ing. Patricio Torres
Ing. Luis Balarezo
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL HORMIGÓN, INECYC.
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.
APRHOPEC.
HOLCIM ECUADOR S. A. (AGREGADOS)
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE
LOJA
INTACO ECUADOR S. A.
CONCRETOS V. M. / COLEGIO DE
INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA
HORMIGONERA QUITO CIA. LTDA.
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CAMINOSCA CIA. LTDA.
DICOPLAN CIA. LTDA.
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL HORMIGÓN, INECYC.

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 860:1983, sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 860:2011 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 860:1983

La Subsecretaría de Industrias, Productividad e Innovación Tecnológica del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 480 de 2011-06-29

Por Resolución No. 11 129 de 2011-05-20

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inenlaboratorios@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**

Designación ASTM : C 39/C 39M - 01

Método Estándar de prueba para la resistencia a la compresión de elementos cilíndricos de concreto

1. Alcances

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a la compresión de elementos cilíndricos de concreto hechos con moldes de medidas específicas.

Resumen del método de prueba

Este método de prueba consiste en aplicar una carga de compresión axial a cilindros moldeados o corazones de concreto, a una taza predeterminada, hasta que la falla ocurre. La fuerza a la compresión del espécimen es calculada. La fuerza compresiva del espécimen es calculada al dividir la carga máxima lograda durante la prueba entre el área calculada del espécimen.

Importancia y uso

Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, mezclado, colado, moldeado, fabricación, edad, temperatura, humedad, curado y vibrado. Los resultados de este método de prueba se usan como una base para el control de calidad de las dosificaciones, mezclado y colado del concreto.

El aparato

La máquina de compresión utilizada en las pruebas debe estar bien calibrada y debe ser capaz de proveer las tazas de carga esperadas. Debe ser operado mecánicamente y la carga debe ser aplicada continuamente sin interrupciones y sin golpes de choque. El espacio provisto para testar los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en una posición confiable, un aparato elástico de calibración que tiene la suficiente capacidad para cubrir el potencial de carga de la máquina a compresión. Además debe tener dos bloques de soporte para lograr una carga uniforme por medio de

una superficie equilibrada y estable. Una placa extra cuadrangular de las dimensiones del cilindro debe ser utilizada para asistir en el centrado del espécimen y para dar la altura necesaria para la prueba. Una esfera que reciba las placas es necesario para ajustar la carga y las dimensiones del espécimen. Esto se puede observar mejor en la Figura 1 que se muestra a continuación:

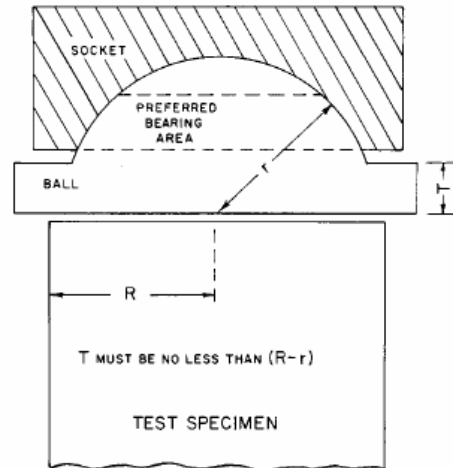


Figura 1 Dibujo esquemático de un bloque esférico típico

Indicaciones de la Carga

Si la carga de una máquina de compresión utilizada en el concreto es registrada con manecillas, éstas deben estar provistas con una escala graduada que sea legible y precisa por lo menos al 0.1% de la escala de la carga total. En el caso en el que el valor se indicado por un dispositivo digital el desplegado numérico debe ser igual o menos al 0.1% de la escala de la carga total.

Especímenes

Un espécimen no debe ser testado en el caso en el que el diámetro individual de un cilindro difiera del otro diámetro del mismo

cilindro por más de un 2%. Los cilindros deben encontrarse en forma perpendicular, ya sea por medio de cabeceo u otro medio, a la placa de compresión.

Procedimiento

Las pruebas a compresión de especímenes curados y húmedos deben ser realizadas lo más pronto posible después de ser extraídos del estanque. Todas las pruebas de los especímenes a cierta edad deben ser ejecutadas de acuerdo a ciertos periodos de tolerancia.

Esto está regido por lo siguiente: A 24 hrs. de ser descimbrados la tolerancia es de más menos 5 hrs., a 3 días de 2 hrs., 7 días de 6 hrs., 28 días de 20hrs.

Se debe colocar el espécimen en la placa inferior, procediendo colocar la placa rectangular y centrar ambos de acuerdo a la placa esférica, esto es, centrada con la carga. Es importante verificar que el dispositivo se encuentre en cero antes de comenzar la prueba, para evitar errores en la medición. Inmediatamente después de esto se debe aplicar la carga continuamente sin golpes de choque. En el caso de que la máquina a compresión se maneje por medio de una palanca, la taza a la cual se manipula esta palanca debe ser constante. En el caso de máquinas hidráulicas, la condición es la misma.

La carga debe ser aplicada hasta que el espécimen falle y se debe registrar el valor máximo de la carga soportada por el espécimen.

Cálculos

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen al dividir la carga máxima soportada durante la prueba, entre el promedio de las áreas obtenidas al medir ambos diámetros, el inferior y el superior. Los tipos de fallas posibles se muestran en la Figura 2 que se muestra a continuación:

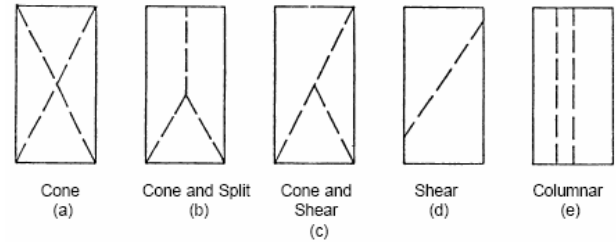


Figura 2 Diagramas de los tipos de fallas que puede presentar el espécimen

Designación ASTM : C 31/C 31M – 03a

Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón¹

Esta norma ha sido editada con la designación C 31/C 31M. El número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Una épsilon en superíndice (ϵ) señala un cambio editorial desde la última revisión o aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por el Departamento de Defensa.

1. Alcances

1.1 Esta norma explica los procedimientos para elaborar y curar las probetas cilíndricas y vigas, utilizando muestras representativas de hormigón fresco para la construcción de un proyecto.

1.2 El hormigón empleado para confeccionar las probetas moldeadas debe tener las mismas características del hormigón que está siendo colocado en la obra en cuanto a la dosificación de la mezcla, incluida la adición de agua de amasado y los aditivos. Esta norma no es adecuada para elaborar probetas con hormigón que no tiene un descenso de cono medible o que requiera otra forma y tamaño de probeta.

1.3 Los valores establecidos ya sea en unidades pulgada-libra o en el Sistema Internacional (SI) deben considerarse, por separado, como norma. Las unidades en el Sistema Internacional se muestran entre paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser exactos en su equivalencia; por esto cada sistema debe utilizarse de manera independiente. Combinar los valores de ambas unidades puede provocar una no-conformidad.

1.4 *Este método no pretende solucionar todos los problemas de seguridad que puedan estar asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las medidas de seguridad e higiene, y determinar la aplicabilidad de restricciones reglamentarias antes de usarlo.*

1.5 El texto de esta norma menciona notas que proporcionan únicamente material informativo. Estas notas no deben considerarse como requerimientos de la norma.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.²

C 138/C 138M Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire del hormigón (Método Gravimétrico).²

C 143/C 143M Método de ensayo normalizado para determinar el descenso de cono del hormigón elaborado con cemento hidráulico.²

C 172 Práctica normalizada para determinar el muestreo de la mezcla de hormigón fresco.²

C 173/C 173M Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de aire del hormigón fresco por el método volumétrico.²

C 192/C 192M Práctica normalizada para la preparación y curado de las muestras de ensayo de hormigón en el laboratorio.²

C 231 Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de aire del hormigón fresco por el método de presión.²

C 330 Specification for Lightweight Aggregate for Structural Concrete.²

C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.²

¹ Este método de prueba cae bajo la jurisdicción del Comité C-09 Hormigón y Áridos para Hormigón de la ASTM y es responsabilidad directa del Subcomité C09.61 en Ensayos de Resistencia.

La presente edición fue aprobada el 10 de febrero de 2003. Publicada en abril de 2003. Originalmente aprobada en 1920. La anterior edición fue aprobada en 2003 como C31/C 31M - 03.

² Anuario de Normas de la ASTM, Vol. 04.02.

³ Anuario de Normas de la ASTM, Vol. 04.01.

⁴ Disponible en el American Concrete Institute, P.O.Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.

C 470/C 470M Especificaciones normalizadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón.²

C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes.³

C 617 Procedimiento normalizado para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón.²

C 1064/C 1064M Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura del hormigón fresco de cemento portland.²

2.2 *Publicación del American Concrete Institute*⁴

CP-1 Concrete Field Testing Technician, Grade 1.

309R Guide for Consolidation of Concrete.

3. Terminología

3.1 Para las definiciones de esta práctica, refiérase a Terminología C 125.

4. Significado y Uso

4.1 Esta práctica proporciona los requerimientos normalizados para preparar, curar, proteger y transportar las probetas de ensayo de hormigón, bajo condiciones de obra.

4.2 Si las probetas son elaboradas y curadas de manera estandarizada, como lo establece esta práctica, los resultados de los ensayos de resistencia podrán utilizarse para los siguientes fines:

4.2.1 Aceptación de los ensayos para una resistencia especificada.

4.2.2 Verificar las proporciones de la mezcla para alcanzar una resistencia, y

4.2.3 Control de Calidad.

4.3 Si las probetas son elaboradas y curadas en la obra, como lo establece esta práctica, los resultados podrán utilizarse para los siguientes propósitos:

4.3.1 Determinación del tiempo que requiere una estructura para ser puesta en servicio,

4.3.2 Comparación con los resultados de los ensayos de probetas curadas de manera estandarizada o con los resultados de varios métodos de ensayos en obra.

4.3.3 Determinar adecuadamente el curado y la protección al hormigón en la estructura, o

4.3.4 Determinar el tiempo requerido para la remoción de los moldajes o puntales.

5. Aparatos

5.1 *Moldes, Generalidades* - Los moldes para preparar las probetas o las abrazaderas de los moldes que estén en contacto con el hormigón deben estar hechos de acero, hierro forjado o cualquier otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón elaborado con cemento Portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deben conservar sus dimensiones y forma bajo cualquier condición de uso.

Los moldes deben ser estancos durante su uso, verificándose por su capacidad para retener el agua que les sea vertida en su interior. Las condiciones para los ensayos de estanqueidad están dadas por los Métodos de Ensayo de las Especificaciones C 470/C 470M para Elongación, Absorción y Estanqueidad. Donde sea necesario, debe usarse un sellador adecuado tal como la grasa viscosa, arcilla para moldear o cera microcristalina, para evitar la fuga en las uniones. Deben proporcionarse los medios adecuados para sujetar firmemente las placas base a los moldes. Antes de usarse, los moldes reutilizables deben estar ligeramente cubiertos con aceite mineral o con un desmoldante no reactivo.

5.2 *Moldes Cilíndricos* - Los moldes para preparar las probetas de ensayo de hormigón deben satisfacer los requerimientos de la Especificación C 470/C 470M.

5.3 *Moldes para Vigas* - Los moldes para vigas deben tener la forma y dimensiones requeridas para producir las probetas estipuladas en la Sección 6.2. Los costados, el fondo y los extremos deben ser perpendiculares entre sí, rectos, suaves y libres de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder de 1/8 pulg (3 mm) para moldes con altura o ancho de 6 pulg (150 mm) o más. Los moldes deben producir probetas no menores en 1/16 pulg (2 mm) de la longitud requerida en 6.2.

5.4 *Pisón* - Una barra de acero redonda, recta, con las dimensiones estipuladas en la Tabla 1, con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro que la barra.

Tabla 1 - Requisitos para el pisón

Diámetro del cilindro o ancho de la viga, pulg (mm)	Dimensiones de la varilla ^A	
	Diámetro del pisón, pulg (mm)	Longitud del pisón, pulg (mm)
< 6 (150)	3/8 (10)	12 (300)
6 (150)	5/8 (16)	20 (500)
9 (225)	5/8 (16)	26 (650)

^A Tolerancia del pisón: ± 4 pulg (100 mm) en el largo y $\pm 1/16$ pulg (2 mm) en el diámetro

5.5 *Vibradores* - Se deben emplear vibradores internos, con una frecuencia de vibración de al menos 7000 vibraciones por minuto (150Hz) mientras se encuentre funcionando dentro del hormigón. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser superior a una cuarta parte del diámetro del molde del cilindro o una cuarta parte del ancho del molde para viga. Los vibradores con otras formas deben tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo adecuado. La longitud total, considerando el eje y el elemento vibrador, debe exceder la profundidad máxima de la sección que se esté vibrando por lo menos en 3 pulgadas (75 mm). La frecuencia de vibración debe verificarse periódicamente.

Nota 1 - Consulte el ACI 309 para más información sobre el tamaño, frecuencia de los diferentes vibradores y sobre un método para verificar la frecuencia del vibrador.

5.6 *Mazo* - Se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero que pese $1,25 \pm 0,50$ lb ($0,6 \pm 0,2$ kg).

5.7 *Herramientas pequeñas* - Se deben suministrar palas, llanas manuales, poruñas y un tacómetro con escala adecuada.

5.8 *Aparato para el Descenso de cono* - El equipo para medir el descenso de cono debe satisfacer los requerimientos del Método de Ensayo C 143/C 143M.

5.9 *Recipiente para Muestreo* - El recipiente adecuado debe ser una tina de lámina metálica gruesa, carretilla o superficie plana, limpia, no absorbente, de capacidad suficiente para permitir el mezclado fácil de la muestra completa con una pala o llana.

5.10 *Equipo para medir el Contenido de Aire* - El equipo para medir el contenido de aire debe satisfacer los requerimientos de los Métodos de Ensayo C 173/C 173M ó C 231.

5.11 *Equipos para medir la temperatura* - Estos aparatos deben cumplir con los requerimientos del Método de Ensayo C 1064/C 1064M.

6. Requisitos de Ensayo

6.1 *Probetas cilíndricas* - Las probetas para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. **El diámetro del cilindro debe ser de al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso.** Si el tamaño máximo nominal del árido es mayor a 2 pulg (50 mm), la muestra de hormigón se tamiza en húmedo tal como se describe en la Práctica C 172. **Para los ensayos de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, deben utilizarse probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg (150 x 300 mm) o de 4 x 8 pulg (100 x 200 mm) cuando se especifique (Nota 2).**

Nota 2 - Cuando se requieren moldes con dimensiones en Sistema Internacional y no estén disponibles, se permite usar moldes equivalentes en sistema pulgada-libra.

6.2 *Probetas en forma de Vigas* - Las probetas para determinar la resistencia a la flexión del hormigón deben ser vigas moldeadas y fraguadas en posición horizontal. La longitud debe ser por lo menos 2 pulg (50 mm) mayor que tres veces el alto en la posición de ensaye. La relación entre el ancho y el alto, en la posición en que se moldean, no debe exceder de 1.5. La viga estándar debe ser de 6 x 6 pulg (150 x 150 mm) en su sección transversal, y debe utilizarse para hormigón con árido grueso cuyo tamaño máximo nominal no exceda las 2 pulg (50 mm). Cuando el tamaño máximo nominal del árido grueso exceda las 2 pulg (50 mm), la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser de por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal de los áridos gruesos. A menos que las especificaciones del proyecto lo requieran, las vigas elaboradas en obra no deben tener un ancho o alto menor de 6 pulg (150 mm).

6.3 *Técnico de obra* - Los técnicos de obra que elaboren y curen las probetas para los ensayos de aceptación, deben estar certificados por el ACI mediante el programa "Técnicos en Ensayos de Hormigón Fresco en Obra - Grado I" o equivalente. Los

programas equivalentes para la certificación del personal deben incluir un examen teórico y práctico, como lo indica la publicación ACI CP-1.

7. Muestreo del Hormigón

7.1 Las muestras utilizadas para elaborar las probetas de ensayo bajo esta norma, deben obtenerse de acuerdo con la Práctica C 172, a menos que se haya aprobado un procedimiento alternativo.

7.2 Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del hormigón muestreado y la hora de colocación.

8. Descenso de cono, Contenido de Aire y Temperatura

8.1 *Descenso de cono* - Mida y registre el descenso de cono de cada amasada de hormigón con la que se elaboran las probetas, inmediatamente después de remezclar en el recipiente, como se indica en el Método de Ensayo C 143/C 143M.

8.2 *Contenido de Aire* - Determine y registre el contenido de aire de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 173/C 173M ó C 231. El hormigón utilizado en la determinación del contenido de aire no debe emplearse en la elaboración de probetas de ensayo.

8.3 *Temperatura* - Determine y registre la temperatura de acuerdo con el Método de Ensayo C 1064/C 1064M.

Nota 3 - Algunas especificaciones pueden requerir la medición del peso unitario del hormigón. El volumen de hormigón producido por cada amasada puede ser requerido en algunos proyectos. También puede ser deseable información adicional de las mediciones del contenido de aire. El Método de Ensayo C 138/C 138M es utilizado para medir el peso unitario, volumen producido y contenido de aire por el método gravimétrico en mezclas de hormigón fresco.

9. Moldeo de las probetas

9.1 *Lugar para el moldeo* - El moldeo de las probetas debe realizarse lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, sin vibraciones y otras perturbaciones, en un sitio lo más cercano posible del lugar donde se almacenarán.

9.2 *Moldeo de los cilindros* - Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2 determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 3. Si la consolidación

es por vibración, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 4. Elija una herramienta pequeña, de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente con la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Mientras se coloca el hormigón en el molde, mueva la herramienta alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón y minimizar la segregación. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación.

Tabla 2 - Especificaciones para el Método de Compactación

Descenso de cono, pulg (mm)	Método de compactación
≥ 1 (25)	Apisonado o vibrado
< 1 (25)	vibrado

Tabla 3 - Requisitos para el moldeo por apisonado

Tipo y tamaño de la probeta	Nº de capas de aprox. igual altura	Nº de golpes de pisón por capa
Cilindros:		
Diámetro, pulg (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
9 (225)	4	50
Vigas:		
Ancho, pulg (mm)		
6 (150) a 8 (200)	2	Ver 9.3
> 8 (200)	3 ó más de igual altura, cada una no debe exceder de 6 pulg (150mm)	Ver 9.3

9.3 *Moldeo de Vigas* – Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2, determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos del moldeo con la Tabla 3. Si el método de consolidación es por vibración, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 4.

Determine el número de penetraciones por capa considerando una penetración por cada 2 pulgadas² (14 cm²) del área de la superficie de la viga. Elija la herramienta menor, tal como cucharón, llana o pala de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente para la muestra, sea representativa y en pequeña cantidad para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación. Coloque el hormigón de manera uniforme en cada capa con un mínimo de segregación.

9.4 *Compactación* - Los métodos de compactación utilizados en esta norma son el apisonado y la vibración interna.

9.4.1 *Apisonado* - Coloque el hormigón en el molde con el número especificado de capas de aproximadamente igual volumen. Apisone cada capa con el extremo redondeado del pisón de acuerdo al número de penetraciones especificadas. Apisone la capa inferior en todo su espesor. Distribuya las penetraciones uniformemente sobre la sección transversal del molde. Para cada capa superior permita que el pisón penetre aproximadamente 1 pulg (25 mm) en la capa anterior. Después de que cada capa haya sido apisonada, golpee ligeramente con el mazo el exterior del molde de 10 a 15 veces para cerrar cualquier orificio dejado durante el apisonado y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes cilíndricos desechables que son susceptibles a dañarse si se golpean con el mazo. Después de golpear el molde, elimine el excedente de hormigón en los lados y extremos del molde en forma de viga con una llana u otra herramienta adecuada. Los moldes que no fueron llenados completamente, deben ajustarse con hormigón representativo durante la compactación de la última capa. Debe retirarse el exceso de los moldes sobre llenados.

9.4.2 *Vibración* - Mantenga un periodo uniforme de vibrado para cada tipo de hormigón, vibrador y tipo de probeta. La duración de la vibración requerida depende

de la trabajabilidad del hormigón y de la efectividad del vibrador. Usualmente, se ha vibrado lo suficiente cuando la superficie del hormigón comienza a volverse suave y dejan de salir grandes burbujas de aire hacia la superficie. Vibre el hormigón sólo lo suficiente para lograr una compactación adecuada (véase **Nota 4**). Llene los moldes y víbrellos en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Vierta todo el hormigón de cada capa en el molde antes de comenzar el vibrado de esa capa. Durante la compactación, inserte suavemente el vibrador y no permita que el vibrador toque el fondo o las paredes del molde. Retire cuidadosamente el vibrador para evitar que queden burbujas de aire dentro de la muestra. Cuando se vierta la última capa, evite sobrellenar el molde más de 1/4 pulg (6 mm).

Nota 4

- En general, no se requieren más de 5 segundos de vibración en cada inmersión para compactar adecuadamente el hormigón con descenso de cono mayor de 3 pulg (75 mm). Se puede requerir más tiempo para el hormigón con menor descenso de cono, pero el tiempo de vibración rara vez excede de 10 segundos por inserción.

9.4.2.1 *Cilindros* - El número de inserciones está estipulado en la Tabla 4. Cuando se requiere más de una inserción por capa, distribuya la inserción uniformemente en cada capa. Deje que el vibrador penetre en todo el espesor de la capa a vibrar y se introduzca en la capa anterior aproximadamente 1 pulg (25 mm). Después de que cada capa ha sido vibrada, golpee ligeramente el exterior del molde unas 10 veces con el mazo, para cerrar cualquier orificio dejado por el vibrador y liberar cualquier burbuja de aire que pudiera haber quedado atrapada. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes desechables y de cartón que pueden dañarse al ser golpeados con el mazo.

9.4.2.2 *Vigas* - Inserte el vibrador en intervalos que no excedan de 6 pulg (150 mm) a lo largo de una línea central en la dimensión mayor de la probeta. Para probetas con ancho mayor a 6 pulg (150 mm) realice inserciones alternadas a lo largo de dos líneas. Permita que la sonda del vibrador penetre en la capa inferior aproximadamente 1 pulg (25 mm). Después de vibrar cada capa, golpee suavemente el exterior del molde unas 10 veces con el

mazo para cerrar huecos que hayan quedado al vibrar y para liberar burbujas de aire atrapadas.

9.5 *Acabado* - Después de la compactación, enrase la superficie retirando el exceso de hormigón con una llana o platacho. Realice el acabado con la manipulación mínima necesaria para producir una superficie plana y nivelada con el borde del molde y sin depresiones o promontorios mayores de 1/8 pulg (3,3 mm).

9.5.1 *Cilindros* - Después de la compactación, termine la superficie quitando de ella el sobrante de hormigón con el pisón de compactación hasta donde la consistencia del hormigón lo permita, o con un enrasador o llana de madera. Si se desea puede refrentarse el cilindro recién elaborado con una capa delgada de pasta de cemento Portland, aceptándose que fragüe y cure con la probeta. Véase la sección de Materiales para refrentado en la Práctica C 617.

9.5.2 *Vigas* - Después de la compactación del hormigón, enrase la superficie con una llana hasta la tolerancia requerida, para producir una superficie plana y nivelada.

9.6 *Identificación* - Marque las probetas para identificar las probetas y el hormigón al que representan. Utilice un procedimiento que no afecte la superficie superior del hormigón. No marque las tapas removibles. Al desmoldar, marque las probetas de ensayo para conservar sus identidades.

10. Curado

10.1 *Curado estándar* – El curado estándar es el método de curado utilizado cuando las probetas son elaboradas y curadas para los propósitos indicados en 4.2.

10.1.1 *Almacenaje* – En caso de que las probetas no pudieran moldearse en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabado, mueva las probetas al lugar de almacenaje para el curado inicial. La superficie de apoyo sobre la que se almacenarán las probetas debe estar nivelada con una tolerancia de 1/4 pulg por pie (20 mm por metro). Si se mueven los cilindros elaborados con moldes desechables, levante y sostenga el cilindro por la parte baja del molde, con una llana grande o con algún otro dispositivo similar. Si se daña la superficie superior de la probeta durante el traslado al lugar de

almacenaje inicial, se deben arreglar de inmediato los daños.

10.1.2 *Curado inicial* – Después del moldeo y del acabado, las probetas deben almacenarse durante un periodo de hasta 48 horas, en un rango de temperatura entre 60 y 80 °F (16 a 27 °C) y en un ambiente húmedo para prevenir cualquier pérdida de humedad. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, la temperatura inicial de curado debe encontrarse entre 68 y 78 °F (20 y 26 °C). Se pueden emplear diversos procedimientos para mantener las condiciones de humedad y temperatura. En la **Nota 5**, se puede encontrar un procedimiento adecuado o combinación de procedimientos que pueden ser usados. Proteja todas las probetas contra el sol directo y de las fuentes de calor radiante, en caso de que se usen. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada mediante aparatos de refrigeración o calefactores si fuera necesario. Anote la temperatura, usando un termómetro de máximas y mínimas. Si los moldes son de cartón, proteja la superficie externa de manera que no quede en contacto con la arpillera húmeda u otras fuentes de agua.

Nota 5 - Se puede crear un ambiente húmedo satisfactorio para el curado inicial de las probetas usando uno o más de los siguientes procedimientos: (1) Las probetas con tapas plásticas pueden ser sumergidas inmediatamente en agua saturada con hidróxido de calcio; (2) almacenarse en estructuras o cajas de madera adecuadas; (3) colocarse en pozos de arena húmeda; (4) cubrirse con tapas plásticas removibles; (5) colocarse dentro de bolsas de polietileno o (6) cubrirse con láminas de plástico o placas no absorbentes, si se toman las precauciones para evitar el secado y se emplean arpilleras húmedas, la arpillera no debe estar en contacto con las superficies de hormigón. La temperatura del ambiente puede controlarse satisfactoriamente durante el curado inicial de las probetas mediante uno o más de los siguientes procedimientos: (1) ventilación; (2) uso de hielo; (3) uso de aparatos con termostatos para frío y calor, o (4) uso de calefactores como estufas o ampollitas. Se pueden emplear otros métodos adecuados siempre que se cumplan los requisitos de humedad y temperatura de almacenamiento. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, el calor generado durante las primeras edades puede subir sobre la temperatura de almacenamiento requerida. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser el método más fácil para mantener la temperatura adecuada de almacenamiento. Cuando las probetas deben ser sumergidas en agua saturada con hidróxido de calcio, no deben emplearse moldes de cartón u otros moldes que puedan expandirse al ser

sumergidos en agua. Los resultados de los ensayos de resistencia a temprana edad pueden ser menores si se almacenan a 60°F (16°C) y mayores si se almacenan a 80°F (27°C). Por otra parte, a edades mayores, los resultados pueden ser menores para temperaturas más altas de almacenamiento inicial.

10.1.3 *Curado final:*

10.1.3.1 *Cilindros* – Al finalizar el curado inicial y dentro de los 30 minutos siguientes a la remoción de los moldes, las probetas deben curarse manteniendo agua libre en las superficies del cilindro, durante todo el tiempo, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) usando el agua almacenada en los estanques o cuartos húmedos, que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando se refrenta con mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con un compuesto de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar lo suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de más de 1/4 pulg (6 mm) bajo o en el refrentado, como lo describe la Práctica C 617. Durante un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de una temperatura estándar de curado, siempre que se mantenga la humedad libre en los cilindros y la temperatura ambiente se encuentre entre 68 y 86 °F (20 y 30 °C).

10.1.3.2 *Vigas* – Las vigas se deben curar de la misma forma que los cilindros (ver 10.1.3.1), con la excepción de que deben almacenarse en agua saturada con hidróxido de calcio a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) durante por lo menos 20 horas antes del ensayo. Debe evitarse el secado de las superficies de la viga durante el lapso que se tiene entre el retiro del almacenamiento en agua y el término del ensayo.

Nota 6 - Cantidades relativamente pequeñas de superficie seca en las probetas para ensayos de flexión, pueden inducir esfuerzos de tracción en las fibras extremas, que reducirán significativamente el valor de la resistencia a la flexión.

10.2 *Curado en obra* – El curado en obra es el método de curado utilizado para las probetas moldeadas y curadas como se indica en 4.3.

10.2.1 *Cilindros* – Los cilindros deben almacenarse en o sobre la estructura, tan cerca como sea posible del punto donde fue

depositado el hormigón al que representa. Proteja todas las superficies de los cilindros del ambiente de la misma forma o lo más parecido posible al hormigón contenido en los moldajes. Mantenga los cilindros en las mismas condiciones de humedad y temperatura, como las que prevalecen en la estructura de la obra. Ensaye las probetas en las condiciones de humedad señaladas por el tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, las probetas elaboradas para determinar el tiempo en el que una estructura puede ser puesta en servicio, deben retirarse del molde al mismo tiempo que se retiren los moldajes de la obra.

10.2.2 *Vigas* – Tan pronto como sea posible, cure las vigas de la misma forma que el hormigón de la estructura. Transcurridas 48 ± 4 h después del moldeo, traslade las probetas a su lugar de almacenamiento y desmolde. Almacene las probetas representativas de las losas de pavimento colocándolas sobre el suelo, en la posición como fueron moldeadas, con su cara superior hacia arriba. Cubra los lados y los extremos de las probetas con tierra o arena que debe mantenerse húmeda, dejando la cara superior expuesta al tratamiento de curado especificado. Almacene las probetas representativas del hormigón de una estructura tan cerca como sea posible del elemento o elementos que representa, y proporciónelas la misma protección contra la temperatura y humedad ambiente de las probetas en el lugar, expuestas a la intemperie al igual que la estructura. Al final del periodo de curado deje las probetas en su lugar expuestas al medio ambiente en igual forma que las estructuras. Retire todas las probetas-viga almacenadas en obra e introdúzcalas en agua saturada con hidróxido de calcio, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) por un periodo de 24 ± 4 h previo a la hora de ensaye, para asegurar condiciones uniformes de humedad de probeta a probeta. Observe las precauciones dadas en 10.1.3.2 para evitar el secado entre el curado y el momento de remoción de las probetas para el ensayo.

9.3 *Curado del hormigón estructural liviano* - Cure los cilindros de hormigón estructural liviano de acuerdo con la Especificación C 330.

11. Transporte de las probetas al laboratorio

11.1 Antes de su transporte, las probetas deben curarse y protegerse como se especifica en la Sección 10. Las probetas no deben ser trasladadas hasta mínimo unas 8 h después del fraguado inicial. (Véase Nota 7). Durante su traslado, las probetas deben estar protegidas con un material acojinado y adecuado, que evite daños por las sacudidas. Durante el tiempo frío, proteja las probetas del congelamiento usando un material aislante adecuado. La pérdida excesiva de humedad puede prevenirse envolviendo las probetas en plástico, arpillera húmeda o rodeándolas con arena húmeda, o bien, ajustando tapas plásticas a los moldes plásticos. El tiempo de traslado no debe exceder de 4 h.

Nota 7 - El tiempo de fraguado puede medirse con el Método de Ensayo C 403.

12. Informe

12.1 Entregue la siguiente información al laboratorio que ensayará las probetas:

12.1.1 Número de identificación.

12.1.2 Ubicación del hormigón representado por las muestras.

12.1.3 Día, hora y nombre del técnico que elaboró las probetas.

12.1.4 Descenso de cono, contenido de aire y temperatura del hormigón; resultados de los ensayos y de cualquier otro ensayo realizado al hormigón fresco, así como cualquier desviación de los métodos de ensayo normalizado de referencia, y

12.1.5 Método de curado. Para el método de curado normalizado, informe el método de curado inicial, con las temperaturas máximas y mínimas, y el método de curado final. Para el método de curado en obra, informe la ubicación del lugar de almacenamiento, forma de protección, temperatura y humedad del ambiente y tiempo de desmolde.

13. Palabras clave

13.1 Vigas; muestras moldeadas; hormigón; curado; cilindros; ensayos.

Tabla 4 Requisitos de moldeo por vibración			
Tipo y tamaño de probeta	Número de capas	Nº inserciones del vibrador por capa	Espesor aprox. de la capa, pulg (mm)
Cilindros:			
Díam, pulg (mm)			
4 (100)	2	1	mitad de la profundidad de la probeta
6 (150)	2	2	mitad de la profundidad de la probeta
9 (225)	2	4	mitad de la profundidad de la probeta
Vigas:			
Ancho, pulg (mm)			
6 (150) a 8 (200)	1	Ver 9.4.2	Profundidad de la probeta
> 8 (200)	2 ó más	Ver 9.4.2	8 (200) lo más cerca posible

La American International Society for Testing and Materials no tiene ninguna posición frente a la validez de cualquier derecho de patente relacionado con cualquiera de los puntos mencionados en esta norma. A los usuarios de esta norma se les advierte expresamente que la determinación de la validez de cualquiera de esos derechos patentados, y el riesgo de infringir esos derechos, son de su entera responsabilidad.

Esta norma podrá ser sometida a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y deberá ser revisada cada cinco años y, en caso de no ser revisada, será reprobada o revocada. La ASTM le invita a expresar sus comentarios ya sea para la revisión de esta norma o para otras normas adicionales, los que deberán dirigirse a las Oficinas Centrales de la ASTM International. Sus comentarios serán estudiados cuidadosamente durante una reunión del comité técnico responsable, a la que usted podrá asistir. En caso de que usted encuentre que sus comentarios no fueron atendidos adecuadamente, puede presentar sus consideraciones al Comité de Normas de la ASTM, en la dirección señalada más adelante.

Los derechos de esta norma se encuentran reservados por la ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Se puede obtener reimpresiones (copias únicas o múltiples) de esta norma en la dirección mencionada o en el fono 610-832-9285, en el fax 610-832-9555, en el e-mail service@astm.org o bien el sitio web de la ASTM (www.astm.org).

ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO

(RESUMEN ASTM C 143)

1. ALCANCE

El método cubre la determinación del asentamiento del hormigón tanto en el laboratorio como en el campo. Consiste en colocar una muestra de hormigón recién mezclado (se compacta por varillado) dentro de un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta, y se deja que el hormigón se desplome. Se mide la distancia vertical al centro desplazado y se registra el valor del asentamiento del hormigón. (Párr. 1.1 y 3.1)

Nota 1. Este ensayo fue originalmente desarrollado para proporcionar un método de monitoreo o control de la consistencia del concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio con estricto control de todos los materiales del concreto, el revenimiento es generalmente encontrado debido al incremento proporcional del contenido de agua que tiene la mezcla y por lo tanto esta inversamente relacionado con la resistencia del concreto

Este ensayo es aplicable al hormigón plástico preparado con agregado grueso de hasta 1 ½ pulgada (37,5 mm) de tamaño máximo nominal. Si el agregado grueso es mayor de 1 ½ pulgada (37,5 mm) el método de prueba se aplica a la fracción de hormigón que pasa la malla de 1 ½ pulgada (37,5 mm) de acuerdo con ASTM C 172. (Párr. 1.1 y 3.1)

El método no es aplicable a los hormigones no plásticos que tiene un asentamiento menor a ½ pulg. (15mm) y no cohesivos con asentamiento mayor a 9 pulg. (230mm). (Párr. 4.3).

2. EQUIPO

2.1 Molde.- El molde será metálico, resistente al ataque de la pasta de cemento, con un espesor no menor que 0.060 pulgadas (1.5 mm), y si se forma con el proceso de repujado en ningún punto del molde el espesor será menor de 0.045 pulgadas (1.15 mm) de grosor.

El molde deberá tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 8 pulgadas (200 mm) de diámetro y la parte superior de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro, con una altura de 12 pulgadas (300 mm).

Las dimensiones del diámetro y altura deberán tener una tolerancia de $\pm 1/8$ " (3 mm) con respecto a las dimensiones especificadas. El interior del molde deberá ser relativamente liso y libre de cualquier protuberancia. El molde no deberá presentar abolladuras, deformaciones o restos de concreto en su interior. (Párr. 5.1)



<i>UNIDADES DIMENSIONALES</i>									
Pulg.	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/8	4	8	12
mm.	2	3	15	25	75	80	100	200	300

Los moldes de otros materiales son permitidos si cumplen con los requerimientos necesarios como: el molde debe tener la forma, altura y dimensiones internas especificadas en la sección 5.1 de la norma ASTM C143. Se puede aceptar un molde con tornillos de sujeción fijados a una placa de base no absorbente. En el caso de usarse moldes de otros materiales los resultados de asentamiento no deben variar más de 1/2 pulg. (15mm) individualmente, y la media de al menos diez comparaciones de asentamiento entre el molde metálico y el molde de otro material no deben variar más de 0.25 pulg (6 mm) del promedio de los resultados de los ensayos realizados con un molde metálico. Los datos de comparabilidad de los ensayos realizados deben estar disponibles para los usuarios y las autoridades de inspección del laboratorio (Párr. 5.1.2.1)

2.2 Varilla.- Deberá ser una barra recta de acero de sección circular de 5/8" (16 mm) de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas (600 mm) de largo, con el extremo de apisonamiento redondeado en forma semiesférica con un diámetro de 5/8 pulgadas (16 mm). (Párr. 5.2).

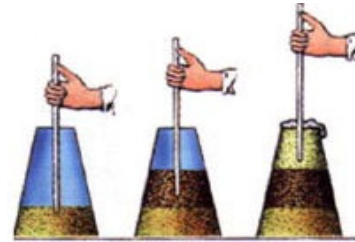
2.3 Instrumento de medida.- Es una regla de metal rígida, la cual esta graduada con incrementos de 0.25 pulgadas (5 mm.) o menor. El largo de la regla debe de ser por lo menos de 12 pulgadas (200 mm.) (Párr. 5.3).

3. MUESTRA

La obtención de la muestra se realizará de conformidad con la norma [ASTM C172](#).

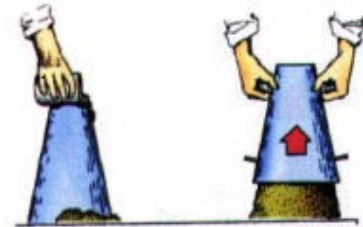
4. PROCEDIMIENTO

1. Humedecer el molde y el piso o placa base, ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente. (Párr.7.1).
2. Apoyar firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe moverse los pies durante el llenado del molde. (Párr.7.1).
3. Llenar el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm. ($2\frac{5}{8}$ pulgadas) la segunda hasta de 160 mm. ($6\frac{1}{8}$ pulgadas) y la tercera hasta el borde superior del molde. (Párr.7.1, Nota 4, Párr.7.3).
4. Compactar cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa. (Párr.7.2).
5. Compactar la segunda y tercera capa penetrando la capa anterior 25 mm. (1 pulgada) y varillar desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde. (Párr.7.2).
6. Cuando compacte la última capa, mantener un excedente de hormigón sobre el molde antes de comenzar el varillado, si el concreto es insuficiente detener el varillado y colocar una cantidad representativa para mantener un exceso de concreto sobre el molde todo el tiempo. (Párr.7.3).
7. Enrasar el hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. (Párr.7.3).

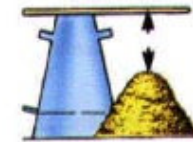


8. Continuar manteniendo el molde firme y remover el hormigón alrededor del área circundante de la base del molde para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto. (Párr.7.3).

9. Levantar el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de 5 ± 2 segundos. (Párr.7.3).



10. Medir con una precisión de $\frac{1}{4}$ de pulgada (5 mm) el revenimiento, desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen. Si al levantar el cono se produce una falla por corte, es necesario descartar la prueba y realizar el ensayo con una nueva porción de mezcla, si la falla se repite, es posible que el hormigón no tenga la plasticidad necesaria o sea cohesivo para aplicar este ensayo de revenimiento. (Párr.7.4 y Nota 6).



11. Ejecute la prueba, desde su inicio hasta el final sin interrupciones en no más de 2.5 minutos. (Párr.7.3).

5. REPORTE

Anote el asentamiento en pulgadas (mm) con una aproximación de $\frac{1}{4}$ " (5mm).

6. CONSIDERACIONES GENERALES

- Si se observa una clara caída o desmoronamiento de un lado o una parte de la masa del hormigón después de levantar el molde (cono), se debe descartar la prueba y hacer una nueva con otra parte de la muestra.
- La variación de los moldes alternativos es de 6mm máximo.
- El revenimiento del concreto disminuye con el tiempo y las altas temperaturas

Tamaño máximo agregado: 1 ½ pulgada (37,5 mm).

Tamizado en húmedo: de requerirse en tamiz de 1 ½ pulgada (37,5 mm)

Número de capas: 3

Tiempos: 2,5 minutos para realizar todo el ensayo y 5 ±2 segundos para levantar el molde.

Compactación: 25 inserciones por capa con una varilla de 600 mm de longitud y 16 mm de diámetro.

ENSAYO BRASILEÑO: EFECTO TAMAÑO Y MECANISMOS DE ROTURA

C. Rocco, G.V. Guinea, J. Planas y M.Elices

Departamento de Ciencia de Materiales
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. U.P.M.
Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid

Resumen. El ensayo brasileño (Norma ASTM C496), es uno de los ensayos más empleados para evaluar la resistencia a la tracción de materiales cuasi-frágiles, como son las rocas, los cerámicos y los hormigones. Según la norma, la tensión nominal de rotura obtenida a partir del ensayo coincide con la resistencia a la tracción del material. Aunque el ensayo es simple, los resultados contradictorios obtenidos por diferentes investigadores respecto a la variación de la tensión nominal de rotura con el tamaño de probeta han puesto en cuestionamiento la validéz de la norma. En este trabajo se presenta un análisis numérico del ensayo, basado en el modelo de fisura cohesiva donde, se analiza el efecto del tamaño y de las condiciones de apoyo sobre la tensión nominal de rotura. Se incluyen también resultados experimentales correspondientes a ensayos de probetas de roca granítica. Los resultados permiten evaluar claramente el efecto de las variables estudiadas y la capacidad predictiva del modelo.

Abstract. The brazilian test (Standard ASTM C496) is one of the most used test for evaluate the tensile strength in cuassi-brittle materials as rocks, concretes and ceramics. According to the standard, the nominal stress of rupture coincide with the tensile strength. Actually, the standard is questionated because of the ambiguos results obtained by differents authors in relation to the variation of the nominal stress of rupture with the size of the specimen. In this work a numeric analysis of the brazilian test is presentated, based in the cohesive crack model where the size effects and the conditions of support over the nominal stress of ruptures are analyzed. Also are included the experimental results test of granite rock. The results allow to evaluate cleary, the effects of the variables studied and the predictive capacity of the model.

1. INTRODUCCION

A partir de la introducción y desarrollo de la mecánica de fractura en el campo de los materiales cuasi frágiles, como por ejemplo son las rocas, los cerámicos y los hormigones, una importante cantidad de trabajos de investigación se han concentrado en tratar de interpretar y analizar el efecto del tamaño sobre la tensión nominal de rotura de elementos estructurales o probetas de diferentes geometrías.

En la actualidad se dispone de una gran cantidad de resultados de ensayos donde se muestra claramente como la tensión nominal de rotura disminuye cuando aumenta el tamaño de probeta [1].

Las primeras teorías empleadas para interpretar el efecto tamaño sobre la tensión nominal de rotura se basaron en la teoría estadística de Weibull desarrollada para materiales frágiles [2]. Si bien esta teoría predice la disminución de la tensión nominal de rotura a medida que aumenta el tamaño, ha quedado demostrado que en materiales como los hormigones y

las rocas las predicciones basadas en la teoría de Weibull no son suficientes para explicar los resultados experimentales.

Una de las razones por la cual la teoría estadística resulta insuficiente en este tipo de materiales es que a diferencia de lo que ocurre con los materiales frágiles donde la rotura se produce por la propagación de una única imperfección en carga máxima, en las rocas y los hormigones la rotura va acompañada por el crecimiento y coalescencia de varias imperfecciones o microfisuras antes de la carga máxima. El efecto tamaño inducido por este crecimiento subcrítico de microfisuras puede ser adecuadamente interpretado de manera determinística aplicando los conceptos de la mecánica de fractura no lineal.

En el caso particular del ensayo brasileño, diferentes investigadores han realizado ensayos con el objeto de evaluar el efecto del tamaño sobre la tensión nominal de rotura. Algunos de estos resultados experimentales correspondientes a probetas de hormigón, se muestran en la fig.1.

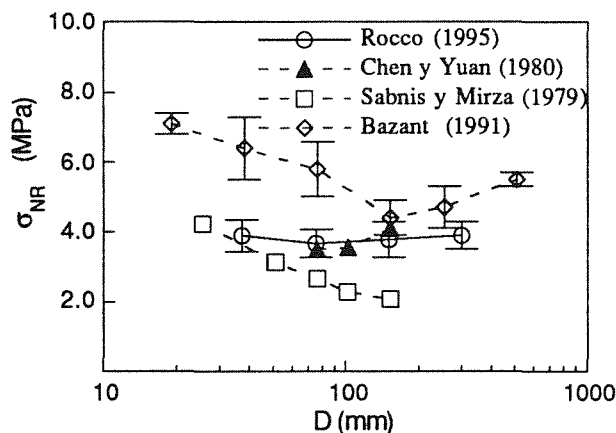


Fig.1. Efecto del tamaño sobre la tensión nominal de rotura en el ensayo brasileño (según [3],[4],[5] y [6]).

A diferencia de lo que ocurre con otro tipo de ensayos, los resultados muestran diferentes tendencias algunas de las cuales incluso contradicen la bien establecida tendencia de disminución de la resistencia con el tamaño tal como se puede predecir por la mecánica de fractura. Esta falta de homogeneidad en el comportamiento observado ha despertado en los últimos años cuestionamientos sobre la validez de considerar a la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño como la resistencia a la tracción del material.

En este trabajo se presentan resultados teóricos y experimentales de ensayos brasileños a partir de los cuales se evalúa el efecto del tamaño y de las condiciones de apoyo sobre la tensión nominal de rotura. Los resultados teóricos se obtuvieron numéricamente aplicando un modelo de fractura no lineal basado en el modelo de fisura cohesiva.

En la sección 2 se presenta el modelo de fractura empleado y se incluye un análisis teórico de los resultados numéricos. En la sección 3 se indican los resultados experimentales juntamente con las características del material estudiado. Finalmente en el apartado 4 se incluyen las conclusiones finales del trabajo.

2. MODELO DE FISURA COHESIVA

Tanto la formulación tensional clásica basada en la elasticidad y plasticidad, como la mecánica de fractura elástica lineal resultan insuficientes para describir un amplio campo de situaciones relativas al comportamiento en fractura de los materiales cuasi frágiles. Varios modelos se han desarrollado en los últimos años con el objeto de contemplar a través de diferentes enfoques, el efecto de la no linealidad presente en este tipo de materiales.

Uno de estos modelos es el conocido "modelo de fisura cohesiva" [7]. La formulación matemática de este

modelo permite describir de manera simple y adecuada la realidad del comportamiento físico derivado de los distintos micromecanismos presentes en materiales tales como polímeros, cerámicos, rocas, hormigones y materiales con matriz reforzada.

2.1 Descripción del modelo

En el modelo de fisura cohesiva la no linealidad de la zona de procesos de fractura se encuentra idealmente caracterizada por una extensión de la fisura real dentro de la cual es posible la transferencia de tensiones entre las caras de la fisura (fig. 2).

Si bien el modelo se basa en el concepto de fisura cohesiva desarrollado por Dugdale (1960) [8], para introducir el efecto de la plasticidad en la punta de la fisura, su difusión más amplia al campo de los hormigones y otros materiales cuasi frágiles se debe a la reformulación del problema introducida por Hillerborg y colaboradores, [9] a través del llamado modelo de fisura ficticia. Una de las ventajas de esta reformulación es la posibilidad de extender el modelo a situaciones donde no existe en la estructura una fisura previa lo que permite, entre otras cosas, ampliar el campo de aplicación del modelo al estudio de probetas sin entalla como ocurre en el ensayo brasileño.

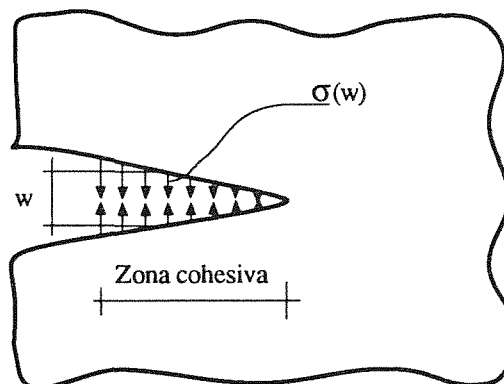


Fig.2. Propagación de una fisura cohesiva en Modo I

Según el modelo la fisura cohesiva se inicia en el punto donde la máxima tensión de tracción alcanza la resistencia a la tracción f_t del material. Aunque no es necesario hacer hipótesis restrictivas para el material fuera de la región de fractura, por simplicidad se considera que el material se comporta isotrópicamente en régimen elástico y lineal. Los parámetros del material característicos en esta zona son: el módulo de elasticidad E y el coeficiente de Poisson μ .

Una vez que la fisura cohesiva se ha formado las tensiones σ que se transfieren entre las caras de la fisura dependen del desplazamiento relativo w (fig. 2). La ley que gobierna esta transferencia de tensiones se

denomina función o curva de ablandamiento y es una propiedad del material (fig. 3).

El area bajo la curva de ablandamiento es la energía específica de fractura G_f .

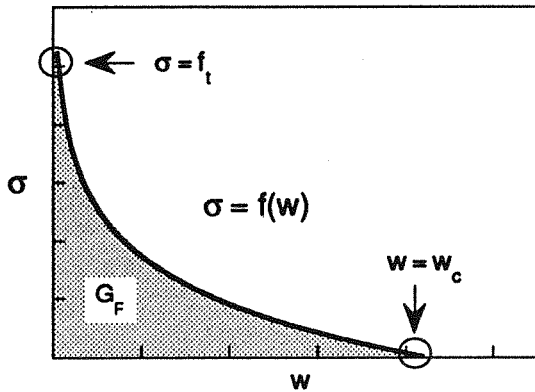


Fig.3. Función de ablandamiento.

A partir de los parámetros del material f_t , E , μ y G_f , Hillerborg introdujo un parámetro que es característico del modelo y que denominó longitud característica l_{ch} .

$$l_{ch} = \frac{G_f E}{f_t} \quad (1)$$

Donde E es el módulo de elasticidad generalizado para tensión plana o deformación plana.

2.2 Aplicación del modelo de fisura cohesiva al ensayo brasileño

En la figura 4, se muestra un esquema del ensayo brasileño.

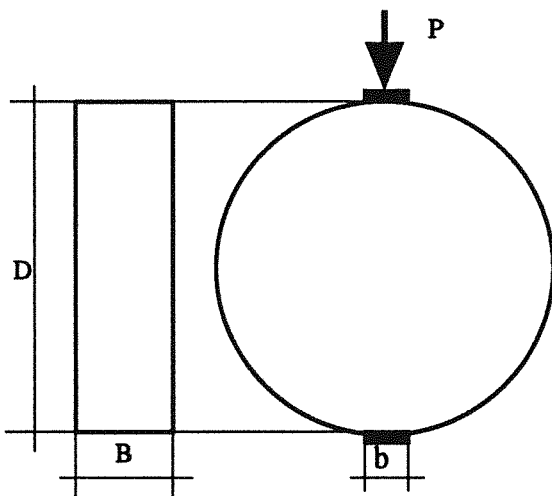


Fig.4. Geometría de la probeta y esquema de aplicación de la carga en el ensayo brasileño.

En este ensayo la tensión nominal de rotura puede ser convenientemente definida como:

$$\sigma_{NR} = \frac{2P_u}{\pi B D} \quad (2)$$

Donde P_u es la carga máxima o de rotura, B el espesor de la probeta y D el diametro.

La expresión (2) es la que emplea la norma ASTM C496 (Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylinder Concrete Specimens) [10], para estimar la resistencia a la tracción f_t .

Para la modelización del ensayo se consideró que la fisura se nuclea en el centro de la probeta y la misma se propaga simétricamente en modo I hacia los puntos de aplicación de la carga en los apoyos. El modelo fué resuelto mediante un programa de elementos finitos desarrollado en nuestro Departamento.

Las variables analizadas con el modelo fueron el tamaño de probeta y el ancho de reparto de la carga en los apoyos. Con el fin de adimensionalizar el análisis se emplearon las siguientes variables:

$$b^r = \frac{b}{D}, \quad D_{ch} = \frac{D}{l_{ch}}, \quad \sigma_{NR}^r = \frac{\sigma_{NR}}{f_t} \quad (3)$$

- b^r Ancho de reparto relativo
- D_{ch} Tamaño característico
- σ_{NR}^r Tensión nominal relativa de rotura

En las figuras 5a y 5b, se representan las curvas teóricas obtenidas con el modelo donde se muestra el efecto de las variables estudiadas sobre la tensión nominal relativa de rotura. Para este caso se empleó una función de ablandamiento bilineal. En las mismas figuras se incluye la solución elástica lineal.

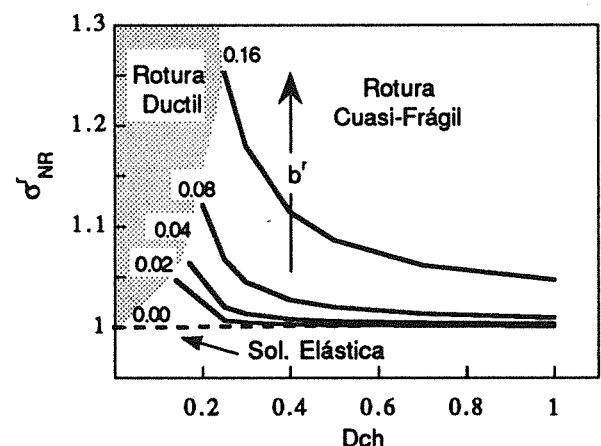


Fig 5a. Efecto del tamaño de probeta sobre la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño.

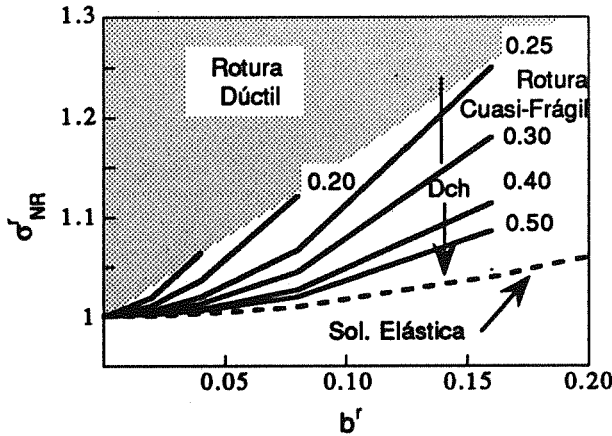


Fig..5b. Efecto del ancho de reparto sobre la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño.

La zona de rotura dúctil indicada en las figuras anteriores corresponde a valores del tamaño de probeta y de condiciones de apoyo para las cuales la carga crece monótonicamente sin alcanzar un valor máximo durante la extensión de la fisura.

A partir de los resultados teóricos se pueden analizar los siguientes casos:

a) $b^r = 0$: La tensión nominal de rotura es independiente del tamaño y su valor coincide con la resistencia a la tracción del material ($\sigma_{NR} = 1$).

$$\sigma_{NR} = f_t$$

La solución del modelo cohesivo coincide con la solución elástica.

b) $b^r > 0$: La tensión nominal de rotura depende del tamaño y es posible analizar las siguientes situaciones:

b1) $D_{ch} \rightarrow \infty$. Cuando el tamaño característico tiende a infinito (probetas de gran tamaño), la solución del modelo cohesivo converge a la solución elástica.

$$\sigma_{NR} = f_t \left(1 - b_r^2\right)^{\frac{3}{2}} \tag{4}$$

b2) $D_{ch} \neq \infty$. En este caso la tensión nominal de rotura no coincide con la solución elástica, y su relación con la resistencia a la tracción depende para, cada material, del tamaño y del ancho de reparto. A medida que se incrementa el ancho de reparto y se reduce el tamaño característico, los valores de la σ_{NR} divergen más fuertemente del valor de f_t .

Teniendo en cuenta que la norma ASTM considera con independencia del tamaño de la probeta, que el valor

de la tensión nominal de rotura coincide con la resistencia a la tracción, resulta que la norma sobrestima el valor de la f_t . Este efecto resulta más importante si se tiene en cuenta que el ancho de reparto relativo recomendado por la propia norma ASTM es igual a 0.16.

3. COMPROBACION EXPERIMENTAL

4.1. Características del Material y de las Probetas

Con el objeto de analizar experimentalmente el efecto del tamaño y del ancho de reparto en el ensayo brasileño, se ensayaron probetas cilíndricas de roca granítica.

En la tabla 1 se indican las propiedades del material ensayado

Tabla 1. Propiedades del material

PROPIEDAD	VALOR
Módulo de Elasticidad, E (GPa)	34
Resistencia a la Tracción, f_t (MPa)	10.1
Energía especif. de Fractura, G_f (N/m)	167
Longitud característica, l_{ch} (mm)	55
Función de Ablandamiento Bilineal	
w_1 (mm)	0.0195
w_c (mm)	0.1684

Para evaluar las propiedades del material se hicieron ensayos estables de flexión en tres puntos, sobre vigas entalladas de 100mm de canto y 30mm de espesor, con una entalla relativa de 0.50. La relación entre la luz de ensayo y el canto fué igual a 4. La energía específica de fractura G_f se calculó siguiendo las recomendaciones de la norma RILEM TC-50 con los ajustes recomendados en [11], [12] y [13]. El módulo de elasticidad E, se obtuvo a partir de la pendiente inicial de la curva carga vs apertura de fisura registrada en el ensayo (se usaron las expresiones dadas por Tada, Paris y Irwin). Finalmente los parámetros w_1 y w_c de

la curva de ablandamiento bilineal se obtuvieron mediante el método de ajuste general recomendado por los autores [14]. Como valor de la resistencia a tracción se tomó el valor de la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño correspondiente a las probetas tipo STC3 con un ancho de reparto $b^r=0.04$.

En la tabla 2, se indican el número de probetas ensayadas y los tamaños y anchos de reparto estudiados. Las probetas se obtuvieron a partir de una misma placa de espesor uniforme (30mm), mediante calado con brocas diamantadas.

Tabla 2. Probetas ensayadas, tamaños y anchos de reparto

Probeta	D	B	b^r		
			0.16	0.08	0.04
Tipo	(mm)	(mm)			
STC1	30	30	6	3	
STC2	60	30	4	4	4
STC3	120	30	4	4	4
STC4	240	30	3		

3.2. Resultado de los ensayos

En la tabla 3 se indican la dimensión característica D_{ch} de las probetas, el ancho de reparto relativo b^r y los resultados de los ensayos brasileños. En la misma se incluye el valor de la tensión nominal de rotura σ_{NR} , la desviación estándar S , el coeficiente de variación $cv=S/\sigma_{NR}$ y la tensión nominal relativa de rotura σ^r_{NR} .

Tabla 3. Resultado de los ensayos

Probeta	σ_{NR}	S	cv	br	D_{ch}	σ^r_{NR}
Tipo	(MPa)	(MPa)	%			
STC1	11.03	1.180	10.69	0.16	0.54	1.092
STC1	10.43	0.127	1.22	0.08	0.54	1.033
STC2	10.76	0.049	0.46	0.16	1.09	1.065
STC2	10.24	0.193	1.88	0.08	1.09	1.014
STC2	10.15	0.074	0.73	0.04	1.09	1.005
STC3	10.41	0.154	1.48	0.16	2.18	1.031
STC3	10.12	0.282	2.79	0.08	2.18	1.002
STC3	10.05	0.185	1.84	0.04	2.18	0.995
STC4	10.39	0.462	4.44	0.16	4.36	1.029

En las figuras 6a y 6b se representan los valores experimentales de la tensión nominal relativa de rotura en función del tamaño característico y del ancho de

reparto relativo. En las mismas figuras se incluyen las curvas de predicción teórica obtenidas con el modelo de fisura cohesiva. Para el cálculo de estas curvas se tomó la función de ablandamiento correspondiente al material ensayado (tabla 1).

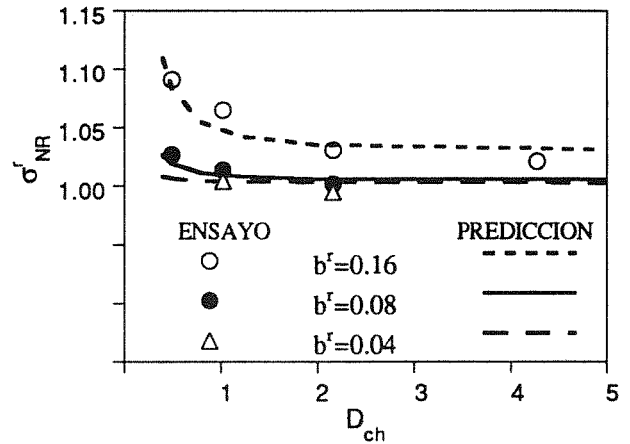


Fig. 6a. Efecto del tamaño de probeta sobre la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño. Valores experimentales y predicción teórica.

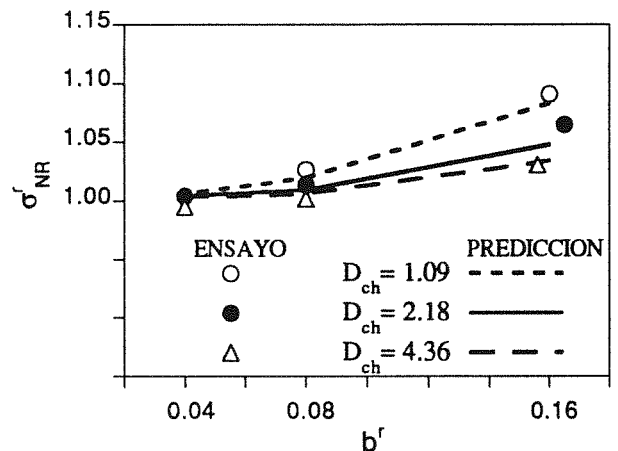


Fig. 6b. Efecto del ancho de reparto sobre la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño. Valores experimentales y predicción teórica.

Como puede verse en las figuras, el efecto del ancho de reparto y del tamaño de probeta sobre los valores experimentales de la tensión nominal de rotura son similares al comportamiento teórico. Las curvas obtenidas a partir del modelo cohesivo predicen adecuadamente el comportamiento experimental.

4. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados teóricos obtenidos a partir del modelo de fisura cohesiva y de los resultados de los ensayos experimentales realizados en este

trabajo es posible efectuar las siguientes consideraciones:

-. En general la tensión nominal de rotura obtenida en el ensayo brasileño sobrestima el valor de la resistencia a la tracción f_t . A medida que se incrementa el ancho de reparto y se reduce el tamaño de probeta, los valores de la tensión nominal de rotura del ensayo brasileño divergen más fuertemente del valor de la resistencia a la tracción.

-. El efecto del ancho de reparto y del tamaño de probeta sobre el valor de la tensión nominal de rotura obtenida en el ensayo brasileño puede ser convenientemente justificado mediante el modelo de fisura cohesiva. Se ha demostrado que el modelo empleado en este trabajo predice adecuadamente los resultados de los ensayos.

5. REFERENCIAS.

- [1] Mihashi, M., Okamura, H. and Bazant, Z. P. "Size effect in concrete structures", E&FN Spon, London. (1993).
- [2] Weibull, W. "A statistical theory of strength of materials", Pocc. Royal Swedish Academy of Eng. Sci 151, 1-45. (1939).
- [3] Chen, W. F., and Yuan, R. L., "Tensile strength of concrete: the double punch tests", Journal of the Structural Division, ASCE, 106, ST8, 1673-1693. (1980).
- [4] Bazant, Z. P., Kazemi, M. T., Hasegawa, T. and Mazars, J., "Size effect in Brazilian Split-Cylinder Test: Measurements and fracture analysis", ACI Materials Journal, V38,3, 325-332 (1991).
- [5] Sabnis, G. M. and Mirza, S. M., "Size effects in model concretes?", Journal of the Structural Division, ASCE, 105, ST6, 1007-1020. (1979).
- [6] Rocco, C., Guinea, G. V., Planas, J. and Elices, M., "The effect of the boundary conditions on the cylinder splitting strength", Fracture Mechanics of Concrete Structures, Proceedings FRAMCOS-2, vol1 75-84. (1995).
- [7] Planas, J. and Elices, M., "Nonlinear fracture of cohesive materials", International Journal of Fracture 51 139-157. (1992).
- [8] Dugdale, D. S., "Yielding of steel sheets containing slits", J. Mech. Phys. Solids, 8, 100-104. (1960).
- [9] Hillerborg, A., Modeer, M. and Petersson, P., "Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements", Cement and Concrete Research, 6 773-782. (1976).

[10] ASTM C496-90, "Standar test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens".

[11] Guinea, G. V., Planas, J. and Elices, M., "Measurement of fracture energy using three-point bend tests: Part1-Influence of experimental procedure", Materials and Structures, Vol 25 212-218. (1992).

[12] Planas, J., Elices, M., and Guinea, G. V., "Measurement of fracture energy using three-point bend tests: Part2-Influence of bulk energy dissipation", Materials and Structures, Vol 25 305-312. (1992).

[13] Elices, M., Guinea, G. V., and Planas, J., "Measurement of fracture energy using three-point bend tests: Part3-Influence of cutting the P- δ tail", Materials and Structures, Vol 25 327-334. (1992).

[14] Guinea, G.V, Planas, J. and Elices, M. , "A general bilinear fitting for the softening curve of concrete", Materials and Structures, 27 99-105. (1994).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y a la Dirección General de Investigaciones Científicas y Técnicas la ayuda recibida a través de los proyectos de investigación MAT94-0120-C03 y PB93-0031.

ASTM**Designación: C 31/C31M - 00****Práctica Estándar para
FABRICAR Y CURAR EN EL CAMPO ESPECIMENES DE HORMIGON
PARA ENSAYO****1.- Propósito**

- 1.1 Esta práctica describe procedimientos para fabricar y curar especímenes cilíndricos y vigas prismáticas con muestras representativas de hormigón fresco para un proyecto de construcción.
- 1.2 El hormigón para fabricar los especímenes moldeados tendrá los mismos niveles de asentamiento, contenido de aire y porcentaje de granulado grueso que el hormigón que representa. Esta práctica no es satisfactoria para fabricar especímenes con hormigones que no tengan un asentamiento, en el cono de Abrams, mensurable o que requieran otros tamaños y formas de muestras.

2. Documentos de Consulta**2.1 Estándares de la ASTM:**

- C138 Método de Ensayo para Determinar la Masa Unitaria, Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Hormigón.
- C143 Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Hormigón de Cemento Hidráulico.
- C172 Práctica para Muestreo de Hormigón Mezclado Fresco.
- C192 Práctica para Fabricar y Curar, en el Laboratorio, Muestras de Hormigón para Ensayo.
- C470 Especificaciones para Moldes para Colar Verticalmente Cilindros de Ensayo de Hormigón
- C511 Especificaciones para Cámaras de Humedad, Cuartos Húmedos y Tanques Almacenamiento en Agua Utilizados en el Ensayo de Cementos Hidráulicos y Hormigones.
- C617 Práctica para Coronar Especímenes Cilíndricos de Hormigón.
- C 1064 Métodos de Ensayo para Determinar la Temperatura del Hormigón de Cemento Portland Mezclado Fresco.

2.2 Publicaciones del American Concrete Institute:**CP-1 Técnico en Ensayos de Hormigón de Campo Grado I****3.- Significado y Uso**

- 3.1 Esta práctica proporciona los requisitos estandarizados para fabricar, curar, proteger y transportar muestras de hormigón para ensayo bajo condiciones de campo.
- 3.2 Si las muestras son fabricadas y curadas en forma estándar, como se estipula aquí, los datos resultantes de los ensayos pueden ser utilizados para los siguientes propósitos:
 - 3.2.1 Ensayos de aceptación para la resistencia especificada,
 - 3.2.2 Verificar la suficiencia de las proporciones de la mezcla para la resistencia, y
 - 3.2.3 Control de calidad.
- 3.3 Si las muestras son fabricadas y curadas en el campo, como se estipula aquí, los datos resultantes del ensayo puede ser utilizada para los siguientes propósitos:
 - 3.3.1 Determinación del tiempo en el cual se permite que la estructura sea puesta en servicio.
 - 3.3.2 Comparación con resultados de ensayo de especímenes curados estándar o con resultados de ensayos de varios métodos de ensayo “in situ”.
 - 3.3.3 Eficiencia del curado y protección del hormigón en la estructura, o
 - 3.3.4 Requisitos de tiempo para retiro de encofrados y puntales.

4.- Equipo

4.1 **Moldes, General.-** Los moldes para especímenes, o sus medios de sujeción que estén en contacto con el hormigón, serán hechos de acero, fundición u otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón que contenga cemento pórtland u otros cementos hidráulicos. Los moldes mantendrán sus dimensiones y forma bajo todas las condiciones de uso. Los moldes deben ser estancos durante el uso, juzgados por su habilidad de retener el agua que se vierta dentro de ellos. Las disposiciones para ensayos de estanqueidad están dadas en las secciones de los Métodos de Ensayo para Determinar la Elongación, Absorción y Fuga de Agua de la Especificación C 470. Un sellante adecuado, tal como grasa pesada, arcilla de moldear o cera microcristalina será utilizado, cuando sea necesario, para prevenir fugas a través de las uniones. Medios adecuados serán previstos para sostener las placas de base firmemente contra los moldes. Los moldes reutilizables serán recubiertos ligeramente con aceite mineral o algún material de desmolde adecuado, no reactivo, antes de su uso.

4.2 Moldes Cilíndricos:

- 4.2.1 **Moldes para Colar Especímenes Verticalmente.**- Los moldes para colar muestras de hormigón para ensayo se sujetarán a los requerimientos de la Especificación C 470.
- 4.3 **Moldes para Vigas.**- Los moldes para vigas serán de forma rectangular y de las dimensiones requeridas para producir las muestras estipuladas en 5.2. Las superficies interiores de los moldes serán lisas. Los lados, fondo y extremos formarán ángulo recto entre ellos y serán rectos, alineados y libres de alabeos. Las variaciones máximas de la sección transversal nominal no excederá de 3,2 mm para moldes con profundidad o anchura de 150 mm o más. Los moldes producirán especímenes que sean por lo menos tan largas que la longitud requerida de acuerdo con 5.2 y no más de 1,6 mm más cortas.
- 4.4 **Varilla Compactadora.**- El pisón será una varilla de acero recta, redonda con las dimensiones de acuerdo con las de la Tabla 1 que tenga el extremo compactador o ambos extremos redondeado como semiesfera del mismo diámetro que la varilla.
- 4.5 **Vibradores.**- Se emplearán vibradores internos. La frecuencia del vibrador será de por lo menos 7.000 vibraciones por minuto (150 Hz) mientras está operando dentro del hormigón. El diámetro de un vibrador redondo será no mayor que un cuarto del diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del ancho del molde para vigas. Otros vibradores de otras formas tendrán un perímetro equivalente a la circunferencia del vibrador redondo apropiado. La longitud combinada del mango y el elemento vibrador deberá exceder a la mayor profundidad de la sección a ser vibrada en por lo menos 75 mm. La frecuencia del vibrador deberá verificarse regularmente.
- 4.6 **Mazo.**- Se utilizará un mazo con cabeza de caucho o cuero crudo que pese $0,6 \pm 0,2$ kg.
- 4.7 **Herramientas Pequeñas.**- Se proveerán palustres, llanas romas, cucharas y un tacómetro de lengüeta vibratoria.
- 4.8 **Aparato para Asentamiento.**- El aparato para medir el asentamiento se sujetará a los requerimientos del Método de Ensayo C 143.
- 4.9 **Recipiente para Muestreo y Mezclado.**- El recipiente será una bandeja adecuada de metal grueso, una carretilla o entarimado de mezclar, plano, limpio, no absorbente, de suficiente capacidad para permitir un fácil remezclado de la muestra completa con una pala o palustre.
- 4.10 **Aparato para Medir el Contenido de Aire.**- De conformidad con los requisitos aplicables de los Métodos de Ensayo C 173 o C 231
- 4.11 **Aparatos para Medir la Temperatura.**- De conformidad con los requisitos aplicables del Método de Ensayo C 1064

TABLA 1 Requisitos de la Varilla-Pisón

Diámetro del Cilindro o ancho de la viga mm	Dimensiones de la Varilla	
	Diámetro de la Varilla mm	Longitud de la Varilla Pulg. (mm)
150	10	300
150	16	500
225	16	650

5.- Requisitos de Ensayo

5.1 **Especímenes Cilíndricos.-** Los especímenes para resistencia a la compresión o tensión diametral serán cilindros colados y endurecidos en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. El espécimen estándar será el cilindro de 150 por 300 mm, cuando el tamaño nominal máximo del granulado grueso no exceda de 50 mm (Nota 1). Cuando el tamaño nominal máximo del granulado grueso exceda de 50 mm, o la muestra de hormigón será tratada por tamizado húmedo como se describe en la Práctica C 172 o el diámetro del cilindro será por lo menos tres veces el tamaño nominal máximo del granulado grueso en el hormigón. Para ensayos de aceptación por la resistencia especificada, no se emplearán cilindros más pequeños que 150 por 300 mm, a menos que esté especificado otro tamaño (Nota 2).

Nota 1.- El tamaño nominal máximo es la menor abertura de tamiz a través de la cual se requiere que pase la cantidad total del granulado.

Nota 2.- Para otros usos que no sean los de aceptación de la resistencia especificada, los cilindros de 100 por 200 mm o 125 por 250 mm pueden ser los adecuados. Sin embargo, el diámetro de cualquier cilindro será por lo menos tres veces el tamaño nominal máximo del granulado grueso en el hormigón (Nota 1). Cuando se utilicen cilindros más pequeños que el tamaño estándar, la variabilidad dentro del ensayo ha mostrado ser más alta, pero no hasta un grado estadísticamente significativo. Los resultados de la resistencia a la compresión son afectados por un número de factores incluyendo el tamaño del cilindro.

5.2 **Especímenes de Vigas Rectangulares.-** Las muestras para determinar la resistencia a la flexión serán vigas rectangulares de hormigón, coladas y endurecidas en la posición horizontal. La longitud será por lo menos tres veces la profundidad en posición de ensayo más 50 mm. La relación de ancho a profundidad en posición de moldeado no excederá de 1,5. La viga estándar será de 150 por 150 mm de sección transversal y será utilizada para hormigón con tamaño nominal máximo de granulado grueso de hasta 50 mm. Cuando el tamaño nominal máximo del granulado grueso exceda de 50 mm, la menor dimensión de la sección transversal de la viga será por lo más tres veces el tamaño máximo nominal del

granulado grueso. A menos que se requiera por las especificaciones del proyecto, las vigas hechas en el campo no tendrán un ancho o profundidad menor a 150 mm.

5.3 **Técnicos de Campo.**- Los técnicos de campo que fabriquen y curen especímenes para ensayos de aceptación, serán Técnicos para Ensayos de Campo, Grado I, certificados por el ACI, o equivalente. Los programas de certificación de personal equivalentes incluirán exámenes teóricos y prácticos, como están detallados en el ACI CP-1.

TABLA 2 Requisitos de los Métodos de Compactación

Asentamiento, mm	Método de Compactación
≥ 25	Con varilla o vibración
< 25	vibración

TABLA 3 Requisitos de Moldeo con Varilla

Tipo y Tamaño de Especímen	Número de Capas de Aproximadamente Igual Profundidad	Número de golpes por Capa
Cilindros:		
Diámetro, mm		
100	2	25
150	3	25
225	4	50
Vigas:		
Ancho, mm		
150 a 200	2	Ver 8.3
> 200	3 o más profundidades iguales que no excedan de 150 mm c/u	Ver 8.3

6.- Muestreo del Hormigón

6.1 Las muestras utilizadas para fabricar especímenes de ensayo bajo este estándar serán obtenidas de acuerdo con la Práctica C 172 a menos que un procedimiento alternativo haya sido aprobado.

6.2 Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del hormigón representado y la fecha de colado.

TABLA 4 Requisitos de Moldeo por Vibración

Tipo y tamaño del Espécimen	Número de Capas	Número de Inserciones del Vibrador por Capa	Profundidad Aproximada de la Capa - mm
Cilindros: Diámetro, mm			
100	2	1	½ de la profundidad de la muestra
150	2	2	½ de la profundidad de la muestra
225	2	4	½ de la profundidad de la muestra
Vigas: Ancho, mm			
150 a 200	1	Ver 8.4.2	Profundidad del espécimen
más de 200	2 o más	Ver 8.4.2	200, tan cerca como sea practicable

7. Asentamiento, Contenido de Aire, y Temperatura

7.1 **Asentamiento.**- Mida y registre el asentamiento de cada hornada de hormigón, de las cuales se toman las muestras, inmediatamente después de remezclarlas en el recipiente como se requiere en el Método de Ensayo C 143.

7.2 **Contenido de Aire.**- Determine y registre el contenido de aire de conformidad con el Método de Ensayo C 173 o Método de Ensayo C 231. El hormigón utilizado para realizar el ensayo de contenido de aire no será utilizado en fabricar especímenes para ensayo.

7.3 **Temperatura.**- Determine y registre la temperatura de acuerdo con el Método de Ensayo C 1064.

8.- Moldeo de Especímenes

8.1 **Lugar de Moldeo.**- Moldee los especímenes rápidamente sobre una superficie nivelada, rígida, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar tan cercano como sea practicable del lugar donde van a ser almacenados.

8.2 **Colado de Cilindros.**- Seleccione la varilla apropiada de 4.4 y la Tabla 1 o el vibrador apropiado de 4.5. Determine el método de consolidación de la Tabla 2 a menos que se especifique otro método. Si el método de compactación es con varilla, determine los requisitos de compactación de la Tabla 3. Si el método de compactación es vibrado, determine los requisitos de colado de la Tabla 4. Seleccione una herramienta pequeña de tamaño y forma suficientemente grandes de modo que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente de muestreo sea re-

representativa y suficientemente pequeña de modo que el hormigón no se pierda cuando sea colocado en el molde. Mientras está colocando el hormigón en el molde, mueva la herramienta pequeña alrededor de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón y minimizar la segregación. Cada capa de hormigón será consolidada como se requiera. Al colocar la capa final, añada una cantidad de hormigón que llene el molde después de la compactación.

8.3 Moldeado de Vigas.- Seleccione la varilla apropiada de 4.4 y la Tabla 1 o el vibrador apropiado de 4.5. Determine el método de consolidación, de la Tabla 2 a menos que otro método se haya especificado. Si el método de compactación es con varilla, determine los requisitos de colado de la Tabla 3. Si el método de compactación es por vibración determine los requisitos de colado de la Tabla 4. Determine el número de golpes de varilla por capa, una por cada 14 cm² de la superficie de la viga. Seleccione una herramienta pequeña de tamaño y forma suficientemente grandes de modo que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente de muestreo sea representativa y suficientemente pequeña de modo que el hormigón no se pierda cuando sea colocado en el molde. Cada capa deberá ser compactada como se requiere. Al colocar la capa final, añada una cantidad de hormigón que llene el molde después de la compactación. Coloque el hormigón de manera que se distribuya uniformemente en cada capa con el mínimo de segregación.

8.4 Consolidación.- Los métodos de consolidación para esta práctica son con varilla o vibración interna.

8.4.1 Con Varilla.- Coloque el hormigón en el molde en el número requerido de capas de aproximadamente igual volumen. Compacte cada capa con el extremo redondeado de la varilla, utilizando el número de golpes requerido. Golpee la capa del fondo en toda su profundidad. Distribuya los golpes uniformemente sobre la sección transversal del molde. Para cada capa superior deje penetrar la varilla a través de la capa y alrededor de 12 mm dentro de la capa subyacente. Después de que cada capa ha sido compactada, golpee ligeramente los lados del molde con el mazo de 10 a 15 veces, para cerrar cualquier hueco dejado por la varilla y para liberar cualquier burbuja grande de aire que haya sido atrapada. Utilice la mano abierta para golpear moldes de un solo uso de pequeño espesor que son susceptibles de dañarse si se dan golpes con un mazo. Después del golpeteo, escarifique el hormigón a lo largo de los lados y extremos de los moldes de las vigas con una espátula u otra herramienta adecuada. Los moldes que no se han llenado completamente deberán llenarse con hormigón representativo durante la compactación de la última capa. Los moldes sobrellenados, deberán nivelarse quitando el exceso de hormigón.

8.4.2 Vibración.- Mantenga un período uniforme de tiempo para la duración de la vibración para un tipo particular de hormigón, vibrador y molde de espécimen involucrados. La duración de la vibración requerida dependerá de la trabajabilidad del hormigón y de la efectividad del vibrador. Usualmente, suficiente vibra-

ción ha sido aplicada tan pronto como la superficie del hormigón se ha vuelto relativamente lisa y las grandes burbujas de aire cesan de reventar en la superficie del hormigón (Nota 3). Llene los moldes y vibre en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Coloque todo el hormigón para cada capa en el molde antes de empezar la vibración para esa capa. Al compactar el espécimen introduzca el vibrador lentamente y no permita que el vibrador descansa en el fondo o lados del molde. Cuidadosamente retire el vibrador de tal manera que no se dejen bolsas de aire en el espécimen. Al colocar la capa final evite sobrellenar más de 6 mm.

Nota 3. Generalmente no se requerirá más de cinco segundos de vibración en cada introducción para compactar adecuadamente un hormigón con asentamiento mayor a 75 mm. Tiempos más largos se requerirá para hormigones con menores asentamientos, pero el tiempo de vibración rara vez tendrá que exceder de 10 segundos por inserción.

8.4.2.1 Cilindros.- El número de inserciones del vibrador por capa está dado en la Tabla 4. Cuando más de una inserción por capa es requerida, distribuya las inserciones uniformemente dentro de cada capa. Permita que el vibrador penetre a través de la capa que está siendo vibrada y dentro de la capa inferior aproximadamente 25 mm. Después de que cada capa ha sido vibrada, golpee los lados del molde por lo menos 10 con el mazo, para cerrar cualquier hueco que haya quedado y para liberar burbujas de aire atrapadas. Utilice la mano abierta para golpear moldes de cartón y moldes metálicos de un solo uso que son susceptibles de dañarse si se dan golpes con un mazo.

8.4.2.2 Vigas.- Inserte el vibrador a intervalos que no excedan 150 mm a lo largo de la línea central de la dimensión mayor del espécimen. Para muestras más anchas que 150 mm use inserciones alternadas a lo largo de dos líneas. Permita al mango del vibrador penetrar dentro de la capa del fondo aproximadamente 25 mm. Después de que cada capa ha sido vibrada, de golpes firmes con el mazo a los lados del molde por lo menos 10 veces, para cerrar huecos dejados por la vibración y para liberar burbujas de aire atrapadas.

8.5 Acabado.- Después de consolidar, corte el exceso de hormigón de la superficie y aplane o alise como se requiera. Realice todo el acabado con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie plana, regular, nivelada con el anillo o borde del molde y que no tenga depresiones o protuberancias mayores que 3,2 mm.

8.5.1 Cilindros.- Después de la consolidación, acabe las superficies enrasando con la varilla de compactar, cuando la consistencia del hormigón lo permita, o con una llana de madera o espátula. Si se desea, cubra la superficie de los cilindros recién hechos frescos, con una capa delgada de pasta espesa de cemento pórtland, la que se deja endurecer y curar con la muestra. Vea la sección sobre Materiales para Coronar de la Práctica C 617.

8.5.2 **Vigas.**- Después de la consolidación del hormigón, use una llana manual para cortar la superficie hasta la tolerancia requerida para producir una superficie plana uniforme.

8.6 **Identificación.**- Marque los especímenes para identificarlos positivamente y el hormigón que representan. Utilice un método que no altere la superficie superior del hormigón. No marque las tapas removibles. Al retirarlos de los moldes marque los especímenes de ensayo para retener sus identificaciones.

9.- Curado

9.1 **Curado Estándar** .- El curado estándar es el método de curado utilizado cuando los especímenes son fabricados y curados para los propósitos establecidos en 3.2.

9.1.1 **Almacenamiento.**- Si los especímenes no pueden ser moldeados en el lugar en donde recibirán su curado inicial, inmediatamente después de terminados, mueva los especímenes a un lugar de curado inicial para almacenamiento. La superficie de soporte en donde las muestras son almacenadas estará nivelada dentro de 20 mm por metro. Si los cilindros en los moldes de un solo uso deben ser movidos, levante y sostenga los cilindros por el fondo del molde con una espátula grande o artefacto similar. Si la superficie es dañada durante el movimiento hasta el lugar de almacenaje inicial, inmediatamente rehágala.

9.1.2 **Curado Inicial.**- Inmediatamente después del moldeado y terminado, los especímenes serán almacenados por un período de hasta 48 horas en un rango de temperatura entre 16 y 27 °C y en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de las muestras. Para mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40 MPa o mayor, la temperatura de curado inicial estará entre 20 y 26 °C. Varios procedimientos pueden ser utilizados durante el período de curado inicial para mantener las condiciones de temperatura y humedad especificadas. Un procedimiento adecuado o una combinación de procedimientos será utilizado (Nota 4). Proteja todos los especímenes de la luz directa del sol o de aparatos de calefacción radiante, si es que se los usa. La temperatura de almacenaje será controlada utilizando aparatos de calefacción y enfriamiento, como sea necesario. Registre la temperatura utilizando un termómetro de máxima y mínima. Si se han utilizado moldes de cartón, protéjalos del contacto con harpillera húmeda u otras fuentes de agua.

Nota 4.- Un ambiente húmedo satisfactorio puede ser creado durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) inmediatamente sumerja los especímenes moldeados con tapa de plástico en agua saturada con hidróxido de calcio, (2) almacénelos en estructuras o cajas de madera apropiadamente construidas, (3) colóquelos en fosos de arena húmeda, (4) cúbralos con tapas de plástico removibles, (5) introdúzcalos en bolsas de plástico, o (6) cúbralos con láminas de plástico o placas no absorbentes si se han tomado provisiones para evitar el secado y se utiliza harpillera húmeda dentro del embalaje, pero la harpillera no debe estar en contacto con las superficies del hormigón. La tempe-

ratura ambiental satisfactoria puede ser controlada durante el curado inicial de las muestras por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) uso de la ventilación, (2) uso de hielo, (3) uso de aparatos calefactores o enfriadores termostáticamente controlados, o (4) uso de métodos de calefacción tales como estufas, o lámparas. Otros métodos adecuados pueden ser utilizados a condición de que los requisitos que limitan la temperatura de almacenaje y la pérdida de humedad de los especímenes se cumplan. Para mezclas de hormigón con resistencias especificadas de 40 MPa o mayores, el calor generado durante las edades tempranas puede elevar la temperatura sobre la temperatura de almacenaje requerida. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser el método más fácil de mantener la temperatura de almacenaje requerida. Cuando los especímenes deben ser sumergidos en agua saturada de cal, los moldes de cartón u otros moldes que se expandan cuando están sumergidos en agua no se deberán utilizar. Los resultados de ensayos de resistencia a edades tempranas pueden ser más bajos cuando las muestras se almacenan a 16 °C y mayores cuando se almacenan a 27 °C. Por otro lado, a edades mayores, los resultados de ensayos pueden ser menores para temperaturas de almacenaje inicial altas.

9.1.3 Curado Final:

9.1.3.1. **Cilindros.**- Después de completar el curado inicial y dentro de los 30 minutos después de retirarlos de los moldes, cure las muestras manteniendo agua libre sobre sus superficies en todo momento a una temperatura de 23 ± 2 °C utilizando tanques de almacenaje en agua o cuartos húmedos que cumplan los requisitos de la Especificación C 511 excepto cuando se está colocando las coronas de mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se están colocando las coronas con mortero de azufre, los extremos del cilindro deberán estar lo suficientemente secas para evitar la formación bolsones de vapor o espuma bajo la corona mayores a 6 mm como se describe en la Práctica C 617. Por un período que no exceda de 3 h inmediatamente antes del ensayo no se requiere la temperatura estándar de curado a condición de que se mantenga humedad libre sobre los cilindros y la temperatura ambiente esté entre 20 y 30 °C.

9.1.3.2 **Vigas.**- Las vigas deben ser curadas lo mismo que los cilindros, vea 9.1.3.1, excepto que, por un mínimo de 20 h antes del ensayo, serán almacenadas en agua saturada de cal a 23 ± 2 °C. Se evitará el secado de las superficies de la viga entre su retiro del agua de cal y la terminación del ensayo.

Nota 5.- Cantidades relativamente pequeñas de secado superficial de muestras de flexión pueden inducir esfuerzos de tracción en las fibras extremas que, marcadamente, reducirán la resistencia a la flexión indicada.

9.2 Curado en el Campo – Es el método de curado utilizado para los especímenes fabricados y curados como se establece en 3.3.

9.2.1 Cilindros - Almacene los cilindros en o sobre la estructura, tan cerca del punto de depósito del hormigón representado como sea posible. Proteja de la intemperie

todas las superficies de los cilindros, tanto como sea posible, en la misma forma que los encofrados. Proporcione a los cilindros la misma temperatura y ambiente húmedo que el elemento estructural. Ensaye las muestras en la condición de humedad resultado del tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, las muestras hechas con el propósito de determinar cuando una estructura puede ser puesta en servicio, serán retiradas de los moldes al momento de retiro de los encofrados.

9.2.2 **Vigas.**- Tanto como sea practicable, cure las vigas en la misma forma que el hormigón de la estructura. Al final de las 48 ± 4 horas después del moldeo, lleve los especímenes moldeados al lugar de almacenamiento y retírelos de los moldes. Almacene las muestras representativas de pavimentos de losas de piso, colocándolas en el piso como hayan sido moldeadas con sus caras superiores hacia arriba. Cubra los lados y extremos de las muestras con tierra o arena que será mantenida mojada, dejando las caras superiores expuestas al tratamiento de curado especificado. Almacene las muestras representantes del hormigón estructural tan cerca del punto de la estructura que representan como sea posible y proporciónelas la misma protección a la temperatura y ambiente húmedo que a la estructura. Al final del período de curado deje las muestras en su lugar expuestas a la intemperie en la misma forma que la estructura. Retire todas las muestras de vigas del almacenamiento de campo y guárdelas en agua saturada con hidróxido de calcio a 23 ± 2 °C durante 24 ± 4 horas, inmediatamente antes del momento de ensayo, para asegurar una condición de humedad uniforme entre muestras. Observe las precauciones dadas en 9.1.3.2 para prevenir del secado entre el momento de retiro de las muestras de la cubeta de curado y el ensayo.

9.3 Curado de Hormigón Estructural Ligero – Cure los cilindros de hormigón estructural ligero de acuerdo con la Especificación C 330.

10.- *Transporte de los Especímenes al Laboratorio*

10.1 Previamente a ser transportadas, las muestras serán curadas y protegidas como se requiere en la Sección 9. Los especímenes no serán transportados hasta por lo menos 8 horas después del fraguado final (Vea la nota 6). Durante el transporte, proteja los especímenes con material de amortiguamiento adecuado para evitar daños por las sacudidas. Durante la estación fría, proteja los especímenes del congelamiento con material aislante adecuado. Prevenga la pérdida de humedad durante el transporte envolviendo las muestras en plástico, harpillera húmeda, rodeándolas con arena húmeda o tapas de plástico herméticas en moldes plásticos. El tiempo de transporte no debe exceder de 4 h.

Nota 6 – El tiempo de fraguado se puede medir por el Método de Ensayo C 403.

11 Informe

11.1 Reporte la siguiente información al laboratorio que ensayará las muestras:

- 11.1.1 Número de identificación,
- 11.1.2 Localización del hormigón representado por las muestras,
- 11.1.3 Fecha, hora y nombre de las muestras individuales moldeadas,
- 11.1.4 Asentamiento, contenido de aire y temperatura del hormigón, resultados de ensayos y resultados de cualquier otros ensayos realizados sobre el hormigón fresco y cualquier desviación de los métodos de ensayo estándar de referencia, y
- 11.1.5 Método de curado. Para el método de curado estándar, informe el método de curado inicial con las temperaturas máximas y mínimas y el método de curado final. Para el método de curado en el campo, informe el lugar de almacenamiento, manera de protección contra los elementos, temperatura y humedad ambiental y hora de retiro de los moldes.

12. Palabras Clave

- 12.1 vigas; muestras coladas; hormigón; curado; cilindros; ensayos.

CRITERIOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN EN LABORATORIO O EN PLANTA: f'_{cr} .

De manera innecesariamente frecuente las relaciones entre constructores, fiscalizadores y propietarios de una obra son conflictivas. Las principales razones de discrepancia son, a nuestro entender: el desconocimiento de los criterios establecidos en las normas y especificaciones que regulan la construcción, la inexistencia de cláusulas contractuales claras y precisas, las actitudes equivocadas de unos u otros y demasiado frecuentemente la elaboración defectuosa de probetas y/o el ensayo de estas y la interpretación de los resultados.

El hormigón de cemento hidráulico se fabrica con materiales que por su naturaleza son inestables y cambiantes: grava, arena y aunque en menor medida, el cemento y agua. A esto se suma el hecho de que la combinación de estos elementos no puede ser matemáticamente igual de una amasada a otra, todo lo cual lleva a concluir que el hormigón es un material estadísticamente variable.

Las principales fuentes de variación de la resistencia del hormigón son (Extracto de ACI 214):

Variaciones en la Fabricación del Hormigón	Variaciones en los Procesos de Ensayo
<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la relación agua/cemento debido a: <ul style="list-style-type: none"> -falta de control en la cantidad de agua utilizada para cada mezcla -variación en el contenido de humedad de los áridos -adición no controlada de agua a la mezcla • Variación en la necesidad de agua de la mezcla por: <ul style="list-style-type: none"> -cambios en el tipo de árido: en la graduación, forma, tamaño y porosidad de las partículas • Cambios en el tipo y dosificación de los ingredientes: <ul style="list-style-type: none"> -áridos, puzolanas, aditivos • Cambios en el mezclado, transporte, colocación y compactación del hormigón • Variaciones en la temperatura y el tipo de curado o ausencia de este 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos inadecuados de muestreo • Mala calidad de los moldes • Manejo descuidado de las muestras frescas • Falta de curado • Inicio del curado con retardo • Curado a temperaturas muy bajas • Procedimientos de ensayo defectuosos: <ul style="list-style-type: none"> -no utilización del “capping” -Superficies de los cilindros muy irregulares, cóncavas o convexas - uso de máquinas inapropiadas o no calibradas para realizar el ensayo

Como se puede notar, las causas de las variaciones en los resultados de los ensayos de las probetas no necesariamente son las mismas que las del hormigón en obra, entonces puede suceder que una obra bien construida sea penalizada por los resultados bajos de probetas mal elaboradas, maltratadas o mal ensayadas. Pero también puede suceder que los resultados de las probetas no reflejen la realidad del hormigón en sitio y se acepte una obra defec-

tuosa. Es evidente que no se puede descuidar ninguna de las dos actividades: las obras deben controlarse y fiscalizarse con mucho celo y a los ensayos de verificación debe dárseles el mismo tratamiento. En nuestro país empleamos los métodos de ensayo de la ASTM, reconocidos y aceptados por el INEN que deben utilizarse sin cambios ni desviaciones.

Aún cuando se tomen todas las precauciones en la elaboración y ensayo de las probetas, estas acusarán un grado de variación en los resultados, por eso hemos afirmado que el hormigón es un material “estadísticamente variable”, entonces todos los esfuerzos deben ir encaminados a reducir al mínimo esas variables y, quizá más importante que esto, a reducir el número de probetas que tengan resistencias por debajo de la especificada. Con este propósito, la primera medida a tomar es, para una obra en particular, fijar una “resistencia de diseño de la mezcla en laboratorio f'_{cr} ,” que será mayor que la resistencia especificada f'_c . El incremento en la resistencia depende de algunos factores: según el **ACI 301** “Especificaciones para Hormigón Estructural”, si el fabricante del hormigón tiene experiencia y una historia de resultados de ensayos de resistencia de hormigones fabricados con materiales semejantes a los que se va a emplear en la obra, realizados durante los últimos 12 meses con intervalos no menores a 60 días y con una resistencia dentro de los 7 MPa de la resistencia especificada y con ellos se puede realizar un análisis estadístico, entonces la resistencia requerida se puede calcular en base a la desviación estándar de esos resultados calculada así:

a) Datos de un solo grupo de por lo menos 15 ensayos de compresión consecutivos:

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

donde:

s = desviación estándar

n = número de resultados de ensayos considerados

\bar{X} = promedio de los n resultados de ensayo considerados

X_i = resultados de ensayos individuales

b) Datos de 2 grupos de ensayos de resistencia a la compresión consecutivos que sumados sean por lo menos 30. Ninguno de los dos grupos debe tener menos de 10 resultados.

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (b)$$

donde:

s = desviación estándar para los dos grupos combinados

s_1, s_2 = desviaciones estándar para los grupos 1 y 2, calculados de acuerdo con la ecuación (a)

n_1, n_2 = número de resultados de ensayo de los grupos 1 y 2 respectivamente

Cuando el número de ensayos es menor a 30, hay que tomar un factor de mayoración de la Tabla 1

Tabla 1. Factor de Mayoración de la Desviación Estándar para el Número de Ensayos Considerado

Número de Ensayos Considerado	Factor de Mayoración - k
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 o más	1,00

Se puede realizar una interpolación lineal para un diferente número de ensayos

La resistencia a la compresión promedio requerida se calcula con una de las siguientes fórmulas:

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 ks \quad (c)$$

$$f'_{cr} = f'c + 2,33 ks - 3,45 \quad (d)$$

donde:

f'_{cr} = resistencia a la compresión promedio requerida, MPa

$f'c$ = resistencia especificada a la compresión, MPa

k = factor de mayoración de la tabla 1

s = desviación estándar calculada con (a) o (b), MPa

Hay que tomar el mayor valor de los f'_{cr} calculados con las fórmulas (c) y (d)

Si no existe una historia de resultados de ensayos con los materiales en cuestión, que va a ser el caso más común para obras nuevas, entonces se puede empezar fijando una resistencia de diseño de mezcla f'_{cr} acorde con la Tabla 2.

Tabla 2 Resistencia a la Compresión Promedio Requerida f'_{cr}

Resistencia Especificada $f'c$ - MPa	Resistencia a la Compresión Promedio Requerida - f'_{cr} - MPa
Menor a 21	$f'c + 6.9$
21 a 35	$f'c + 8.3$
Sobre 35 hasta 70	$f'c + 9.7$
Sobre 70 hasta 105	$f'c + 12.4$

Una vez iniciada la obra, se pueden ir recopilando los datos de los ensayos de resistencia hasta tener un número suficiente que permita el estudio estadístico y con él calcular una nueva resistencia f'_{cr} menos conservadora y por tanto más económica, siguiendo el procedimiento indicado más arriba.

El **ACI 214.3R**, propone otro procedimiento para escoger la resistencia requerida de diseño de la mezcla, fijando el número de ensayos más bajos que la resistencia especificada, que se considere tolerables, utilizando la fórmula:

$$f'_{cr} = f'c + ps$$

donde:

f'_{cr} = resistencia requerida de la mezcla, MPa

$f'c$ = resistencia especificada, MPa

p = factor de probabilidad basado en el porcentaje de ensayos que el autor del proyecto permita que sean menores a $f'c$

s = desviación estándar esperada para el proyecto, Mpa

La Tabla 3 registra los factores de probabilidad para varios porcentajes de ensayos menores a la resistencia especificada, determinados utilizando las propiedades de la curva de distribución normal

TABLA 3 Porcentaje Esperado de Ensayos más Bajos que la Resistencia Especificada $f'c$

Resistencia Promedio Requerida f'_{cr}	Porcentaje de Ensayos más Bajos	Resistencia Promedio Requerida f'_{cr}	Porcentaje de Ensayos más Bajos
$f'c + 0.00s$	50.0	$f'c + 1.60s$	5.5
$f'c + 0.10s$	46.0	$f'c + 1.70s$	4.5
$f'c + 0.20s$	42.1	$f'c + 1.80s$	3.6
$f'c + 0.30s$	38.2	$f'c + 1.90s$	2.9
$f'c + 0.40s$	34.5	$f'c + 2.00s$	2.3
$f'c + 0.50s$	30.9	$f'c + 2.10s$	1.8
$f'c + 0.60s$	27.4	$f'c + 2.20s$	1.4
$f'c + 0.70s$	24.2	$f'c + 2.30s$	1.1
$f'c + 0.80s$	21.2	$f'c + 2.40s$	0.8
$f'c + 0.90s$	18.2	$f'c + 2.50s$	0.6
$f'c + 1.00s$	15.9	$f'c + 2.60s$	0.45
$f'c + 1.10s$	13.6	$f'c + 2.70s$	0.35
$f'c + 1.20s$	11.5	$f'c + 2.80s$	0.25
$f'c + 1.30s$	9.7	$f'c + 2.90s$	0.19
$f'c + 1.40s$	8.1	$f'c + 3.00s$	0.13
$f'c + 1.50s$	6.7		

Observe el lector que si se diseña la mezcla con un valor igual a la resistencia especificada, se debe esperar que un 50 % de los resultados sean menores a esta resistencia, lo cual evidentemente resulta inaceptable para la mayoría de las obras, de aquí la necesidad de diseñar la mezcla con valores más altos que $f'c$ en función de las condiciones de control en obra que se reflejará en la desviación estándar. Pero tampoco es aceptable exigir que ningún resultado sea menor que el especificado. Aun en el caso de imponer una f'_{cr} mayor a $f'c$ en 3 veces la desviación estándar, deben esperarse 1,3 resultados en 1000 menores a $f'c$. A manera de ejemplo, si el proyecto requiere una $f'c = 21$ MPa y el control de calidad es bueno, obteniéndose una desviación estándar $s = 4$ MPa, con esta exigencia, la f'_{cr} debería ser igual a: $21 + 3 \times 4 = 33$ Mpa, lo cual a todas luces parece exagerado

Raúl Camaniero
Ingeniero Civil - Investigador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 855

**HORMIGONES:
HORMIGÓN PREMEZCLADO.
REQUISITOS****1. OBJETO**

1.1 Esta norma establece las especificaciones para la fabricación y entrega al usuario, del hormigón premezclado en estado fresco y no endurecido.

2. ALCANCE

2.1 Los requerimientos para la calidad del hormigón deben ser los especificados en esta norma o los especificados por el usuario. Cuando existan diferencias entre las especificaciones, deben primar las especificaciones del usuario, siguiendo los métodos de evaluación de las NTE INEN, o mientras no existan estas, con las de la ASTM correspondientes y atendiendo las recomendaciones del ACI. Esta norma no contempla la colocación, compactación, curado o protección del hormigón después de entregado al usuario (ver Nota 1).

2.2 Para efectos de esta norma, el fabricante, ya sea el productor, contratista, subcontratista o proveedor, será quien suministra el hormigón premezclado; el usuario será el comprador, propietario o su representante.

2.3 El texto de esta norma hace referencia a notas y pies de página que proporcionan material explicativo. Estas notas y pies de página (excluyendo aquellas de las tablas y figuras), no deben ser consideradas como requerimientos de esta norma.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la norma NTE INEN 1762 y las que a continuación se detallan:

3.1.1 **Bachada, Carga o Parada:** Volumen total de hormigón contenido en el recipiente de mezcla y que es mezclado a un mismo tiempo.

3.1.2 **Clima Cálido:** Cualquier combinación de alta temperatura ambiente, baja humedad relativa y velocidad del viento, que tienda a perjudicar la calidad del hormigón fresco o endurecido, o que, de cualquier otra manera provoque el desarrollo de anomalías en las propiedades de este.

3.1.3 **Diseño de Mezcla:** Selección de las proporciones de las materias primas necesarias para producir el hormigón con las propiedades requeridas y las características de resistencia y/o durabilidad especificadas.

Nota 1: Para estos casos, deberán realizarse según norma INEN y ASTM correspondientes y conforme a las recomendaciones ACI 304R: “Guía para Medición, Mezclado, Transporte y Colocación de Hormigón”; ACI 305R – ACI 306R: “Elaboración, Colocación y Protección del Hormigón en climas caluroso y frío”; ACI 309R “Compactación del Hormigón” y, ACI 308R: “Práctica Estándar para el Curado del Hormigón”

3.1.4 **Dosificación:** Acción de medir por masa cada uno de los materiales componentes para producir una batchada, carga o parada de hormigón.

3.1.5 **Durabilidad del Hormigón:** Capacidad de soportar condiciones nocivas que le permita cumplir con el tiempo de vida útil requerido en el proyecto. Para tal efecto, al diseñárselo, debe tomarse en consideración el uso y función que va a cumplir la estructura, el ataque de los agentes agresivos a los que puede estar expuesto, los efectos de fisuraciones producidos por variaciones exageradas de volumen y la resistencia a los efectos del intemperismo. No debe confundirse durabilidad con resistencia mecánica del hormigón.

3.1.6 **Fiscalizador:** profesional de la construcción a quien el usuario puede delegar alguna de las funciones de control técnico y quien debe contar con la debida capacitación.

3.1.7 **Hormigón Premezclado:** Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, áridos, agua, con o sin aditivo, dosificado y mezclado previamente, entregado en estado fresco listo para colocar en la obra.

3.1.8 **Resistencia Especificada:** Resistencia de cálculo con la que se diseña la estructura, usualmente medida a los 28 días pero que puede ser especificada para cualquier edad. (Resistencia especificada a la compresión – f'_c ; Resistencia especificada a la tracción por flexión – M_R).

3.1.9 **Resistencia Promedio Requerida:** Resistencia promedio requerida para el diseño de la mezcla en laboratorio, empleada como base para la dosificación del hormigón a utilizarse en obra. Para satisfacer los requerimientos de desempeño de la resistencia promedio requerida, esta debe ser mayor que la resistencia especificada. La cantidad en exceso de la resistencia promedio requerida sobre la resistencia especificada depende de la variabilidad esperada de los resultados de ensayo expresados por la desviación estándar y de la proporción admisible de resultados bajos. (Resistencia Promedio Requerida a la compresión – f'_{cr} ; Resistencia Promedio Requerida a la tracción por flexión – M_{Rr}).

4. DISPOSICIONES GENERALES

- 4.1 La unidad de medida, base de compra, utilizada a la entrega será el metro cúbico de hormigón en estado fresco y no endurecido tal como se descarga del camión mezclador.
- 4.2 El volumen de hormigón en estado fresco y no endurecido (ver Nota 2) de una parada se determinará como la masa total de ella dividida para la masa unitaria del hormigón. La masa total de la parada se calculará como la suma de las masas de todos los materiales que la conforman, incluyendo el agua, o como la masa neta de hormigón de la parada en el momento de la entrega.
- 4.3 La masa unitaria se determinará de acuerdo con la norma NTE INEN 1579 y como el promedio de por lo menos tres mediciones, tomada cada una sobre muestras diferentes utilizando un recipiente de 14 dcm³, cada una tomada del punto medio de tres camiones mezcladores diferentes mediante el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 1763.
- 4.4 Toda planta de producción de hormigón premezclado, debe contar con un laboratorio de Control de Calidad, que cumpla con los requerimientos de las normas INEN, ASTM y las recomendaciones ACI pertinentes.
- 4.5 El producto debe contar con un estricto sistema de control de la contaminación y protección del ecosistema (aguas residuales, polvos, fluidos, etc.) de acuerdo a las leyes y reglamentaciones vigentes.

5. REQUISITOS

5.1 REQUISITOS ESPECIFICOS

5.1.1 **Materiales.** A menos que se indiquen otras especificaciones, los materiales deben cumplir las siguientes:

5.1.1.1 Cemento.- El cemento debe cumplir con las normas NTE INEN 152 o 490 según los requerimientos o especificaciones del usuario (ver Nota 3).

5.1.1.2 Áridos.- Los áridos deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 872 y en el caso de que el usuario solicite hormigón liviano, deberán cumplir con la Especificación ASTM C 330, mientras no exista norma INEN correspondiente.

Nota 2.- El volumen del hormigón endurecido puede ser, o aparentar ser, menor que el esperado debido a desperdicios, derrames, sobre – excavaciones, deformaciones de los encofrados, pérdidas de aire incorporado o contracciones de las mezclas fluidas, ninguna de las cuales es responsabilidad del fabricante.

Nota 3.- Los cementos de diferentes tipos producirán hormigones con diferentes propiedades y por lo tanto **no** deben utilizarse indiscriminadamente.

5.1.1.3 Agua.- El agua de la mezcla debe cumplir con la norma NTE INEN 1108. A falta de agua potable, esta debe reunir las siguientes condiciones:

- a) El agua de la mezcla debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el hormigón o para el acero de refuerzo. Si contiene sustancias en cantidades que la manchen o le produzcan olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, esta agua no debe usarse a menos que existan registros de hormigones elaborados con ella, o información que indique que no perjudica la calidad del hormigón. Las aguas cuya calidad sea cuestionable debe sujetarse a los criterios de aceptación de la Tabla 1.
- b) El agua proveniente de las operaciones de lavado de las mezcladoras podrá ser utilizada para el mezclado del hormigón siempre que cumpla con los límites indicados en la Tabla 1. El agua de lavado será ensayada semanalmente durante aproximadamente 4 semanas y de allí en adelante mensualmente, a condición de que ni un solo ensayo exceda los límites establecidos (ver Nota 4). Los límites químicos opcionales de la Tabla 2 pueden ser especificados por el usuario cuando sean apropiados para la construcción. La frecuencia de los ensayos para límites químicos será como se indica anteriormente o como esté especificado por el usuario.

5.1.1.4 Adiciones Minerales.- Las cenizas volantes y puzolanas naturales crudas o calcinadas deben cumplir con las especificaciones ASTM C 618 mientras no exista norma INEN correspondiente.

5.1.1.5 Escorias de Altos Hornos Granuladas Molidas.- Las escorias de altos hornos granuladas molidas deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C 989, mientras no exista norma INEN correspondiente.

5.1.1.6 Aditivos Incorporadores de Aire.- Los aditivos incorporadores de aire deben cumplir con las especificaciones C 260, mientras no exista norma INEN correspondiente (ver la Nota 5).

5.1.1.7 Aditivos Químicos.- Los aditivos químicos deben cumplir con las especificaciones ASTM C 494 o ASTM C 1017 cualquiera que sea aplicable, mientras no exista norma INEN correspondiente (ver la Nota 5).

Nota 4.- Cuando se utilice agua de lavado reciclada, se debe controlar la dosificación y secuencia del uso de aditivos incorporadores de aire y de otros aditivos químicos, así mismo, se deben mantener constantes las dosis de aditivos y de agua en las mezclas siguientes.

Nota 5.- En cualquier caso, la dosificación requerida de aditivos incorporadores de aire, aditivos acelerantes y retardantes puede variar, por lo tanto, se admitirá una tolerancia en la dosificación que permita obtener los efectos deseados.

Tabla 1 Criterio de Aceptación de Aguas Dudosas

Ensayos	Límites	Método de Ensayo
Resistencia a la compresión; % mínimo de control a los 7 días	90	* INEN 488
Tiempo de fraguado; desviación del testigo, h: min	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	* INEN 158

* La comparación se hace con dos mezclas elaboradas con proporciones fijas y con el mismo volumen de agua, una con el agua sometida a ensayo y la otra utilizando agua potable o agua destilada.

Tabla 2 Límites Químicos Opcionales para Agua de Lavado

	Límites	Método de Ensayo ^A
Requisitos Químicos, concentración máxima en el agua de mezclado, ppm ^B		
Cloruros como Cl, ppm: - Hormigón pretensado o en losas de puentes - Otros hormigones armados en ambientes húmedos o conteniendo embebido aluminio u otros metales disímiles o construidos con encofrados metálicos galvanizados perdidos	500 ^C 1 000 ^C	ASTM D 512
Sulfato como SO ₄ , ppm	3 000	ASTM D 516
Álcalis como (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), ppm	600	AASHTO T26
Sólidos totales, ppm	50 000	

^A Se pueden usar otros métodos de ensayo que hayan demostrado que los resultados obtenidos son comparables.

^B El agua de lavado reutilizada como agua de mezcla, eventualmente puede exceder las concentraciones fijadas de cloruro y sulfato siempre que se pueda demostrar que las concentraciones calculadas en el agua total de mezclado, incluyendo el agua libre de los áridos y otras fuentes, no excedan los límites establecidos.

^C Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, la limitación de este se puede obviar por parte del usuario.

5.1.2 Tolerancias en el Asentamiento

5.1.2.1 A menos que otras tolerancias sean incluidas en las especificaciones del proyecto, se deben aplicar las siguientes:

- a) Cuando en las especificaciones del proyecto para el asentamiento esté escrito como requisito un “máximo” o “no exceder” de:

Tolerancias	Asentamiento Especificado: 80 mm o menos Mayor a 80 mm
-------------	--

Tolerancia en más:	0 mm	0 mm
Tolerancia en menos:	40 mm	60 mm

Esta opción será utilizada solo si una adición de agua es permitida en la obra y siempre que no incremente la relación agua – cemento sobre el máximo permitido por las especificaciones.

- b) Cuando en las especificaciones del proyecto para el asentamiento no esté escrito como requisito un “máximo” o “no exceder” de:

Asentamiento Especificado	Tolerancia
50 mm o menos	± 15 mm
Más de 50 hasta 100 mm	± 25 mm
Más de 100 mm	± 40 mm

- c) El hormigón debe permanecer trabajable dentro de un rango permisible de asentamiento por un período de 30 minutos contados a partir de la llegada del camión mezclador a la obra o después del ajuste del asentamiento inicial permitido en el numeral 5.2.4.7 el que sea más tarde. Se excluye de este requisito el primero y último ¼ de metro cúbico de la descarga. Si el usuario no está preparado para la descarga del hormigón del vehículo, el productor no será responsable de la limitación del asentamiento mínimo, después de que hayan transcurrido 30 minutos, desde que el camión arriba al destino prescrito o de la hora de entrega requerida, lo que sea más tarde.
- d) Si el asentamiento medido en la obra no cumple con los límites especificados, se puede añadir agua para lograr el valor de asentamiento requerido, en cuyo caso se deben tomar cilindros para verificar la resistencia especificada del hormigón. El fabricante debe garantizar la resistencia si fue él quien autorizó la adición de agua.
- e) Si en obra, al hormigón premezclado que cumpliendo los requerimientos especificados, se le añade cualquier sustancia con el propósito de mejorar la calidad del hormigón, quien decida adicionar tal sustancia, sea este el fabricante o su representante, el usuario o su representante, será el responsable de la modificación de la especificación y de las condiciones técnicas comprobadas con los ensayos correspondientes.

5.1.3 Hormigón con Aire incorporado

5.1.3.1 Cuando se solicite hormigón con aire incorporado, el usuario deberá especificar el contenido total de aire en el hormigón. Ver Tabla 3 para contenidos de aire total recomendados (Nota 5).

5.1.3.2 Cuando se muestrea de la unidad de transporte en el sitio de descarga, el contenido de aire de un hormigón con aire incorporado deberá tener una tolerancia de ± 1,5 % del valor especificado.

Tabla 3 Contenido Total de Aire Recomendado para Hormigón con Aire incorporado ^{A,C}

Condiciones de Exposición	Contenido Total de Aire, %						
	Tamaño Nominal Máximo del Árido, mm						
	9,5	12,5	19,0	25,0	37,5	50,0	75,0
Suave	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
Moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5
Severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5

^A Cuando se especifique hormigón con aire incorporado,

^B Para descripción de las condiciones de exposición, referirse al ACI 211.1 Sección 6.3.3 con atención a las notas al pie de página respectivas.

- ^c A menos que las condiciones de exposición dictaminen lo contrario, los valores de contenido de aire recomendados en la Tabla 3, pueden ser reducidos en hasta 1 % para hormigones con resistencias a la compresión especificadas, f'_c : 35 Mpa o mayores.

5.1.3.3 Cuando una muestra preliminar, tomada dentro de los límites de tiempo indicados en 5.2.4.8 y previo a la descarga, el hormigón tiene un contenido de aire menor al nivel especificado excediendo la tolerancia permitida en 5.1.3.2, el fabricante podrá utilizar un aditivo incorporador de aire adicional para conseguir el nivel de contenido de aire deseado, seguido de un mínimo de 30 revoluciones de camión mezclador a velocidad de mezclado y mientras no se exceda el límite de revoluciones especificado en 5.2.4.8 (ver Nota 6).

Nota 6.- El muestreo y ensayos de aceptación del hormigón de acuerdo con la NTE INEN 1763 no es obviado por esta disposición.

5.1.4 Medición de Materiales

5.1.4.1 Excepto que se expresamente se permita de otra manera, el cemento será medido en masa. Cuando estén especificadas en el diseño de mezcla adiciones minerales (incluyendo escoria de altos hornos granulada triturada, cenizas volantes, humo de sílice u otras puzolanas), ellas pueden ser pesadas acumulativamente con el cemento. Tanto el cemento como las adiciones minerales se deben pesar sobre una báscula exclusiva para estos materiales. El cemento será pesado antes que las adiciones minerales. Cuando el peso del cemento es mayor que el 30 % de la capacidad total de la balanza, la cantidad de cemento y la cantidad acumulada de cemento más adiciones minerales debe estar dentro del ± 1 % de la masa requerida. Para cantidades menores, de hasta un mínimo de 1 m^3 de hormigón, la cantidad de cemento y la cantidad acumulada de cemento más las adiciones minerales utilizadas no será menor que la cantidad requerida ni mayor del 4 % en exceso. Bajo circunstancias especiales aprobadas por el usuario, el cemento podrá ser medido en sacos de masa estándar (Nota 7). Ninguna fracción de un saco de cemento será utilizada a menos que sea pesada.

5.1.4.2 Los áridos serán medidos en masa. Las masas para las mezclas estarán basadas en materiales secos y las masas requeridas serán las de los materiales secos más la masa total de humedad (tanto superficial como la de absorción), contenida en los áridos. La cantidad de áridos utilizada en una mezcla de hormigón, cuando se utilicen balanzas individuales para cada árido, de acuerdo con lo que indique la balanza debe estar dentro del ± 2 % del valor requerido. Cuando se utilicen balanzas que permitan pesar los áridos en masa acumulada, la masa después de cada pesaje sucesivo debe estar dentro del ± 1 % de la cantidad acumulada requerida, cuando la báscula se esté utilizando con una masa mayor que el 30 % de su capacidad. Para masas acumuladas de menos del 30 % de la capacidad de la balanza, la tolerancia será $\pm 0,3$ % de la capacidad de la balanza o ± 3 % de la masa acumulada requerida, la que sea menor.

5.1.4.3 El agua de mezclado podrá ser: agua añadida a la mezcla, hielo agregado a la mezcla, agua correspondiente a la humedad superficial de los áridos y el agua introducida con los aditivos. El agua añadida debe ser medida en masa o volumen con una precisión del 1 % del agua total de mezclado requerida. El hielo agregado será medido en masa. En el caso de camiones mezcladores, cualquier agua de lavado retenida en el tambor para su uso en la siguiente carga de hormigón, debe medirse cuidadosamente. Si esta medición es imposible o impracticable, el agua de lavado debe vaciarse antes de la carga de la siguiente mezcla de hormigón. El agua total, (incluida el agua de lavado) será medida o pesada con una precisión de ± 3 % de la cantidad total especificada.

5.1.4.4 Los aditivos en polvo deben ser medidos en masa y aditivos en pasta o líquidos en masa o volumen. La precisión en el pesaje estará dentro del ± 3 % de la masa requerida. Las medidas en volumen deben tener una precisión de ± 3 % de la cantidad total requerida o en más, o en menos del volumen de la dosis requerida para un saco de cemento, la que sea mayor (ver Nota 8).

REQUISITOS COMPLEMENTARIOS

5.2.1 Información para Pedidos.- En ausencia de especificaciones generales aplicables, el usuario debe especificar lo siguiente:

5.2.1.1 Tamaño o tamaños nominales del árido grueso,

5.2.1.2 Consistencia o consistencias deseadas en el sitio de entrega (ver numeral 5.1.2 y 7.1 literal e).

5.2.1.3 Cuando se especifica hormigón con incorporador de aire, el contenido de aire de las muestras será tomado de la unidad de transporte en el sitio de descarga (ver el numeral 5.1.3 y la Tabla 3 para el contenido total de aire y tolerancias) (ver Nota 9).

5.2.1.4 Cuando se trate de hormigón liviano estructural, la masa unitaria como masa húmeda, masa seca al aire o masa seca en estufa, (ver Nota 10).

5.2.1.5 Una de las opciones **A**, **B** o **C** indicadas a continuación, que se utilizará como base para determinar los diseños de las mezclas para producir la calidad requerida:

Nota 7.- En el Ecuador, la masa estándar de un saco de cemento es de 50 kg.

Nota 8.- Se recomienda emplear dosificadores de aditivos que permitan una variedad de dosis y que sean de fácil calibración.

Nota 9.- Al seleccionar el contenido de aire que se va a especificar, el usuario deberá considerar las condiciones de exposición a las cuales estará sujeto el hormigón. Contenidos de aire menores a los indicados en la Tabla 3, pueden no dar la resistencia requerida para la congelación y deshielo, los cuales son el principal propósito de la incorporación de aire en el hormigón. Contenidos de aire incorporado mayores que los niveles indicados pueden reducir la resistencia sin contribuir a mejorar de la durabilidad.

a) OPCIÓN A:

a.1) Cuando el usuario requiere que el productor asuma toda la responsabilidad en el diseño de la mezcla de hormigón (ver Nota 11), deberá especificar lo siguiente:

a.1.1) Los requisitos de resistencia y durabilidad requerida, medidos sobre muestras tomadas de la unidad de transporte en el punto de descarga, evaluados conforme al numeral 8. El usuario especificará los requisitos en términos de la resistencia de especímenes normalizados, curados bajo condiciones normalizadas de laboratorio para curado húmedo (ver numeral 8). A menos que se especifique de otra manera, la edad de ensayo de la muestra deberá ser 28 días.

a.1.2) Antes del primer envío del hormigón, a solicitud del usuario, el productor debe suministrar un informe indicando la masa del cemento, las masas SSS (saturadas y superficialmente secas) de los áridos fino y grueso; cantidades, tipo y nombre de los aditivos (si los hay) y el agua por metro cúbico de hormigón que se usa en la elaboración de cada clase de hormigón ordenada por el usuario. También debe suministrar evidencia satisfactoria de que los materiales que se usan y las proporciones elegidas producen un hormigón de la calidad especificada.

b) OPCIÓN B:

b.1) Cuando el usuario asume la responsabilidad total por el diseño de la mezcla de hormigón, deberá especificar lo siguiente:

b.1.1) Contenido de cemento en sacos o en kilogramos por metro cúbico de hormigón, o unidades equivalentes,

b.1.2) Contenido máximo de agua permisible en litros por metro cúbico de hormigón, o unidades equivalentes, incluyendo la humedad superficial de los áridos, pero excluyendo el agua de absorción (ver Nota 11), y

b.1.3) Si se requieren aditivos, el tipo, nombre y dosificación a ser utilizada. El contenido de cemento no deberá ser reducido cuando se empleen aditivos bajo esta opción sin la aprobación por escrito del usuario

Nota 10.- La masa unitaria del hormigón fresco, la única masa que se puede determinar al momento de la entrega, es siempre mayor que la masa seca al aire o seca en estufa. Las definiciones y métodos para determinar o calcular las masas secas al aire o en estufa, están indicados en la norma ASTM C 567.

Nota 11.- El usuario, al seleccionar los requisitos indicados en el numeral 5.2.1 además de las especificaciones de diseño estructural, deberá considerar los requisitos de trabajabilidad, facilidad de colado, durabilidad, textura de la superficie y densidad. El usuario podrá referirse al Estándar ACI 211.1 y ACI 211.2 para la selección de proporciones que resulten en un hormigón adecuado para los diversos tipos de estructuras y condiciones de exposición. La relación agua – cemento para la mayoría de los hormigones livianos estructurales no puede ser determinada con suficiente precisión para utilizarla como base de especificación.

b.2) A solicitud del usuario, el fabricante, previo al envío del hormigón, proveerá al usuario de información de las fuentes, gravedades específicas y granulometría de los áridos, las masas secas del cemento y masas en estado saturado superficie seca de los áridos fino y grueso; cantidades, tipo y nombre de los aditivos (de haberlos) y la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón que serán utilizados en la fabricación de cada tipo de hormigón ordenado por el usuario.

c) Opción C:

c.1) Cuando el usuario requiere que el fabricante asuma la responsabilidad en la selección de las proporciones para el diseño de la mezcla de hormigón con el contenido mínimo de cemento especificado (ver la Nota 12), el usuario debe especificar lo siguiente:

c.1.1) Resistencia y durabilidad requerida, determinada en muestras tomadas de la unidad de transporte en el punto de descarga, evaluada de acuerdo con el numeral 8. A menos que se especifique de otra manera, la edad de ensayo de la muestra debe ser 28 días.

c.1.2) Contenido mínimo de cemento en sacos o kilogramos por metro cúbico de hormigón.

c.2) A solicitud del usuario, el fabricante deberá, antes de la elaboración del hormigón, proveer información sobre la masa seca del cemento y masas en condición saturada superficie seca del árido fino y grueso, de las cantidades, tipo y nombre de los aditivos (si los hay) y la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón que serán utilizados en la elaboración de cada tipo de hormigón ordenado por el usuario. También proporcionará al usuario, evidencias satisfactorias de que los materiales a ser utilizados y los diseños de mezclas seleccionados producirán un hormigón de la calidad especificada. Cualesquiera sean las resistencias obtenidas, el contenido de cemento utilizado no será menor que el mínimo especificado.

5.2.1.6 Los diseños de mezcla en las Opciones **A**, **B** o **C** para cada tipo de hormigón y aprobados para su utilización en un proyecto, tendrán asignados una marca para facilitar la identificación de cada tipo de hormigón a ser suministrado, conforme está designado en 5.2.6.1 literal g) y proveerán información de las mezclas de hormigón cuando estas no están dadas separadamente en cada nota de entrega como se detalla en 5.2.6.2. Una copia certificada de todas los diseños de mezcla como establecen las Opciones **A**, **B** o **C** deben estar archivadas en la planta mezcladora.

Nota 12.- La opción C puede ser válida y útil solamente si el contenido mínimo de cemento especificado es aproximadamente del mismo nivel que el requerido ordinariamente para obtener la resistencia, con el tamaño máximo del árido y con el asentamiento especificados. Al mismo tiempo, el contenido de cemento debe ser el suficiente para que, una vez obtenida la resistencia especificada, garantice la durabilidad bajo las condiciones de servicio así como una textura y densidades satisfactorias. Para información adicional referirse a los estándares ACI 211.1 y 211.2 referidos en la Nota 11.

5.2.1.7 El usuario se asegurará de que el fabricante disponga de copias de todos los reportes de ensayos realizados sobre muestras de hormigón tomadas para determinar el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Los reportes serán suministrados oportunamente.

5.2.2 Plantas Dosificadoras

5.2.2.1 Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos o compartimentos adecuados y separados para cada uno de los áridos finos y gruesos requeridos. Cada compartimento debe ser diseñado para que la operación de descarga sea libre y eficiente, con la mínima segregación, dentro de la tolva de pesaje. Los sistemas de control de la operación deben permitir que se interrumpa con precisión la descarga de material en la balanza en el momento deseado, de manera que el material se pueda medir con precisión. Las tolvas y las básculas deben construirse de tal forma que se elimine el material de pesajes anteriores y puedan ser descargadas completamente.

5.2.2.2 Los controles e indicadores de operación deben estar totalmente visibles y lo suficientemente cerca para ser leídos con precisión por el operador mientras se lleva a cabo el pesaje en las balanzas. El operador debe tener un fácil acceso a todos los controles.

5.2.2.3 Las balanzas se considerarán calibradas cuando por lo menos un ensayo de carga estática dentro de cada cuarto de la capacidad de la escala, demuestre que se encuentra dentro del $\pm 0,2\%$ de la capacidad total de la balanza. Las balanzas de pesaje del fabricante deben estar calibradas y debe quedar constancia de ello para conocimiento del usuario. (ver Nota 13).

5.2.2.4 Para verificar la precisión de las balanzas, se debe contar con masas patrones. Todos los puntos de apoyo, soportes, abrazaderas dispositivos y partes mecánicas de la balanza, deben mantenerse limpios. Las balanzas mecánicas deben tener una sensibilidad tal que se perciba el movimiento cuando una masa igual al $0,1\%$ de la capacidad nominal de la balanza es colocada en la tolva de pesaje.

5.2.2.5 El mecanismo para la medición del agua debe ser capaz de suministrar a la mezcla, la cantidad requerida con la precisión exigida en 5.1.4.3. El aparato debe estar acondicionado de tal manera que las mediciones no sean afectadas por las variaciones de presión en la tubería de abastecimiento. Los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas que permitan verificar su correcta calibración a menos que se proporcionen otros métodos de medición para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

5.2.3 Mezcladoras y Agitadores

5.2.3.1 Las mezcladoras pueden ser del tipo estacionario o montadas sobre camión. Los agitadores pueden ser camiones mezcladores o camiones agitadores.

Nota 13. Las balanzas deben contar con un certificado de calibración actualizado por parte del INEN.

5.2.3.2 Las mezcladoras estacionarias deben estar equipadas con una o más placas metálicas en las cuales se indique claramente la velocidad de mezclado del tambor o de las paletas y la capacidad máxima en términos del volumen del hormigón mezclado. Cuando se utilicen para realizar el mezclado total completo del hormigón, estas mezcladoras deben estar equipadas con un dispositivo de cronometraje que no permita que la mezcla sea descargada antes que el tiempo especificado de mezcla haya culminado.

5.2.3.3 Cada camión mezclador o agitador debe tener marcado en un lugar visible una o más placas metálicas en las cuales deben estar claramente indicadas la capacidad bruta del tambor, la capacidad del tambor o contenido del mismo en términos del volumen del hormigón mezclado y la velocidad mínima y máxima de rotación del tambor, aspas o paletas. Cuando el hormigón es mezclado en camión mezclador como se describe en el numeral 5.2.4.5, o parcialmente mezclado en planta como se describe en el numeral 5.2.4.4, el volumen de hormigón mezclado no debe exceder del 63 % del volumen total del tambor o contenedor. Cuando el hormigón es mezclado en planta central como se describe en el numeral 5.2.4.3, el volumen del hormigón en el camión mezclador o agitador no debe exceder del 80 % del volumen total del tambor del camión. Los camiones mezcladores y agitadores deben estar equipados con dispositivos en los cuales el número de revoluciones del tambor, aspas o paletas pueda ser leído para su verificación.

5.2.3.4 Todas las mezcladoras estacionarias o en camiones deben ser capaces de mezclar los ingredientes del hormigón dentro del tiempo o del número de revoluciones especificados en 5.2.3.7, hasta obtener una masa prolijamente mezclada, uniforme y de descargar el hormigón de manera que al menos cumpla con cinco de los seis requisitos indicados en la Tabla A1.1 (ver Nota 14)

5.2.3.5 El agitador debe ser capaz de mantener el hormigón mezclado en mezcladora estacionaria en una masa homogénea, uniforme y de descargar el hormigón con un grado satisfactorio de uniformidad como se define en el Anexo A1.

5.2.3.6 Para una verificación rápida de la uniformidad del hormigón, se pueden realizar ensayos de asentamiento en muestras individuales tomadas después de haber descargado aproximadamente el 15 % y antes de haber descargado el 85 % de la carga (Nota 15). Estas dos muestras se deben obtener en un tiempo de no mayor de 15 minutos. Si los asentamientos difieren en más de lo especificado en el Anexo A1, el mezclador o agitador no debe utilizarse a menos que el defecto se corrija, con excepción de lo indicado en el numeral 5.2.3.7.

Nota 14.- La secuencia o método de carga de la mezcladora o el camión tendrá un efecto importante en la uniformidad del hormigón

5.2.3.7 El uso del equipo mezclador o agitador puede ser permitido cuando con un tiempo más largo de mezclado, una carga menor o una secuencia de carga más eficiente, se cumplan los requisitos del Anexo A1.

5.2.3.8 Las mezcladoras y agitadores se deben revisar periódicamente, el número de veces que sea necesario con el fin de detectar cambios en su estado, debido a la acumulación de hormigón o mortero endurecido y para establecer el estado real de las aspas o aletas. Cuando se detecte un cambio bastante significativo que pueda afectar el trabajo normal de la mezcladora, se deben efectuar los ensayos descritos en el Anexo A1 para establecer los correctivos necesarios.

5.2.4 Mezclado y Entrega

5.2.4.1 El hormigón premezclado debe ser mezclado y entregado en el lugar indicado por el usuario, por medio de una de las siguientes combinaciones de operación:

- a) Hormigón de central mezcladora
- b) Hormigón parcialmente mezclado en planta
- c) Hormigón mezclado en camión (mixers)

5.2.4.2 Las mezcladoras y agitadores deben operarse tomando en cuenta los límites de capacidad y de velocidad de rotación indicados por el fabricante del equipo.

5.2.4.3 Hormigón de Central Mezcladora

- a) En el caso de hormigón que es completamente mezclado en una mezcladora central estacionaria y transportado al lugar de entrega ya sea por un camión agitador o por un camión mezclador operando a la velocidad de agitación o en cualquier equipo no agitador aprobado por el usuario y conforme con los requisitos del numeral 5.2.5 , deberá cumplir con lo siguiente: El tiempo de mezclado será contabilizado desde el momento en que todos los materiales sólidos entren a la mezcladora central estacionaria. La secuencia de la carga de los materiales para la mezcla, en el tambor debe realizarse de manera que haya un poco de agua antes de introducir el cemento y los áridos, y toda el agua debe estar en la mezcladora hacia el final del primer cuarto del tiempo total especificado para el mezclado.
- b) Cuando no se hayan efectuado ensayos para determinar el tiempo de mezclado en el cual se obtiene la uniformidad de la mezcla, el tiempo aceptable para mezcladoras de capacidad de 1 m³ o menos, no debe ser menor de 90 segundos. Para mezcladoras de mayor capacidad, este tiempo mínimo debe incrementarse en 20 segundos por cada metro cúbico o fracción de volumen adicional.

Nota 15.- No se deben tomar muestras antes de que el 10 % ni después de que el 90 % de la mezcla haya sido descargada. Debido a la dificultad para determinar la cantidad real de hormigón descargado, la intención es tomar muestras que sean representativas de porciones suficientemente separadas que no sean ni de la parte inicial ni de la parte final de la parada.

- c) Cuando se hayan realizado ensayos para determinar el tiempo requerido para lograr la uniformidad de la mezcla conforme al programa de ensayos indicado en los párrafos siguientes, y la mezcladora haya sido cargada hasta su capacidad nominal, el tiempo de mezclado puede ser reducido para estas circunstancias particulares hasta obtener un mezclado satisfactorio, tal como se indica en el numeral 5.2.4.3. literal d). Cuando el tiempo de mezclado es reducido al máximo, esa reducción de tiempo no debe ser mayor de 60 segundos para hormigones con aire incorporado.
- d) **Muestreo para verificar la uniformidad de mezcladoras estacionarias.**- Las muestras de hormigones para propósitos comparativos deberán obtenerse inmediatamente después de los tiempos de mezclado establecidos, de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos:

d.1) Procedimiento alternativo 1.- La mezcladora debe detenerse y las muestras requeridas del hormigón deben extraerse por cualquier medio adecuado de tal forma que se tome muestras a distancias aproximadamente iguales de la parte frontal y posterior del tambor, o

d.2) Procedimiento alternativo 2.- Mientras la mezcladora es descargada, las muestras individuales serán tomadas después de la descarga de aproximadamente el 15 % y antes de haber descargado el 85 % de la carga. Cualquier método apropiado de muestreo puede ser utilizado a condición de que las muestras sean representativas de porciones suficientemente separadas pero no del inicio o final de la carga (ver Nota 15).

d.3) Las muestras de hormigón serán ensayadas de acuerdo con el numeral 8 y las diferencias en los resultados de los ensayos para las dos muestras no excederán aquellas dadas en el Anexo A1. Los ensayos de uniformidad se deben repetir cada vez que la apariencia del hormigón o el contenido del árido grueso de las muestras seleccionadas como se detalla en esta sección, indiquen que el mezclado no ha sido el adecuado.

5.2.4.4 Hormigón Parcialmente Mezclado en Planta.- Los hormigones que parcialmente han sido mezclados en una mezcladora central estacionaria y posteriormente mezclados en su totalidad en un camión mezclador, cumplirán con lo siguiente: El tiempo del mezclado parcial será el mínimo requerido para entremezclar los ingredientes. Los ensayos para verificar este cumplimiento deben realizarse conforme a 5.2.4.3 literales d) y d.3). Si se requiere de giros adicional del tambor, se deben realizar a la velocidad de agitado especificada. Posteriormente, al vaciar la carga en un camión mezclador, el tiempo de mezclado del camión mezclador a la velocidad designada, será el necesario para cumplir los requisitos de uniformidad indicados en el Anexo A1.

5.2.4.5 Hormigón Mezclado en Camión Mezclador (mixer)

- a) Es el hormigón mezclado completamente en un camión mezclador, con 70 a 100 revoluciones del tambor a la velocidad de mezclado especificada por el fabricante para lograr la uniformidad del hormigón tal como se indica en el Anexo 1. El ensayo de uniformidad del hormigón puede ser realizado conforme a 5.2.4.5 literal b) y si los requisitos de uniformidad indicados en el Anexo A1 no llegan a cumplirse con 100 revoluciones de mezclado, después que todos los componentes incluida el agua, estén en el tambor, tal camión no debe utilizarse hasta que dicha condición sea corregida, excepto lo previsto en 5.2.3.7. Cuando se obtiene un resultado satisfactorio en un camión mezclador, el desempeño de otros camiones similares del mismo diseño y condición de las aspás puede considerarse satisfactorio también. Las revoluciones adicionales del camión mezclador, por encima del número establecido para obtener la uniformidad requerida del hormigón deben realizarse a la velocidad de agitación especificada.
- b) **Muestreo para determinar la uniformidad del hormigón producido en camiones mezcladores (mixers).**- El hormigón debe descargarse a la velocidad normal de operación del camión a ser ensayado, teniendo cuidado de no obstruir o retardar la salida del hormigón. Se deben tomar muestras separadas, cada una de aproximadamente 0,1 m³, tomadas una después haber descargado aproximadamente el 15 % y la otra antes de haber descargado el 85 % de la carga (ver Nota 15). Estas muestras deben obtenerse dentro de un tiempo no mayor de 15 minutos. Las muestras serán tratadas conforme a la NTE INEN 1763, y se deben guardar separadamente para que representen puntos específicos de la mezcla y no ser combinadas para formar muestras compuestas. Entre la toma de las muestras, cuando sea necesario mantener el asentamiento, el tambor puede mantenerse girando en el sentido de mezclado a la velocidad de agitación. Durante el muestreo, el recipiente recibirá el caudal total de la descarga. Debe disponerse de suficiente personal para realizar los ensayos requeridos con prontitud. Se debe evitar la segregación durante el muestreo y manipuleo de la muestra. Cada muestra debe remezclarse durante un tiempo mínimo para asegurar su uniformidad antes que los especímenes sean moldeados para un ensayo particular.

5.2.4.6 Cuando un camión mezclador o un camión agitador se utiliza para transportar hormigón que ha sido completamente mezclado en una mezcladora central, cualquier rotación del tambor, durante el transporte, debe realizarse a la velocidad de agitación designada por el fabricante del equipo.

5.2.4.7 Adición de agua en Obra.- Cuando se aprueba un camión mezclador o agitador para la mezcla o entrega del hormigón, no deberá adicionarse agua al camión después de la introducción del agua de mezclado inicial, excepto cuando al llegar al sitio de trabajo u obra, el asentamiento del hormigón sea menor al especificado. Tal adición de agua para conseguir el asentamiento dentro de los límites requeridos será inyectada al camión mezclador con la presión y dirección del flujo que cumpla con los requisitos de uniformidad especificados en el Anexo A1. El tambor o las aspás deberán girar 30 revoluciones adicionales o más, si es necesario, a velocidad de mezclado, hasta lograr la uniformidad de la mezcla con el asentamiento dentro de los límites especificados. Posterior a esta adición, no se podrá añadir agua en ningún otro momento.

5.2.4.8 Tiempo de Descarga.- La descarga del hormigón deberá completarse en un lapso de 1,5 horas o antes de que el tambor haya girado 300 revoluciones, el que se cumpla primero, a partir de la incorporación del agua al cemento y áridos. Estas limitaciones pueden ser obviadas por el usuario si el hormigón después de 1,5 horas o de alcanzar las 300 revoluciones del tambor, mantiene un asentamiento que permita su colocación, sin añadirle agua a la mezcla. Para vaciado en climas cálidos o bajo condiciones que contribuyan a un rápido fraguado del hormigón, el usuario podrá especificar un tiempo menor a 1,5 horas. En condiciones especiales de temperatura, empleo de aditivos, tiempo de fraguado de la pasta normal y otros, esta limitación del tiempo de descarga puede modificarse de común acuerdo entre el fabricante y el usuario.

5.2.4.9 El hormigón suministrado en clima frío, debe tener la temperatura mínima indicada en la tabla 4. (El usuario notificará al fabricante el tipo de construcción para el cual se requiere el hormigón).

Tabla 4 Temperatura Mínima del Hormigón al ser Colocado

Tamaño de la Sección mm*	Temperatura, mínima °C
Menor de 300	13
Entre 300 y 900	10
Entre 900 y 1.800	7
Mayor de 1.800	5

* Se entiende como tamaño de la sección la menor dimensión de la sección transversal del elemento estructural a ser fundido.

La temperatura máxima del hormigón producido con áridos precalentados, agua caliente (ver Nota 16) o ambos, no debe exceder de 32 °C durante los procesos de producción o transporte (ver Nota 17).

5.2.4.10 El hormigón será suministrado en clima cálido a temperaturas, en lo posible, menores a 32 °C, sujetas a la aprobación del usuario (ver Nota 17).

5.2.5 USO DE EQUIPO NO AGITADOR

5.2.5.1 El hormigón elaborado en mezcladora central puede ser transportado en un equipo no agitador aprobado por el usuario. Los diseños de mezclas del hormigón deben ser aprobados por el usuario y se aplicarán las siguientes limitaciones:

- Las partes del equipo no agitador deben ser lisas, impermeables y los contenedores metálicos, equipados con compuertas que permitan controlar la descarga del hormigón. A petición del usuario deben estar provistas de cobertores para protección contra la intemperie.
- El hormigón debe entregarse en la obra en una masa prolijamente mezclada y uniforme, y ser descargado con un grado satisfactorio de uniformidad como indica el Anexo A1.
- Para una verificación rápida del grado de uniformidad del hormigón (ver Nota 15), pueden realizarse ensayos de asentamiento de muestras tomadas después de haber descargado aproximadamente el 15 % y antes de haber descargado el 85 % del hormigón. Estas dos muestras serán obtenidas dentro de un lapso de tiempo no mayor de 15 minutos. Si los asentamientos difieren más de lo especificado en la Tabla A1.1, el equipo no agitador no deberá utilizarse hasta que se realicen las correcciones como se indica en 5.2.5.1 literal d).
- Si los requisitos del Anexo A1 no se cumplen cuando el equipo no agitador es operado durante el tiempo máximo de acarreo y con hormigón mezclado en mezcladora central en un tiempo mínimo, el equipo podrá utilizarse para distancias de transporte más cortas o un tiempo mayor de mezclado o una combinación de ambos, que aseguren que los requisitos del Anexo A1 sean cumplidos.

5.2.6 Información de la Guía de Entrega de la Carga

5.2.6.1 El fabricante, previo a la descarga del hormigón en la obra, proporcionará al usuario, con cada carga, una guía de entrega en la cual deberá estar impresa, estampada o escrita, la siguiente información:

- Nombre del fabricante y de la planta,
- Número de serie de la guía de entrega,
- Fecha,
- Número del camión y nombre del conductor,
- Nombre del Usuario,
- Nombre del trabajo o la obra y su dirección,
- Tipo o designación del hormigón conforme con las especificaciones,
- Resistencia especificada en MPa,
- Cantidad de hormigón en metros cúbicos,

- j) Hora de carga o de la primera mezcla del cemento y áridos y agua,
- k) Tamaño máximo del árido grueso,
- l) Consistencia especificada,
- m) Hora de salida de la planta,
- n) Hora de llegada a la obra,
- ñ) Hora de inicio de la descarga,
- o) Hora de fin de la descarga,
- p) Hora de salida de la obra,
- q) Consistencia en el sitio de entrega,
- r) Tipos de aditivos o adiciones o ambos que se incorporen en la obra y la firma de responsabilidad de quien autorice su utilización,
- s) Cantidad de agua adicionada en el sitio de entrega y el responsable,
- t) Demoras, dejando constancia del atraso en la descarga y sus motivos, cuando se sobrepasen los 30 minutos,
- u) Firma del usuario (avala toda la información consignada en la guía),
- v) Observaciones

Nota 16.- Cuando se utiliza agua caliente, puede ocurrir el fenómeno de endurecimiento rápido del hormigón si el agua caliente es puesta directamente en contacto con el cemento. Información adicional sobre hormigonado en clima frío se encuentra en ACI 306R.

Nota 17.- En algunos casos se pueden encontrar dificultades cuando la temperatura del hormigón se aproxima a 32 °C. Información adicional se encuentra en el “Bureau of Reclamation Concrete Manual” y en el ACI 305 R.

6. Inspección

6.1 Inspección en la Planta.- El fabricante proporcionará al fiscalizador, sin costo adicional, todos los medios razonables para efectuar las verificaciones necesarias de los equipos de producción y la toma de las muestras necesarias para determinar que el hormigón suministrado ha sido producido de acuerdo con las especificaciones. Todos los ensayos e inspecciones deben realizarse de manera que no interfieran con la fabricación y entrega del hormigón.

6.2 Muestreo y Ensayo del Hormigón Fresco

6.2.1 El fabricante deberá brindar al fiscalizador, sin costo adicional, toda la ayuda razonable para efectuar los controles necesarios en las instalaciones de producción y la toma de las muestras de hormigón fresco para determinar el cumplimiento de esta norma.

6.2.2 Los ensayos de hormigón requeridos, para determinar el cumplimiento de esta norma, deben ser realizados por un Técnico en Ensayos de Campo del Hormigón, Grado I - ACI o con título certificado por una Institución Superior o equivalente.

6.2.3 Las muestras de hormigón deberán ser obtenidas conforme la NTE INEN 1763, excepto cuando sean tomadas para determinar la uniformidad del asentamiento de una carga o mezcla de hormigón. Ver los numerales 5.2.3.6 ; 5.2.4.3 literal d3); 5.2.4.5 literal b) y 5.2.5.1 literal c).

6.2.4 Los ensayos de consistencia, contenido de aire y temperatura serán realizados al momento de la colocación del hormigón, a opción del fiscalizador, tan frecuentemente como sea necesario para verificaciones de control. Adicionalmente, estos ensayos serán realizados cuando sean especificados y siempre que se fabriquen especímenes para determinar la resistencia (ver numeral 6.2.5).

6.2.5 Los ensayos de resistencia, así como de consistencia, temperatura y contenido de aire serán realizados con una frecuencia no menor a un ensayo por cada 120 m³ de hormigón o 500 m² de superficie de losa

o pavimento. Cada ensayo será realizado en una carga distinta. En cada día de despacho del hormigón, al menos un ensayo de resistencia será realizado para cada tipo de hormigón.

6.2.6 Si la consistencia medida o el contenido de aire están fuera de los límites especificados, se realizará inmediatamente un ensayo de verificación sobre otra porción de la misma muestra. En la eventualidad de una segunda falla, se considerará que el hormigón no cumple con los requisitos de la especificación.

7. PRÁCTICAS, MÉTODOS DE ENSAYO E INFORMES

7.1 Los ensayos sobre el hormigón premezclado se realizarán de acuerdo con los siguientes métodos: (normas INEN existentes y normas ASTM mientras no existan normas INEN correspondientes).

- a) Toma de muestras: NTE INEN 1763
- b) Resistencia a la compresión NTE INEN 1573
- c) Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de cemento y aire ASTM C 138
- d) Contenido de aire en hormigón fresco: ASTM C 173 o C 231
- e) Consistencia:
 - e.1 Asentamiento entre 20 y 200 mm: NTE INEN 1578
 - e.2 Asentamiento menor a 20 mm: Tiempo VEBE, ASTM C 1170
 - e.3 Asentamiento mayor a 200 mm: BS 1881 Part 105 Flow Test (Extendido)
- f) Cilindros de hormigón tomados en obra para ensayos de compresión, elaboración y curado: ASTM C 31.
- g) Temperatura en el hormigón: ASTM C 1064
- h) Ensayos de resistencia a la tracción:
 - h.1) Tracción por flexión ASTM C 78 o C 293
 - h.2) Tracción por compresión diametral: ASTM C 496

7.2 Los informes de los resultados de ensayos de hormigón en laboratorio, utilizados para determinar el cumplimiento con esta especificación, deberán incluir una declaración de que todos los ensayos realizados por el laboratorio o sus agentes, estuvieron de acuerdo con los métodos de ensayo aplicables o notificará todas las desviaciones conocidas de los procedimientos prescritos (ver Notas 18 y 19). Los reportes también incluirán un listado de cualquier parte de los métodos de ensayo no realizados por el laboratorio.

8 RESISTENCIA

8.1 Cuando se usa la resistencia, sea a la compresión o a la tracción, como base para la aceptación del hormigón, se deben tomar muestras de acuerdo con la NTE INEN 1763. Los especímenes serán curados bajo condiciones de temperatura y humedad normalizados de acuerdo con las disposiciones de la norma ASTM C 31, mientras no exista norma INEN correspondiente. El laboratorio que realice el ensayo de resistencia debe ser acreditado o reconocido por el INEN (ver Nota 20).

8.2 Para cada ensayo de resistencia, deben elaborarse por lo menos dos especímenes de ensayo de mezclas tomadas conforme a lo indicado en el numeral 6.2. Un ensayo será el resultado del promedio de las resistencias de los especímenes ensayados a la edad especificada. Si un espécimen muestra evidencias definitivas de baja resistencia respecto a los demás, debido a un muestreo manejo, curado o ensayo inadecuados, se lo debe descartar y la resistencia de los especímenes restantes será considerada como el resultado del ensayo.

8.3 El usuario podrá realizar ensayos adicionales a otras edades para obtener información acerca de la evolución en el desarrollo de la resistencia, verificar la efectividad del curado y protección del hormigón para determinar el tiempo de remoción de los encofrados o cuando la estructura puede ser puesta en servicio. Los cilindros elaborados para este efecto se deben curar de acuerdo a la NTE INEN 1576. **Estos datos no pueden ser utilizados como base de aceptación o rechazo del hormigón.**

8.4 El representante del usuario deberá anotar y registrar el número de la guía de entrega del hormigón y la exacta localización en la obra en la cual la carga representativa del ensayo de resistencia, es depositada

8.5 Debido a las variaciones en los materiales, operaciones y ensayos, la resistencia promedio requerida para cumplir los requisitos de esta norma será sustancialmente mayor que la resistencia especificada. La cantidad en exceso de la resistencia promedio requerida dependerá de la desviación estándar de los resultados de ensayo y de la exactitud con la cual esa desviación pueda ser estimada de datos anteriores. Los valores pertinentes para efectos de diseño de la mezcla en laboratorio se indican en las tablas 5 y 6. Para información adicional consultar el ACI 318 y ACI 301.

8.6 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA.- El nivel de resistencia de una clase determinada de hormigón será considerado satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

8.6.1 Para el Caso de Resistencia a la Compresión:

TABLA 5 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A COMPRESION (f'_{cr})
(Todos los valores de resistencia están en MPa)

Cuando la Desviación Estándar es Conocida

Número de ensayos ^A	Desviación Estándar				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
15	3,1	4,7	7,3	10,0	12,9
20	2,9	4,3	6,6	9,1	11,8
30 o más	2,7	4,0	5,8	8,2	10,5

Nota. La Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr}) se obtiene sumándole al valor de la Resistencia Especificada (f'_c) el valor tomado de esta tabla que corresponda al número de ensayos y a la desviación estándar.

^A Número de ensayos de una mezcla de hormigón utilizado para estimar la desviación estándar de la producción de hormigón de una planta.

Cuando la Desviación Estándar es Desconocida

Resistencia Especificada (f'_c)	Resistencia Requerida (f'_{cr})
Menor de 20 MPa	$f'_c + 7,0$
Entre 20 y 35 MPa	$f'_c + 8,5$
Mayor de 35 MPa	$f'_c + 10,0$

TABLA 6 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A TRACCION POR FLEXION (M_{Rf})

Cuando la Desviación Estándar es Conocida

Número de Ensayos ^A	Desviación Estándar				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
15	0,46	0,63	0,78	1,04	1,31
20	0,43	0,58	0,72	0,97	1,22
30 o más	0,40	0,54	0,67	0,90	1,13

Nota. La Resistencia Promedio Requerida (M_{Rr}) se obtiene sumándole al valor de la Resistencia Especificada (M_R) el valor tomado de esta tabla que corresponda al número de ensayos y a la desviación estándar.

^A Numero de ensayos de una mezcla de hormigón utilizada para estimar la desviación estándar de la producción de hormigón de una planta

Cuando la Desviación Estándar es Desconocida

Resistencia Especificada (M_R)	Resistencia Requerida (M_{Rr})
Menor de 2,5 MPa	$M_R + 0,92$
Entre 2,5 y 4,0 MPa	$M_R + 1,11$
Mayor de 4,0 MPa	$M_R + 1,31$

8.6.1.1 El promedio de todos los conjuntos de tres resultados de ensayos consecutivos de resistencia, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f'_c .

8.6.1.2 Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 3,5 MPa por debajo de la resistencia especificada f'_c .

8.6.2 Para el caso de resistencia a la tracción por flexión:

8.6.2.1 El promedio de todos los conjuntos de tres resultados de ensayos consecutivos de resistencia debe ser igual o superior al módulo de rotura (M_R) especificado.

8.6.2.2 Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 0,5 MPa por debajo del módulo de rotura especificado.

Nota 18.- La desviación de los métodos de ensayo estándar puede alterar los resultados de los ensayos.

Nota 19.- La desviación de las condiciones de curado y temperatura estándar es, frecuentemente, una razón para obtener resultados de baja resistencia. Tales desviaciones pueden invalidar el uso de dichos resultados del ensayo como base para la aceptación o rechazo del hormigón

8.7 Incumplimiento de los Requisitos de Resistencia

8.7.1 Cuando no se cumpla con cualquiera de los dos requisitos especificados en los numerales 8.6.1 y/o 8.6.2, deberán tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los ensayos de resistencia subsiguientes.

8.7.2 Cuando no se satisfagan los requisitos de los numerales 8.6.1.2 y 8.6.2.2, deberán tomarse medidas para asegurar que no se pone en peligro la capacidad de resistencia de la estructura construida con este hormigón.

8.7.3 Si se confirma, luego de agotar todos los procedimientos no destructivos de control, actualmente aceptados, que el hormigón es de dudosa resistencia y los cálculos indicaren que la capacidad de resistencia de la estructura se habría reducido significativamente, deberán obtenerse de los sectores en duda, núcleos o vigas aserradas de acuerdo con la norma ASTM C 42, mientras no exista norma INEN correspondiente. En este caso deberán obtenerse tres grupos de núcleos o vigas aserradas por cada resultado de resistencia que esté en las condiciones señaladas en 8.7.2 y ensayarse de acuerdo con los siguientes procedimientos:

8.7.3.1 Para determinar la resistencia a la compresión, los núcleos se ensayarán según la NTE INEN 1573.

8.7.3.2 Para resistencia a la tracción, las vigas y núcleos se ensayarán así:

- a) Tracción por flexión, las vigas, según las normas ASTM C 78 o C 293, mientras no exista norma INEN correspondiente.
- b) Tracción por compresión diametral, los núcleos, según la norma ASTM C 496, mientras no exista norma INEN correspondiente.

8.7.4 Cuando se haya especificado resistencia a la compresión, el hormigón del sector representado por los ensayos se considerará estructuralmente adecuado si el promedio de las resistencias de los tres núcleos es, por lo menos, igual al 85 % de f'_c y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75 % de f'_c .

8.7.5 Cuando se haya especificado resistencia a la tracción, el hormigón del sector representado por los ensayos se considerará estructuralmente adecuado cuando se cumpla con una de las dos condiciones siguientes:

8.7.5.1 El promedio de las resistencias de las vigas, ensayadas según 8.7.3.2 literal a), resulte por lo menos igual al 85 % del módulo de rotura especificado y ninguna viga tenga una resistencia menor que el 75 % de dicho módulo.

8.7.5.2 El promedio de las resistencias de los núcleos ensayados según 8.7.3.2 literal b), resulte por lo menos igual al 60 % del módulo de rotura especificado y ningún núcleo tenga una resistencia menor que el 54 % de dicho módulo.

8.7.6 Si no se satisface alguna de las condiciones establecidas en 8.7.4 u 8.7.5 y si además hay dudas con respecto a la suficiencia estructural, la autoridad responsable puede ordenar ensayos de carga para la parte dudosa de la estructura de acuerdo con el capítulo 20 del Código Ecuatoriano de la Construcción.

8.7.7 Como última instancia, en la eventualidad de que el hormigón ensayado de acuerdo con lo especificado en el numeral 8 falle en cumplir los requisitos de resistencia de esta especificación y no se encuentre una fórmula de arreglo entre las partes, el fabricante y el usuario, procederán a convocar una comisión compuesta por tres ingenieros calificados y de reconocido prestigio, uno de los cuales será designado por el fabricante, otro por el usuario y el tercero seleccionado por estos dos miembros del panel. La responsabilidad del costo de tal arbitraje será determinado por el panel. Su decisión será obligatoria, excepto que sea modificada por una autoridad competente.

ANEXO A (Información Obligatoria)

A1. Requisitos de Uniformidad del Hormigón

A1.1 La variación dentro de una mezcla, tal como se estipula en la Tabla A1.1 se debe determinar, para cada propiedad indicada en la tabla, como el valor resultante de la diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo obtenido de las diferentes porciones de la misma mezcla o carga. Para efectos de esta especificación la comparación se hará entre dos muestras representativas de las porciones inicial y final de la mezcla o carga ensayada. Se considerará que el hormigón es uniforme, dentro de los límites de esta norma, si cumple con cinco de los seis ensayos enumerados en la Tabla A1.

A1.2 Contenido de árido grueso, se utilizará el ensayo de lavado por arrastre y será calculado por la siguiente fórmula:

$$P = (c/b) \times 100$$

Donde:

P = La masa del árido grueso en el hormigón (%)

c = La masa en estado SSS (saturada y superficialmente seca) del árido retenido en el tamiz No. 4 (4,75 mm), obtenido del lavado de todo el material más fino que dicho tamiz, en el hormigón fresco, kg.

b = La masa de hormigón fresco en el recipiente normalizado de masa unitaria, en kg.

A1.3 La Masa Unitaria del Mortero Libre de Aire será calculada mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{b - c}{V - \left(\frac{V \times A}{100} + \frac{c}{1\ 000G} \right)}$$

Donde:

M = masa unitaria del mortero libre de aire, kg/m³

b = masa del hormigón en el recipiente de masa unitaria, kg.

c = masa en estado saturado superficie seca del árido retenido en el tamiz No. 4 (4,75 mm), kg.

V = volumen del recipiente de masa unitaria, m³,

A = contenido de aire del hormigón, %, medido de acuerdo con las normas ASTM C 173 o C 231, mientras no existan normas INEN correspondientes, sobre la muestra que está siendo ensayada, y

G = gravedad específica del árido grueso en condición saturada superficie seca.

TABLA A1 Requisitos para Uniformidad del Hormigón

Ensayo	Requisito Expresado como la Máxima Diferencia Permitida en los Resultados de Ensayos de Muestras Tomadas en Dos sitios en una Parada de Hormigón
Masa por metro cúbico calculada en condición libre de	

aire, kg/m ³	16
Contenido de Aire, en % del volumen de hormigón	1,0
Asentamiento en mm: Si el asentamiento promedio es 100 mm o menos	25
Si el asentamiento promedio está entre 100 y 150 mm	40
Contenido de árido grueso, porción en masa de cada muestra retenida en el tamiz No. 4 (4,75 mm), %	6,0
Masa unitaria del mortero sin aire ^A , promedio de todas las muestras comparables ensayadas, %	1,6
Resistencia a la compresión promedio a los 7 días para cada muestra ^B : Resistencia promedio de todos los especímenes comparables ensayados, en %	7,5 ^C

^A “Ensayo para Determinar la Variabilidad de los Ingredientes del Hormigón”, Designación 26, Bureau of Reclamation Concrete Manual, Edición 7ª. Disponible de la Superintendencia de Documentos, Oficina de Impresión del Gobierno de los E.U. Washington DC 20402.

^B Se deben moldear y ensayar no menos de tres cilindros de cada una de las muestras.

^C Una aprobación provisional de la mezcladora puede concederse, dependiendo de los resultados de los ensayos de resistencia a los 7 días.

APENDICE Z

Z.1 NORMAS A CONSULTAR

NTE INEN 1763	Hormigón fresco, muestreo
NTE INEN 152	Cemento portland. Requisitos
NTE INEN 490	Cementos compuestos. Requisitos
NTE INEN 872	Aridos para hormigón. Requisitos
NTE INEN 1108	Agua potable. Requisitos
NTE INEN 488	Cementos. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista
NTE INEN 158	Cementos. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat
NTE INEN 1578	Hormigones. Determinación del asentamiento
NTE INEN 1573	Hormigones. Determinación de la resistencia a la compresión
ASTM C 31	Práctica para Fabricar y Curar Especímenes de Hormigón para Ensayo en el Campo.
ASTM C 78	Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en el tercio)
ASTM C 109	Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 pulgadas o 50 mm).
ASTM C 138	Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Hormigón.
ASTM C 143	Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Hormigón de Cemento Hidráulico.
ASTM C 172	Práctica para Muestreo de Hormigón Mezclado Fresco.
ASTM C 173	Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Aire del Hormigón Mezclado Fresco por el Método Volumétrico.
ASTM C 191	Método de Ensayo para Determinar el Tiempo de Fraguado del Cemento Hidráulico por la Aguja de Vicat.
ASTM C 231	Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Aire del Hormigón Mezclado Fresco por el Método de Presión.
ASTM C 260	Especificación para Aditivos Incorporadores de Aire para Hormigón.
ASTM C 293	Método estándar de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (Usando una viga simple con carga en el punto central)
ASTM C 330	Especificación para Áridos Livianos para Hormigón Estructural.
ASTM C 494	Especificación para Aditivos Químicos para Hormigón.
ASTM C 496	Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión diametral de especímenes de hormigón cilíndricos
ASTM C 567	Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Hormigón Estructural Liviano.
ASTM C 618	Especificación para Ceniza Volante y Puzolana Natural Cruda o Calcinada para Uso como Adición Mineral en Hormigón de Cemento Portland.
ASTM C 989	Especificación para Escoria de Alto Horno Granulada Molida para Uso en Hormigón y Morteros.
ASTM C 1017	Especificación para Aditivos Químicos para Uso en la Producción de Hormigones Fluidos.
ASTM C 1064	Método de Ensayo para Determinar la Temperatura de Mezclas Frescas de Hormigón de Cemento Portland.
ASTM C 1077	Práctica para Laboratorios de Ensayo de Hormigón y Áridos para Hormigón para Uso en Construcción y Criterio para Evaluación del Laboratorio.
ASTM D 512	Métodos de Ensayo para Determinar el Ion Cloro en el Agua.
ASTM D 516	Métodos de Ensayo para Determinar el Ion Sulfato en el Agua.
AASHTO T 26	Método de Ensayo para Determinar la Calidad del Agua a ser Usada en Hormigón
BS 1881 Part.105	Método para Determinación del Flujo
ACI 211.1R	Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para Hormigón Normal, Pesado y en Masa.

ACI 211.2R	Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para Hormigón Estructural Ligero
ACI 301 R	Especificaciones Estándar para Hormigón Estructural para Edificaciones
ACI 304 R	Guía para Medición, Mezclado, Transporte y Colocado de Hormigón
ACI 305 R	Hormigonado en Clima Cálido
ACI 306 R	Hormigonado en Clima Frío
ACI 308 R	Práctica Estándar para Curado del Hormigón
ACI 309 R	Guía para Consolidación del Hormigón
ACI 318	Código de Construcción, Requisitos para Hormigón Estructural y Comentarios.

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma ASTM C 94 Especificaciones Estándar para Hormigón Premezclado. Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, Filadelfia 1 999.

Norma Colombiana ICONTEC 3318. Ingeniería Civil y Arquitectura, Concreto premezclado. ICONTEC, Bogotá, 1.994.

ASTM

Designación: C 39 - 05

Método Estándar de Ensayo para Determinar la RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGON

1. Propósito

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón tales como cilindros colados o núcleos extraídos por perforación. Está limitado a hormigón que tenga una masa unitaria mayor de 800 kg/m³.

Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. (Advertencia – Deben proveerse mecanismos para contener fragmentos de hormigón durante la rotura súbita de las muestras. La tendencia a la rotura súbita aumenta con el incremento de la resistencia del hormigón y es más probable cuando la máquina de ensayo es relativamente flexible. Las precauciones de seguridad dadas en el Manual de Ensayos de Hormigón y Granulados se recomiendan.)

2. Documentos de Consulta

2.1 Normas de la ASTM:

- C 31 Práctica para Fabricar y Curar Especímenes de Hormigón para Ensayo en el Campo.
 - C 42 Método para Obtener y Ensayar Núcleos Extraídos con Taladro y Vigas Cortadas de Hormigón.
 - C 192 Práctica para Fabricar y Curar, en el Laboratorio, Muestras de Hormigón para Ensayo.
 - C 617 Práctica para Coronar Especímenes Cilíndricos de Hormigón.
 - C 670 Práctica para Preparar Declaraciones de Precisión y Desviación para Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción.
 - C 873 Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón Colados en Sitio en Moldes Cilíndricos.
 - C 1077 Práctica para Laboratorios que Ensayan Hormigón y Granulados para Hormigón para Uso en la Construcción y Criterio para Evaluación de Laboratorios.
 - C 1231 Práctica para Uso de Casquetes no Adheridos en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón Duro.
 - E 4 Práctica para Verificación de la Carga de Máquinas de Ensayo.
 - E 74 Práctica para Calibración de Instrumentos Medidores de Fuerzas para Verificar los Indicadores de Carga de las Máquinas de Ensayo.
- Manual de Ensayo de Hormigón y Granulados.

2.2 Instituto Americano del Hormigón:

CP-16 Técnico de Ensayos de Laboratorio de Hormigón, Grado I.

3. Sumario del Método de Ensayo

3.1 Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad que está dentro de un rango prescrito, hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo para la sección transversal del espécimen.

4. Significado y Uso

4.1 Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión por este método de ensayo, ya que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón hecho con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma de la muestra, amasado, procedimientos de mezclado, métodos de muestreo, vaciado y fabricación y la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

4.2 Este método de ensayo es utilizado para determinar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas preparadas y curadas de acuerdo con las Prácticas C 31, C 192, C 617 y C 1231 y los Métodos de Ensayo C 42 y C 873.

4.3 Los resultados de este método de ensayo son utilizados como una base para control de calidad de la dosificación, mezclado, y operaciones de colado del hormigón, determinación del cumplimiento de especificaciones; control para evaluar la efectividad de aditivos, y usos similares.

4.4 El individuo que ensaya cilindros de hormigón para pruebas de aceptación debe cumplir los requisitos para técnico de laboratorio de hormigón de la Práctica C 1077 incluyendo un examen que requiere una demostración de rendimiento que es evaluado por un examinador independiente.

Nota 1.- Una certificación equivalente a las pautas mínimas para Técnico de Laboratorio de Hormigón del ACI, Nivel I o Técnico de Ensayos de Resistencia del Hormigón ACI satisfarán este requisito.

5. Equipo

5.1 *Máquina de Ensayo.*- La máquina de ensayo tendrá la capacidad suficiente y la posibilidad de proporcionar las ratas de carga prescritas en 7.5.

5.1.1 Verifique la calibración de las máquinas de ensayo de acuerdo con la Práctica E 4 excepto que el rango de carga verificado debe ser como se requiere en 5.3. La verificación se requiere bajo las siguientes condiciones:

5.1.1.1 Por lo menos anualmente pero que no se exceda de trece meses.

5.1.1.2 En la instalación original o relocalización de la máquina.

5.1.1.3 Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que podrían en alguna forma afectar la operación del sistema de aplicación de la carga de la máquina o los valores registrados en el sistema de indicación de la carga, excepto para los ajustes de cero que compensan la masa de los bloques de apoyo, o de la muestra, o ambos, o

5.1.1.4 Cuando quiera que haya razón para dudar de la exactitud de las cargas indicadas.

5.1.2 *Diseño.*- El diseño de la máquina debe incluir los siguientes aspectos:

5.1.2.1 La máquina debe ser operada por fuerza motriz y debe aplicar la carga continuamente y no intermitentemente, y sin impactos. Si tiene una sola velocidad de carga (que cumpla los requerimientos de 7.5), debe estar provista con un medio suplementario para cargar a una rata adecuada para verificación. Este medio suplementario de aplicar la carga puede ser operado con fuerza motriz o manualmente.

5.1.2.2 El espacio previsto para las muestras de ensayo será suficientemente grande para acomodar en posición legible un aparato de calibración elástico que sea de suficiente capacidad para cubrir el rango potencial de carga de la máquina de ensayo y que cumpla con los requerimientos de las Prácticas E 74.

Nota 2.- El tipo de aparato de calibración elástico más generalmente disponible y más comúnmente utilizado para este propósito es el anillo de prueba circular o celda de carga.

5.1.3 *Precisión.*- La precisión de la máquina de ensayo estará en concordancia con los siguientes requisitos:

5.1.3.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango de uso de la máquina de ensayo no excederá de $\pm 1,0$ % de la carga indicada.

5.1.3.2 La precisión de la máquina de ensayo será verificada aplicando cinco cargas de ensayo en cuatro incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera no excederá de un tercio de la diferencia entre las cargas de ensayo máxima y mínima.

5.1.3.3 La carga de ensayo, indicada por la máquina de ensayo y la carga aplicada, calculada de las lecturas del aparato de verificación, serán registradas en cada punto del ensayo. Calcule el error E y el porcentaje de error E_p para cada punto de estos datos, como sigue:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100 (A - B)/B$$

donde:

A =carga, kN indicados por la máquina que está siendo verificada, y

B = carga aplicada, kN conforme es determinada por el aparato de calibración.

5.1.3.4 El informe de la verificación de una máquina de ensayo establecerá dentro de que rango de carga se encontró que cumple con los requerimientos de la especificación, en vez de reportar una aceptación o rechazo incondicional. En ningún caso se estipulará el intervalo de cargas como que incluye cargas que estén bajo el valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda estimar en el mecanismo de lectura de cargas de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella fracción del rango bajo el 10 % de la máxima capacidad de intervalo.

5.1.3.5 En ningún caso se estipulará el intervalo de cargas incluyendo cargas fuera del intervalo de cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.

5.1.3.6 La carga indicada de una máquina de ensayo no será corregida ni por cálculo ni por el uso de un diagrama de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible.

5.2 La máquina de ensayo estará equipada con dos bloques de apoyo de acero con superficies endurecidas (Nota 3), uno de los cuales es un bloque asentado en una semiesfera que se apoyará en la cara superior de la muestra y el otro un bloque sólido sobre el cual la muestra

descansará. Las caras de apoyo de los bloques tendrán una dimensión mínima por lo menos 3 % más grandes que el diámetro de la muestra a ser ensayada. Excepto por los círculos concéntricos descritos abajo, las caras de apoyo no se desviarán de un plano en más de 0,025 mm en 152 mm para bloques de 152 mm de diámetro o mayores, o en más de 0,025 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño; y los nuevos bloques serán fabricados con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara de apoyo del bloque articulado excede el diámetro de la muestra en más de 13 mm se inscribirán círculos concéntricos de no más de 0,8 mm de profundidad y de no más de 1,2 mm de ancho para facilitar un apropiado centrado.

Nota 3.- Es deseable que las caras de apoyo de los bloques utilizados para ensayos de compresión de hormigón tengan una dureza Rockwell no menor a NDR C55.

5.2.1 Los bloques de apoyo inferior cumplirán los siguientes requerimientos:

5.2.1.1 El bloque de apoyo inferior está especificado con el propósito de suministrar una superficie fácilmente maquinable para mantenimiento de las condiciones de superficie especificadas (Nota 4). Las superficies superior e inferior serán paralelas entre ellas. El bloque puede ser sujetado a la placa de la máquina de ensayo. Su menor dimensión horizontal será por lo menos 3 % más grande que el diámetro de la muestra a ser ensayada. Círculos concéntricos como los descritos en 5.2 son opcionales en el bloque inferior.

Nota 4 – El bloque puede estar sujeto a la placa de la máquina de ensayo.

5.2.1.2 El centrado final debe hacerse con referencia al bloque superior articulado. Cuando el bloque inferior es utilizado para ayudar al centrado del espécimen, el centro de los anillos concéntricos, cuando hayan, o el centro del bloque mismo deberá estar directamente bajo el centro de la cabeza esférica. Se realizarán previsiones en la placa de la máquina para asegurar tal posición.

5.2.1.3 El bloque de apoyo inferior será de por lo menos 25 mm de grueso cuando nuevo y por lo menos 22,5 mm de grueso después de cualquier operación para rehacer la superficie.

5.2.2 El bloque de apoyo asentado en una esfera se sujetará a los siguientes requerimientos:

5.2.2.1 El diámetro máximo de la cara de apoyo del bloque suspendido sujeto a una esfera, no excederá de los valores dados abajo:

Diámetro de la Muestra de Ensayo (mm)	Diámetro Máximo de la Cara de Apoyo (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Nota 5.- Caras de apoyo cuadradas son permisibles a condición de que el diámetro del mayor círculo inscrito no exceda el diámetro indicado arriba.

5.2.2.2 El centro de la esfera coincidirá con la superficie de la cara de apoyo dentro de una tolerancia de ± 5 % del radio de la esfera. El diámetro de la esfera será por lo menos 75 % del

diámetro de la muestra a ser ensayada.

5.2.2.3 La bola y la unión de encastre serán diseñados por el fabricante de manera que el acero en el área de contacto no se deforme permanentemente bajo el uso repetido, con cargas de hasta la capacidad de la máquina de ensayo.

Nota 6.- El área de contacto preferible tiene la forma de un anillo (descrita como área "de apoyo" preferible) como se muestra en la Fig. 1.

5.2.2.4 Las superficies curvadas de la unión de encastre y la porción esférica se mantendrán limpias y serán lubricadas con un aceite tipo petróleo tal como un aceite de motor convencional, no con una grasa tipo presión. Después de ponerse en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, el posterior basculamiento del bloque sujeto a la esfera no está proyectado y no es deseable.

5.2.2.5 Si el radio de la esfera es más pequeño que el radio de la mayor muestra a ser ensayada, la porción de la cara de apoyo que se extiende más allá de la esfera tendrá un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio de la muestra. La menor dimensión de la cara de apoyo será por lo menos tan grande como el diámetro de la esfera (vea la Fig. 1).

5.2.2.6 La parte móvil del bloque de apoyo se mantendrá estrechamente cerca del asiento esférico, pero el diseño será tal que la cara de apoyo pueda rotar libremente y bascular por lo menos 4° en cualquier dirección.

5.2.2.7 Si la parte esférica del bloque de apoyo superior tiene un diseño de dos piezas compuesto de una parte esférica y una placa de apoyo, debe proveerse un medio mecánico para asegurar que la parte esférica está fijada y centrada en la placa de apoyo.

5.3 *Indicación de la Carga:*

5.3.1 Si la carga de una máquina de compresión utilizada para ensayar hormigón es registrada en un dial, el dial estará provisto de una escala graduada que pueda ser leída a por lo menos el 0,1 % más cercano de la carga de la escala total (Nota 7). El dial será legible dentro del 1 % de la carga indicada en cualquier nivel de carga dado dentro del rango de carga. En ningún caso el rango de carga del dial será considerado que incluye cargas bajo el valor que es 100 veces el menor cambio de carga que se pueda leer en la escala. La escala estará provista de una línea de graduación igual a cero y así numerada. El puntero del dial será de suficiente longitud para alcanzar las marcas de graduación; el espesor del extremo del puntero no excederá la distancia libre entre las más pequeñas graduaciones. Cada dial estará equipado con un ajustador de cero que sea fácilmente accesible desde el exterior de la caja del dial y con un aparato apropiado que en todo momento, hasta que se vuelva a encerrar, indicará con hasta el 1 % de exactitud, la carga máxima aplicada a la muestra.

Nota 7.- Lo más pequeño, que se pueda razonablemente leer, se considera que es 0,5 mm a lo largo del arco descrito por el extremo del puntero. También, un medio del intervalo de la escala es alrededor de lo más pequeño que se pueda razonablemente leer cuando el espaciamiento del mecanismo indicador de la carga está entre 1 mm y 2 mm. Cuando el espaciamiento está entre 2 y 3 mm, un tercio del intervalo de la escala puede ser leído con certeza razonable. Cuando el espaciamiento es 3 mm o más, un cuarto del intervalo de la escala puede ser leído con certeza razonable.

5.3.2 Si la carga de la máquina de ensayo está indicada en forma digital, la exhibición de

los números deberá ser lo suficientemente grande para ser fácilmente legible. Los incrementos numéricos deberán ser iguales o menores que 0,10 % de la escala de carga total de un rango de carga dado. En ningún caso, el rango verificado de carga incluirá cargas menores que el mínimo incremento numérico multiplicado por 100. La precisión de la carga indicada deberá estar dentro del 1,0 % para cualquier valor exhibido dentro del rango de carga verificado. Previsiones deberán realizarse para ajustes, para indicar el verdadero cero a una carga cero. Se dispondrá un indicador de carga máxima que en todo momento, hasta volver a encerrar, indicará dentro del 1 % de la precisión del sistema, la carga máxima aplicada a la muestra.

6. Especímenes

6.1 Las muestras no serán ensayadas si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2 %.

Nota 8.- Esto puede ocurrir cuando los moldes de un solo uso son dañados o deformados durante el embarque, cuando los moldes flexibles de un solo uso son deformados durante el vaciado, o cuando una perforadora de núcleos fleja o se corre durante el perforado.

6.2 Previo al ensayo, ningún extremo de las muestras de ensayo, se desviarán de la perpendicular al eje en más de 0,5° (aproximadamente equivalente a 1 mm en 100 mm. Los extremos de muestras de ensayo a compresión que no están planas dentro de 0,050 mm serán cortados o esmerilados para cumplir con esa tolerancia, o coronados de acuerdo con la Práctica C 617 o cuando esté permitido con la Práctica C1231. El diámetro utilizado para calcular el área de la sección transversal de la muestra de ensayo será determinado con una aproximación de 0,25 mm, promediando dos diámetros medidos a ángulos rectos entre ellos a alrededor de la mitad de la altura del espécimen.

6.3 El número de cilindros individuales medidos para determinación del diámetro promedio puede reducirse a uno para cada diez muestras o tres muestras por día, el que sea más grande, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos de un solo lote de moldes reusables o de un solo uso que consistentemente producen muestras con diámetros promedio dentro de un rango de 0,5 mm. Cuando los diámetros promedio no caen dentro del rango de 0,5 mm o cuando los cilindros no son hechos de un solo lote de moldes, cada cilindro ensayado debe ser medido y este valor utilizado al calcular la resistencia a la compresión unitaria para esa muestra. Cuando los diámetros son medidos a la frecuencia reducida, las áreas de la sección transversal de todos los cilindros ensayados en ese día serán calculados de los diámetros promedios de los tres o más cilindros representativos del grupo ensayado ese día.

6.4 Si el comprador de los servicios de ensayo pide la medición de la densidad de las muestras de ensayo, determine la masa de las muestras antes de coronarlas. Retire cualquier humedad superficial con una toalla y mida la masa del espécimen utilizando una balanza precisa dentro de 0,3 % de la masa que está siendo medida. Mida la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm en tres lugares espaciados igualmente alrededor de la circunferencia. Calcule la longitud promedio y regístrela con una aproximación de 1 mm. Alternativamente determine la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego sumergido en agua a $23 \pm 2,0$ °C y calcule el volumen de acuerdo con 8.3.1.

6.5 Cuando la determinación de la densidad no se requiere y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1,8 o más de 2,2 mida la longitud de la muestra con una aproximación de 0,05D.

7. Procedimiento

7.1 Los ensayos de compresión de muestras curadas húmedas serán realizados tan pronto como sea practicable después de retirarlas del almacenamiento húmedo.

7.2 Las muestras de ensayo serán mantenidas húmedas por cualquier método conveniente durante el período entre el retiro del almacenamiento húmedo y el ensayo. Ellas deben ser ensayadas en condición húmeda.

7.3 Todas las muestras de ensayo para una edad de ensayo dada serán rotas dentro de las tolerancias de tiempo permisibles prescritas como sigue:

Edad de Ensayo	Tolerancias Permisibles
24 horas	0,5 h o 2,1 %
3 días	2,0 h o 2,8 %
7 días	6,0 h o 3,6 %
28 días	20,0 h o 3,0 %
90 días	2 días o 2,2 %

7.4 *Colocado de la Muestra.*- Coloque el bloque de apoyo liso (inferior), con su cara endu-recida hacia arriba, sobre la mesa o placa de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo asentado en esfera (superior). Frote y limpie las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y de la muestra de ensayo y coloque la muestra de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Cuidadosamente alinee el eje de la muestra con el centro de sujeción del bloque sujeto a la esfera.

7.4.1 Verificación del Cero y Ajuste del Bloque – Antes de ensayar el espécimen, verifique que el indicador de carga esta colocado en cero. En los casos en que el indicador no está apropiadamente colocado en cero, ajuste el indicador (ver Nota 9). Mientras el bloque asentado en la esfera se pone en contacto sobre la muestra, rote su parte móvil suavemente con la mano de manera que se obtenga un asiento uniforme.

Nota 9 – Las técnicas empleadas para verificar y ajustar el indicador de carga en cero variarán dependiendo del fabricante de la máquina. Consulte su manual de usuario o calibrador de la máquina de compresión para la técnica apropiada.

7.5 *Velocidad de Carga.*- Aplique la carga en forma continua y sin golpes.

7.5.1 La carga será aplicada a una velocidad de movimiento (medida entre la placa y la cabeza transversal), correspondiente a una rata de carga sobre una muestra de 0,25 a 0,05 MPa/s. (ver la Nota 10). La velocidad de movimiento escogida será mantenida por lo menos durante la última mitad de la fase anticipada de carga.

Nota 10 – Para una máquina de ensayo accionada por tornillo o de desplazamiento controlado, serán necesarios ensayos preliminares para establecer la rata requerida de movimiento para obtener la rata especificada de esfuerzo. La rata requerida de movimiento dependerá del tamaño del espécimen de ensayo, del módulo elástico del hormigón y de la rigidez de la máquina de ensayo.

7.5.2 Durante la aplicación de la primera mitad de la fase anticipada de carga se permite

una mayor velocidad de carga. La mayor velocidad de carga será aplicada de manera controlada de modo que la muestra no esté sujeta a una carga de impacto.

7.5.3 No haga ningún cambio en la velocidad de movimiento de la placa mientras se aproxima a la carga máxima y la rata de esfuerzo disminuye debido a la fisuración en la muestra.

7.6 Aplique la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que carga está disminuyendo positivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (tipos 1 a 4 de la Figura 2). Para una máquina de ensayo equipada con un detector de fractura de la muestra, el apagado automático de la máquina de ensayo está prohibido hasta que la carga haya caído a un valor que es menor que el 95 % de la carga pico. Cuando se ensaya con casquetes sin pegar, puede ocurrir una fractura en una esquina similar al patrón Tipo 5 o 6 antes que la capacidad máxima de la muestra se haya alcanzado. Continúe comprimiendo la muestra hasta que el usuario esté seguro que la capacidad máxima se ha obtenido. Anote la carga máxima resistida por la muestra durante el ensayo, y registre el patrón de fractura de acuerdo con la Fig. 2. Si el patrón de fractura no es uno de los patrones típicos mostrados en la Fig. 2, esboce y describa brevemente la forma de la fractura. Si la resistencia medida es menor que la esperada, examine el hormigón fracturado y anote: la presencia de grandes vacíos de aire, evidencia de segregación, si la fractura pasa predominantemente alrededor o a través de las partículas de granulado grueso y verifique si la preparación de las bases estuvo de acuerdo con la Práctica C 617 o la Práctica C 1231.

8. Cálculos

8.1 Calcule la resistencia a la compresión de la muestra, dividiendo la máxima carga soportada por el espécimen, durante el ensayo, para el área promedio de la sección transversal, determinada como se describe en la Sección 6 y exprese el resultado con una aproximación de 0,1 MPa.

8.2 Si la relación del largo al diámetro de la muestra es 1,75 o menos, corrija el resultado obtenido en 8.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la siguiente tabla (ver Nota 11)

L/D:	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

Utilice interpolación para determinar los factores de corrección para valores de L/D entre aquellos dados en la tabla.

Nota 11.- Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como condiciones de humedad, niveles de resistencia, y módulo de elasticidad. Estos factores de corrección son aplicables a hormigón ligero que pese entre 1.600 y 1.920 kg/m³ y a hormigón de masa normal. Son aplicables a hormigón seco o saturado en el momento del ensayo y para resistencias nominales del hormigón desde 14 a 42 MPa. Para resistencias mayores a 42 MPa, los factores de corrección pueden ser mayores a los valores listados arriba.

8.3 Cuando se requiera calcule la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg./m³ como sigue:

$$\text{Densidad} = W/V$$

donde:

W = masa de la muestra kg, y

V = volumen de la muestra calculado con el diámetro promedio y la longitud promedio o de la masa del cilindro en el aire y sumergido en el agua, m³

8.3.1 Cuando el volumen es determinado de la muestra sumergida, calcule el volumen como sigue:

$$V = (W - W_s) / \gamma_w$$

donde:

W_s = masa aparente de la muestra sumergida kg y

γ_w = densidad del agua a 23 °C = 997,5 kg/m³

9. Informe

9.1 Reporte la siguiente información:

9.1.1 Número de identificación

9.1.2 Diámetro (y longitud si está fuera del rango de 1,8D a 2,2D), en milímetros.

9.1.3 Área de la sección transversal en milímetros cuadrados.

9.1.4 Carga máxima en kilonewtones.

9.1.5 Resistencia a la compresión calculada con una aproximación de 0,1 MPa.

9.1.6 Tipo de fractura, si es otra que el cono usual (vea la Fig. 2).

9.1.7 Defectos en la muestra o en los casquetes y

9.1.8 Edad de la muestra.

9.1.9 Cuando se haya determinado, la densidad con una aproximación de 10 kg/m³

10. Precisión y Desviación

10.1 *Precisión.*-

10.1.1 La siguiente tabla proporciona la precisión para un solo operador de ensayos de cilindros de 150 por 300 mm y de 100 por 200 mm hechos de una muestra bien mezclada de hormigón bajo condiciones de laboratorio y bajo condiciones de campo (vea 10.1.2).

	Coeficiente de Variación	Rango Aceptable ^A de resistencias de cilindros individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
150 x 300 mm	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de laboratorio			
Condiciones de campo	2,9 %	8,0 %	9,5 %
100 x 200 mm	3,2 %	9,0 %	10,6 %
Condiciones de Laboratorio			

^A Estos números representan respectivamente los límites (1s) y (d_{2s}) como se describen en la Práctica C 670

10.1.2 El coeficiente de variación de un solo laboratorio representa la variación esperada de las resistencias medidas de cilindros compañeros preparados de la misma muestra de hormigón y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para el coeficiente de variación de un solo ensayo de cilindros de 150 x 300 mm son aplicables para resistencias a la compresión entre 15 y 55 Mpa y aquellos para cilindros de 100 x 200 mm son aplicables para resistencias a la compresión entre 17 y 32 Mpa. El coeficiente de variación dentro de un ensayo para cilindros de 150 x 300 mm están derivados de data de muestras maestras de hormigón del CCRL para condiciones de laboratorio.

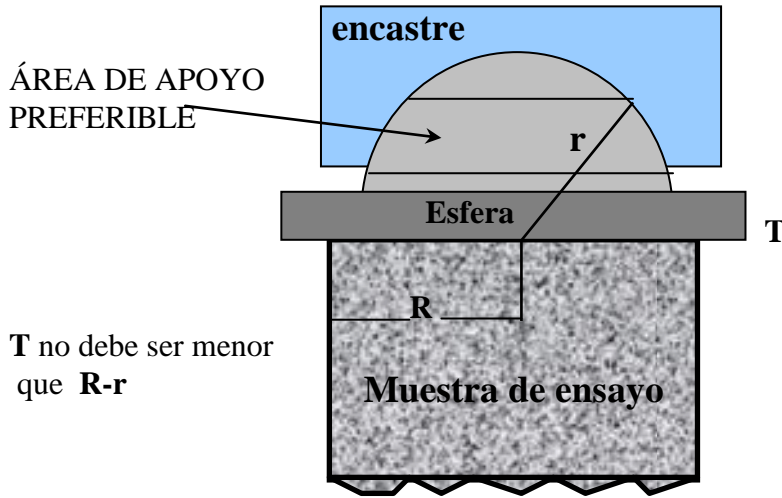
10.1.3 *Precisión Multilaboratorio* – El coeficiente de variación multilaboratorio para resultados de ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de 150 x 300 mm se ha encontrado que es 5,0 %; entonces los resultados de ensayos apropiadamente realizados por dos laboratorios en especímenes preparados con la misma muestra de hormigón no se espera que difieran en más de 14 % del promedio (ver la Nota 12). Un resultado de ensayo de resistencia es el promedio de dos cilindros ensayados a la misma edad.

Nota 12 – La precisión multilaboratorio no incluye variaciones asociadas con diferentes operadores preparando muestras de ensayo de muestras independientes o separadas de hormigón. Estas variaciones se espera que aumenten el coeficiente de variación multilaboratorio.

10.1.4 Los datos multilaboratorio fueron obtenidos de seis programas organizados separadamente (strength testing round robin) donde muestras cilíndricas de 150 x 300 mm fueron preparadas en una sola localidad y ensayados por diferentes laboratorios. El rango de resistencias promedio de estos programas fue de 17 a 90 Mpa.

Nota 13 – El Subcomité C09.61 continuará examinando datos de muestras patrón de hormigón recientes y datos de ensayos de campo y realizando revisiones a las declaraciones de precisión cuando los datos indiquen que se pueden expandir para cubrir un más amplio rango de resistencias y tamaños de muestras.

10.2 *Desviación* – Ya que no hay material de referencia aceptable, ninguna declaración sobre la desviación se realiza.



Nota.- Se tomarán precauciones para sostener la bola en el encastre y para sujetar la unidad entera en la máquina de ensayo.

T no debe ser menor que R-r

Fig. 1 Croquis Esquemático de un Típico Bloque de Apoyo Sujeto a una Esfera

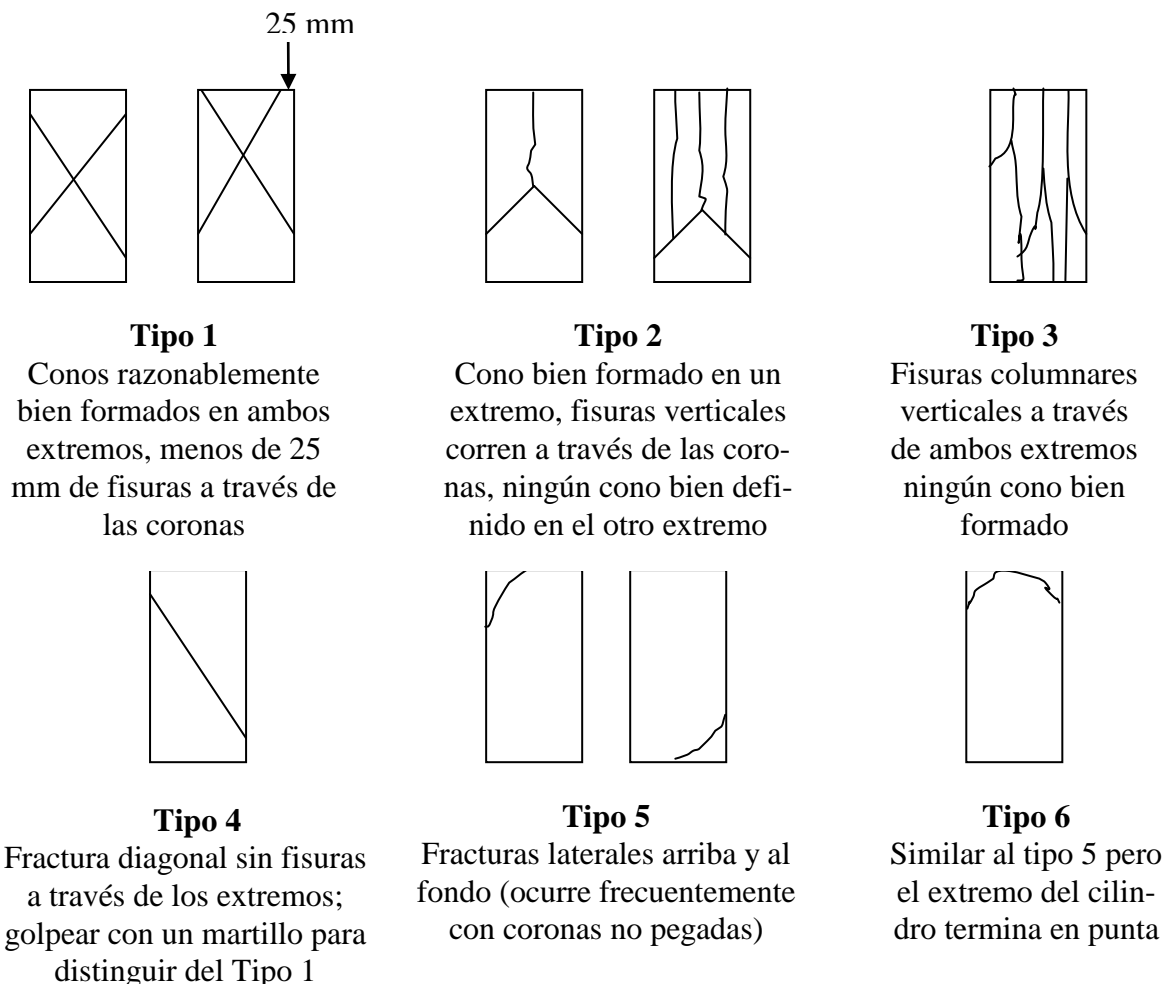


Fig. 2 Esquema de Patrones de Fractura Típicos

TEMPERATURA DEL HORMIGÓN FRESCO

(RESUMEN ASTM C 1064)

1. ALCANCE

Este método de prueba permite medir la temperatura de mezclas de hormigón recién mezclado, dosificado con cemento pòrtland. Puede usarse para verificar que el hormigón satisfaga requerimientos específicos de temperatura. (Párr. 3.1)

En hormigones con tamaño máximo de agregado mayor a 3 pulgadas (75 mm) podrá requerir hasta 20 minutos para transferir el calor del agregado al mortero. (Párr. 3.2)

2. EQUIPO.

2.1 Recipiente.- Debe estar elaborado de un material no absorbente y debe tener dimensiones tales que permitan un recubrimiento de al menos 3 pulgadas (75 mm) de hormigón en todas las direcciones alrededor del sensor medidor de temperatura. La cantidad de hormigón que debe cubrir, tiene que ser mínimo tres veces el tamaño máximo del agregado grueso.



2.2 Medidor de temperatura.- Debe de ser calibrado para medir la temperatura del hormigón recién mezclado con una variación de $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), dentro de un rango entre 30°F a 120°F (0°C a 50°C). El dispositivo que mide la temperatura (sensor) requerirá la inmersión de 3 pulgadas (75 mm) o más en el hormigón, durante la operación. (Párr. 4.2)



2.3 Calibración del medidor de temperatura.- El aparato medidor de temperatura debe calibrarse anualmente o cuando se tenga duda de su grado de exactitud. (Párr. 5.1)

La calibración de los medidores de temperatura puede ser realizada en aceite u otras inmersiones que tenga densidad uniforme, si este esta provisto para:

- Mantener la temperatura de la inmersión constante en (0.2 °C) durante el período de la prueba. (Párr. 5.2.1)
- Mantener la temperatura y el medidor de temperatura inmersos por un mínimo de cinco minutos antes de tomar lectura. (Párr. 5.2.2)
- Mover continuamente la cantidad de agua para mantener la temperatura uniforme. (Párr. 5.2.3)

Abrir poco a poco la tapa del termómetro para evitar la adherencia de líquido en las paredes del vidrio si la temperatura disminuye. (Párr. 5.2.4)

3. MUESTRA.

- La temperatura de la mezcla de hormigón puede medirse en el equipo de transporte, si es que el aparato medidor esta cubierto por al menos 3 pulgadas de hormigón (75 mm) en todas las direcciones. (Párr. 6.1)
- La temperatura de la mezcla de hormigón puede obtenerse después de vaciar el hormigón.
- Si no se mide la temperatura en el equipo de transporte, debe prepararse una muestra como se indica a continuación: (Párr. 6.2)
 - Humedezca (con agua) el recipiente en el que obtendrá la muestra del hormigón. (Párr. 6.2.1)
 - Obtenga una muestra de hormigón recién mezclado según la norma **ASTM C172**. (Párr. 6.2.2)
 - Coloque el hormigón recién mezclado en el recipiente no absorbente. (Párr. 6.2.3)
- Cuando el hormigón contenga agregados de tamaño máximo nominal mayor a 3 pulgadas (75 mm), puede requerir 20 minutos antes de que la temperatura se estabilice.

4. PROCEDIMIENTO

1. Obtener una muestra de hormigón dentro de un contenedor no absorbente, de tamaño suficiente para proveer un mínimo de 3 pulg. (75 mm) de hormigón alrededor del sensor de temperatura en todas las direcciones, (Párr. 4.1)

2. Utilizar un termómetro con una exactitud de $\pm 1^\circ\text{F}$ ($\pm 0.5^\circ\text{C}$), e intervalo de temperatura de 30°F a 120°F (0 o a 50°C). (Párr. 4.2)

3. Colocar el termómetro dentro de la muestra cubriendo el sensor con un mínimo de 3 pulg. (75 mm) en todas las direcciones. Cierre desde la izquierda presionando con delicadeza el concreto alrededor del medidor de temperatura en la superficie del concreto para así prevenir que la temperatura ambiente afecte la lectura en el instrumento. (Párr.7.1)



4. Tomar la lectura de temperatura después de un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice, luego lea y registre. (Párr. 7.2)

5. Completar la medición de la temperatura dentro de 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra compuesta. Excepto para concretos que contiene un tamaño máximo nominal de agregado mayor a 3 pulgadas (75 mm). (Párr. 7.3)

6. Registrar la temperatura con una precisión de 1°F ($.5^\circ\text{C}$) (Párr. 8.1)

5. REPORTE

Registre la temperatura del hormigón recién mezclado con una precisión de 1°F (0.5°C). (Párr. 8.1).

6. CONSIDERACIONES GENERALES.

Tiempo: 5 minutos para realizar el ensayo y mínimo 2 minutos para que la lectura se estabilice. En el caso de hormigones con agregados mayores a 3 pulgadas se podrá requerir hasta 20 minutos.

NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA

COGUANOR
NTG 41087 h2

Métodos de Ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto.

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma EN 1338:2003, anexos G y H en la cual está basada e incluye la denominación propia de las normas técnicas guatemaltecas.

Aprobada 2012-08-17

Adoptada Consejo Nacional de Normalización:



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Edificio Centro Nacional de Metrología Referencia
Calzada Atanasio Azul 27-32, zona 12
Teléfonos: (502) 2247-2600
Fax: (502) 2247-2687
www.mineco.gob.gt
info-coguanor@mail.mineco.gob.gt

Índice

	Página
1 Objeto.....	5
2 Documentos citados.....	5
3 Método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho	5
4 Calibración del aparato.....	9
5 Preparación del espécimen.....	12
6 Procedimiento de ensayo mediante disco metálico ancho.....	12
7 Medición de la huella de desgaste.....	13
8 Resultados del ensayo de abrasión por disco metálico ancho.....	13
9 Informe del ensayo mediante disco metálico ancho.....	14
10 Método de ensayo Böhme.....	14
11 Preparación de las probetas.....	16
12 Procedimiento ensayo Böhme.....	14
13 Cálculo de resultados del ensayo.....	18
14 Informe del ensayo Böhme.....	18
15 Descriptores.....	18

Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR, preocupada por el desarrollo de la actividad productiva de bienes y servicios en el país, ha armonizado las normas internacionales.

El estudio de esta norma, fue realizado a través del Comité Técnico de Normalización de Concreto (CTN Concreto), con la participación de:

Ing. Emilio Beltranena Matheu
Coordinador de Comité

Ing. Luis Álvarez Valencia
Representante Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala

Ing. Héctor Herrera
Representante COGUANOR

Ing. Marlon Alexander Portillo Matta
Representante MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA

Arq. Fernando Erales
Representante AGREGUA

Arq. Luis Fernando Salazar
Representante Facultad Arquitectura-USAC

Ing. Rommel Ramírez
Representante CEMEX

Ing. Ramiro Callejas Montufar
Representante FHA

Ing. Sergio V. Quiñónez
Representante PRECÓN

Ing. Orlando Quintanilla
Representante FHA

Ing. Joaquín Rueda Santoyo

Representante CEMENTOS PROGRESO

Ing. Juan Carlos Galindo
Representante PISOS CASA BLANCA

Gabriel Granados
Representante PRECSA

Ing. Jaime Samayoa
Representante PRECÓN

Ing. Sergio Sevilla
Representante PREFABRICADOS CIFA

Ing. Oscar Sequeira Hidalgo
Representante MEGAPRODUCTOS

Ing. Vicente Augusto Mazariegos Rodríguez
Representante Colegio de Ingenieros de Guatemala

Ing. Roberto Chang Campang
Representante Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES

Ing. Dilma Mejicanos Jol
Representante Centro de Investigaciones de Ingeniería-USAC

Ing. Estuardo Herrera Rodas
Representante ICCG

Arq. Paulo César Castro Barrientos
Representante MACROMIX

Ing. Amín Moguel Leiva
Representante SIKA

Ing. William Olivero León
Representante CEMENTOS PROGRESO, S.A.

Manuel Sacrab
Representante INMOBILIARIA LA ROCA, S.A.

Ing. Armando José Díaz Aldana
Representante MACROMIX

1. Objeto

1.1 Esta norma establece los métodos de ensayo para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, mediante el ensayo de disco ancho metálico descrito en sección 3, o mediante el ensayo de Böhme, descrito en sección 10.

2. Documentos citados

NTG 41086	Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones.
ASTM A36	Acero estructural al carbono. Especificaciones.
UNE EN: 1338	Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo.

3. Método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho.

3.1 Generalidades. El ensayo consiste en someter un espécimen (antes de su incorporación en un piso o pavimento, o extraído de un piso o pavimento ya construido), a desgaste por medio de la abrasión ejercida, bajo condiciones controladas, por un flujo de material abrasivo que pasa tangencialmente por entre dicha superficie y la cara lateral de un disco metálico, que ejerce presión contra ella. Esto genera una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico, cuya longitud resultante es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión, que posee el espécimen.

3.2 Equipo de desgaste de disco ancho metálico

3.2.1 Partes fundamentales

3.2.1.1 La máquina de desgaste (véase figura 1), debe estar compuesta, esencialmente, por: el disco metálico (1), para forzar el material abrasivo contra el espécimen de ensayo (2), una tolva para el almacenamiento del material abrasivo (3), con una válvula de control (4) que regula la salida del material abrasivo; una tolva que guía el flujo de este material (5), un carro porta especímenes (6), con un sujetador (7) para los especímenes; y un contrapeso (8). Adicionalmente, se puede contar con: una tolva, para la recolección del abrasivo ya utilizado (9); y los sistemas que sean necesarios para nivelar y alinear los especímenes (10).

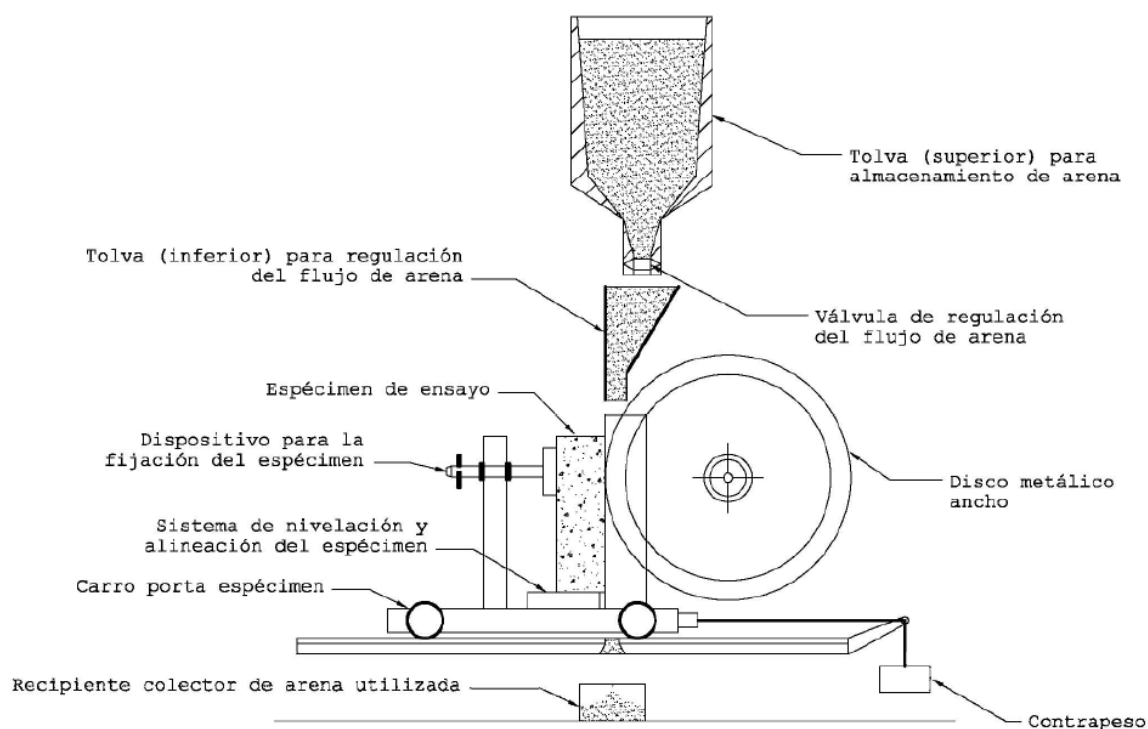


Figura 1. Partes fundamentales de la máquina para la prueba de desgaste de los adoquines

3.2.2 Disco metálico

3.2.2.1 El disco metálico debe ser de acero A36 (que cumpla con la norma ASTM A36), y con una dureza Brinell de 203 y 245 HB.

3.2.2.2 Su diámetro debe ser $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, y su anchura debe ser $70 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

3.2.2.3 El disco debe girar a una velocidad de 75 revoluciones en $60 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$, tanto en estado libre como durante la ejecución del ensayo, por lo cual el sistema de manejo del disco debe tener la potencia adecuada.

Nota 1. Se sugiere que el disco sea movido por un motor eléctrico, con un motoreductor que garantice las revoluciones especificadas, y un sistema automático de detención, por cuentavuelas, para detenerlo al completar los giros especificados para el ensayo.

3.2.3 Carro porta espécimen. El carro porta especímenes debe ser rígido y debe ir montado sobre un sistema de rieles y rodamientos, que garantice su libre desplazamiento, bajo la acción de un contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco metálico. Debe poseer un sistema para la sujeción del espécimen, que permita sujetarlo, nivelarlo y alinearlo, con el fin de que la superficie

a ser ensayada, sea lo más paralela posible al plano tangente del disco de abrasión en el punto de contacto entre dicha superficie y el disco metálico.

3.2.4. Tolvas.

3.2.4.1 Se debe tener una tolva (superior) para el almacenamiento del material abrasivo, la cual debe alimentar otra tolva de menor tamaño (inferior) para el control y distribución del flujo. La superior, que por lo general tiene forma cilíndrica, cerrada en la parte inferior, debe tener, al menos, una válvula, que regule el flujo que alimenta la tolva inferior. Cuando se opta por tener dos válvulas, la de arriba se puede usar para abrir o cerrar el flujo; y la de abajo (que puede estar permanentemente abierta a una determinada graduación), para regular la magnitud del flujo.

3.2.4.2 La tolva (inferior) para el control y distribución del flujo, debe tener forma de cuña. Su sección debe ser un triángulo rectángulo, con su extremo más agudo dispuesto hacia abajo, o sea, con el cateto mayor coincidiendo con la vertical. Debe ser abierta por la cara superior, o sea por el cateto menor. Consecuentemente, el cuerpo de esta tolva debe tener: uno de sus lados, inclinado (la hipotenusa), y el otro, debe ser vertical (cateto mayor), adicionalmente, a modo de prolongación del extremo inferior, debe tener una boquilla de salida con una ranura cuyas dimensiones interiores deben ser: longitud $45 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, ancho $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, y profundidad $25 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (ver figura 2). El ancho total de la tolva de control y distribución del flujo, en la dirección paralela al eje del disco de abrasión, debe ser al menos de 65 mm.

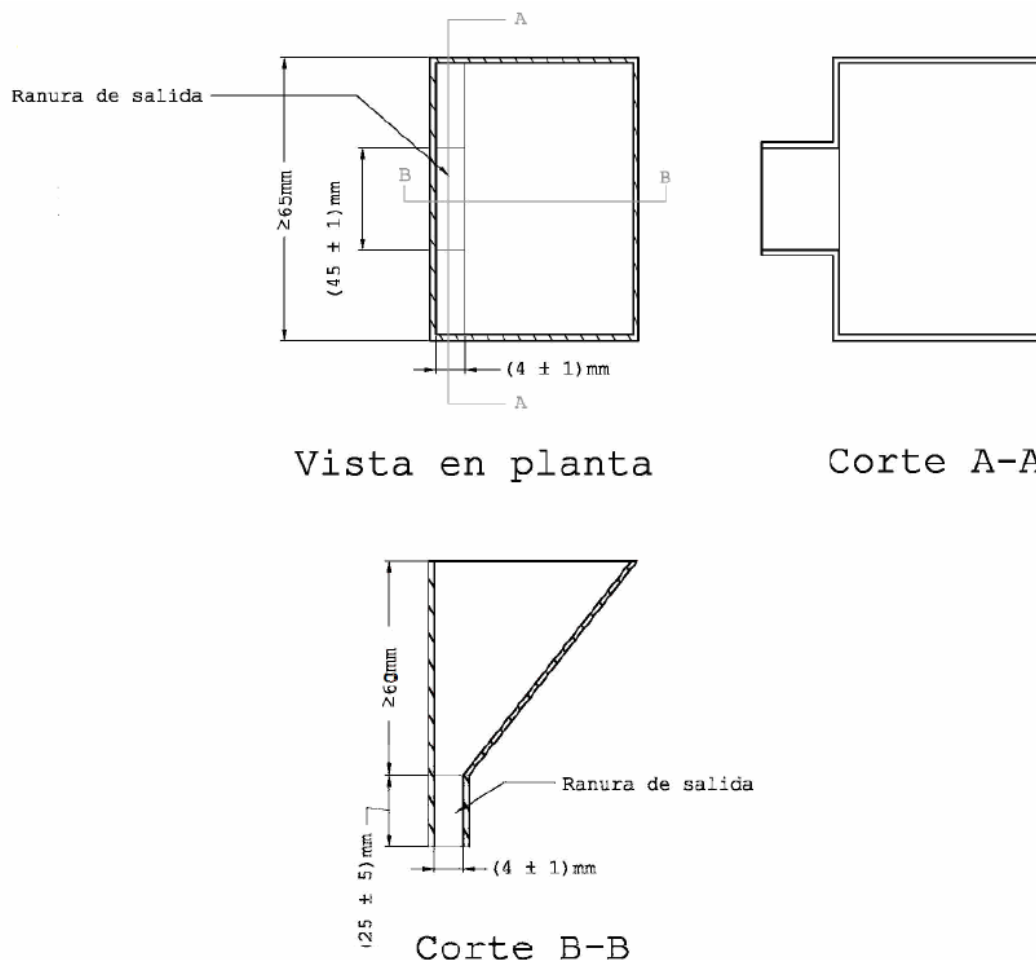


Figura 2. Tolva para el control y distribución del flujo de arena

3.3 Flujo de Material Abrasivo

3.3.1 Material abrasivo. El material abrasivo requerido para este ensayo es el corindón (aluminio blanco fundido) con un tamaño de grano de F80 de acuerdo a la norma ISO 8486-1.

3.3.2 Flujo. El flujo del material abrasivo, proveniente de la tolva (inferior) de control y distribución del flujo, debe ser constante, con un caudal, mínimo, de 2.5 L/min. El nivel mínimo del material abrasivo en la tolva (inferior) de control y distribución del flujo debe ser al menos de 25 mm, medidos por encima del nivel superior de la boquilla (ranura) (ver figura 3). La distancia de caída, entre la ranura de la tolva de control y distribución del flujo (nivel superior de la boquilla) y el plano horizontal que coincide con el del eje del disco metálico, debe ser 100 mm \pm 5 mm. El plano (vertical) de caída del flujo de material abrasivo debe estar entre 1 mm y 5 mm a partir del plano del espécimen (plano tangente al disco metálico) y hacia el centro del disco de abrasión.

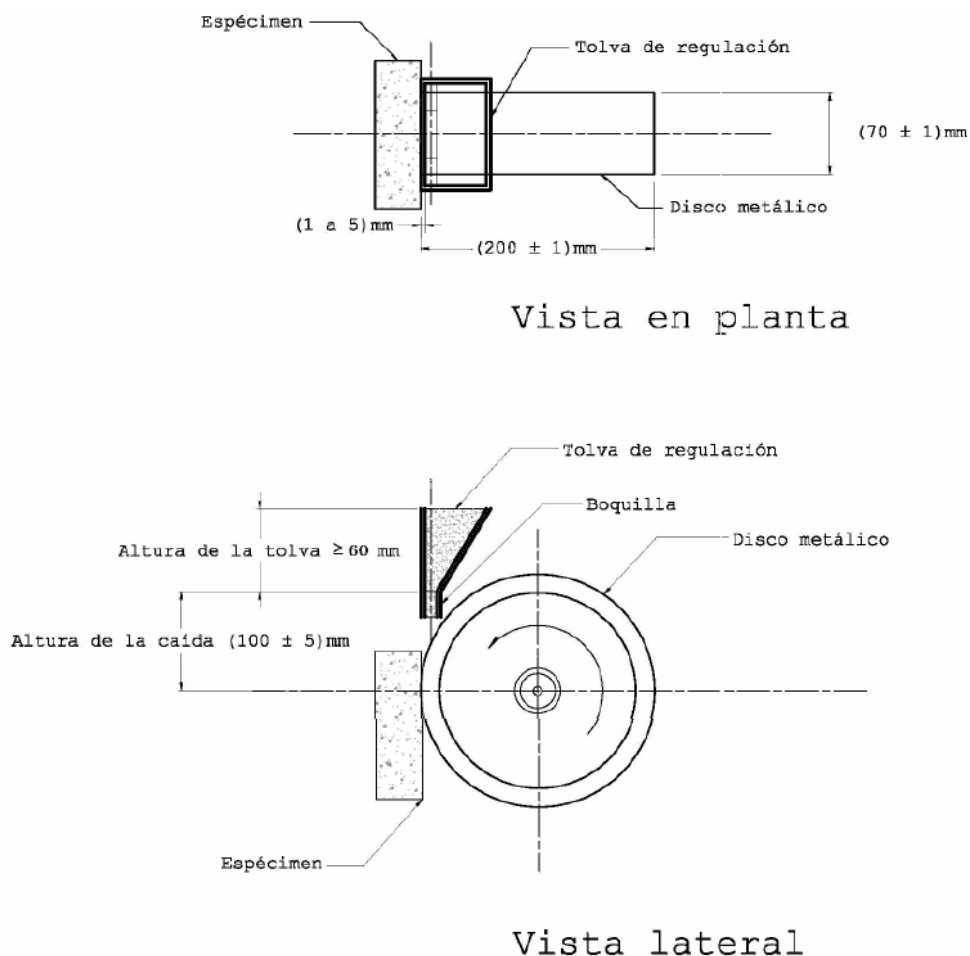


Figura 3. Tolva (inferior) de control y distribución del flujo.

3.4 Herramientas adicionales. Las herramientas adicionales que se deben usar para el ensayo son: una lupa, una fuente de luz, una regla metálica y un vernier con divisiones como mínimo cada 0.1 mm.

4. Calibración del aparato

4.1 Frecuencia. El aparato debe ser calibrado cada vez que haya producido 400 huellas o cada dos meses (lo que ocurra primero) y cada vez que se tenga un nuevo operador, un nuevo lote de material abrasivo o un nuevo disco metálico.

4.2 Verificación de la densidad y el caudal del material abrasivo. El caudal de flujo del abrasivo debe verificarse mediante el vertido del material, desde una altura de aproximadamente 100 mm, dentro de un contenedor rígido previamente pesado, con paredes lisas de altura $(90 \pm 10) \text{ mm}$, y de volumen conocido cuando se llene hasta el borde, que debe ser aproximadamente de 1L. A medida que el contenedor se llena, el vertido se elevará para mantener la altura de caída de aproximadamente 100 mm. Cuando el contenedor se llena, se debe golpear su parte superior, se debe

enrasar, y pesar para determinar la masa del abrasivo contenida en el volumen conocido, es decir, la densidad. El abrasivo debe pasar a través de la máquina de desgaste durante (60 ± 1) s, y ser recogido bajo la rueda de abrasión en un contenedor previamente pesado de al menos 3 L de capacidad. El contenedor lleno debe ser pesado y, con la densidad determinada anteriormente, se puede comprobar que el caudal del flujo del abrasivo es mayor o igual a 2.5 L/min.

4.3 Material de calibración. El equipo debe ser calibrado mediante una probeta de referencia de “Mármol Boulonnais”, usando el procedimiento descrito en 4.4 y ajustado el contrapeso de forma tal que después de 75 revoluciones del disco en (60 ± 3) s, la longitud de la huella producida sea (20.0 ± 0.5) mm. El contrapeso debe ser incrementado o reducido para incrementar o reducir respectivamente la longitud de la huella. El montaje del carro portaprobetas /contrapeso debe ser comprobado para evitar un rozamiento indebido.

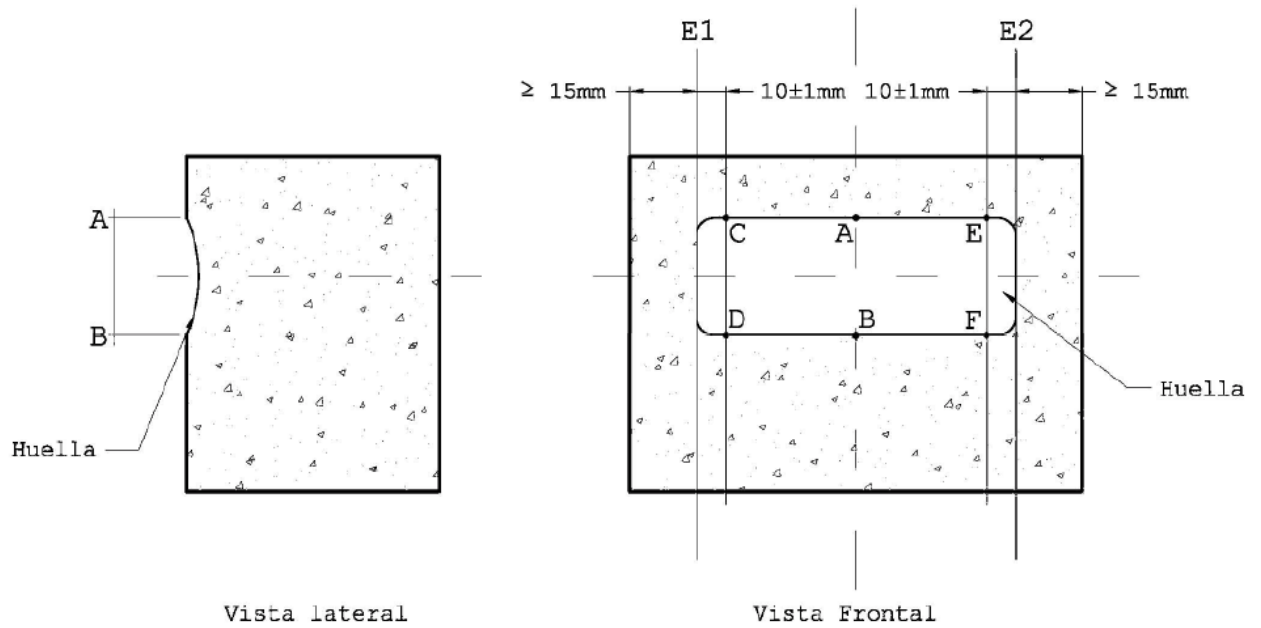
4.3.1 Se puede utilizar un material alternativo como muestra de referencia si se establece una buena correlación con el “Mármol Boulonnais”. La referencia del “Marmol Boulonnais” es: “Lunel demi-clair”, espesor ≥ 50 mm, “contre-passe 2 faces”, pulido mediante muela de grano 100/200, rugosidad $R_a = (1.6 \pm 0.4) \mu\text{m}$, cuando se mida con un rugosímetro calibrado de acuerdo con la Norma EN ISO 4288.

4.4 Procedimiento de calibración. Se debe verificar la ortogonalidad de los soportes del espécimen, del carro porta espécimen, y de su sistema de desplazamiento. Además, se debe verificar que el sistema de contrapeso y el carro porta espécimen, se desplacen libremente y con facilidad.

4.4.1 Sobre el material de calibración se deben producir tantas huellas como sea necesario (de acuerdo con el procedimiento descrito en los capítulos 6 y 7), ajustando el contrapeso (aumentando o disminuyendo su masa) hasta que el disco metálico, después de 75 revoluciones en $60 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$, produzca una huella con una longitud de $20 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ en dicho material.

4.4.2 La huella se debe medir usando el procedimiento descrito en el capítulo 7, con una aproximación de 0.1 mm. Una vez que se ha logrado el rango de calibración descrito en el párrafo anterior, se debe tomar el promedio de tres mediciones.

4.4.3 La huella en el material de calibración debe ser rectangular, definida como tal con base en que la diferencia de medidas a lo largo de ambas líneas CD (véase figura 4), en los extremos de la huella, no debe ser mayor de 0.5 mm. En caso de que la diferencia exceda 0.5 mm, se debe verificar que la muestra haya sido colocada con su plano paralelo a un plano tangencial del disco de desgaste; que el carro porta espécimen y la ranura de la tolva de control y distribución del flujo estén paralelos al eje del disco; que el flujo del abrasivo sea uniforme a través de toda la longitud de la ranura de la tolva (inferior) de control y distribución del flujo; y que no se presente fricción ni en el sistema de rieles y rodamientos del carro porta muestras ni en el sistema de contrapeso.



Nota. Como valor de calibración (V_c) de la máquina se debe tomar el valor de la huella obtenida como resultado de la calibración, que debe estar entre $20\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$.

Figura 4. Medición de huella

5. Preparación del espécimen

5.1 El espécimen de ensayo debe ser una unidad completa, o un trozo de unidad. Pueden ser nuevos o extraídos de un piso o pavimento existente, y producto de uno o varios cortes, siempre y cuando incorporen la parte superior del material (cara de desgaste), con una dimensión mínima de 100 mm x 70 mm.

5.2 La cara superior del espécimen (cara de desgaste), que es la que se ensaya al desgaste, debe ser plana, con una tolerancia de ± 1 mm, en dos direcciones perpendiculares, medida sobre, al menos, 70 mm. La tolerancia de planicidad se debe determinar mediante una regla recta y laminillas calibradas (galgas) de acero de 1 mm.

5.3 Si la cara superior presenta una textura rugosa o está por fuera de las tolerancias descritas en el apartado 5.2, se debe pulir, hasta alcanzar la tolerancia requerida.

5.4 En el caso de que el material a ensayar tenga relieves o texturas muy pronunciadas, se debe cortar la superficie hasta lograr la tolerancia indicada anteriormente.

5.5 El espécimen de ensayo debe de estar limpio y seco. Su superficie se debe limpiar con una brocha, justo antes del ensayo, y se debe manchar el área de ensayo con un tinte superficial delgado, de base acuosa o alcohol, por ejemplo un marcador de punta suave y gruesa, o un spray de un color contrastante con el espécimen, para facilitar la determinación de la huella.

5.6 El espécimen se debe fijar firmemente al carro porta especímenes, y se debe verificar su alineación y la libertad de desplazamiento del carro.

6. Procedimiento de ensayo

6.1 La tolva de almacenamiento se debe llenar con el material abrasivo previamente calibrado, en estado seco, y se debe colocar un recipiente vacío, bajo el disco metálico, para recoger el material abrasivo que fue usado para el ensayo.

6.2 Se debe retirar el porta espécimen para colocar y fijar el espécimen en el carro, separándolo del disco metálico, de tal manera que se produzca la huella con una distancia mínima de cualquier borde de 15 mm.

6.3 Se debe colocar el espécimen en contacto con el disco metálico, abrir la válvula de control y distribución de flujo y, simultáneamente, se debe encender el motor, de tal manera que el disco metálico complete 75 revoluciones en 60 ± 3 s. Luego de las 75 revoluciones del disco, se debe suspender el flujo del material abrasivo y se debe detener el disco.

7. Medición de la huella de desgaste

7.1 Trazado del contorno de la huella de desgaste

7.1.1 Se debe colocar el espécimen debajo de una lupa grande de al menos, 2 aumentos, preferiblemente equipada con una luz, que facilite la medición de la huella del desgaste.

7.1.2 Se deben trazar las líneas E1 y E2 con un lápiz con mina de diámetro de 0.5 mm y una dureza 6H o 7H en los extremos de la huella (ver figura 4). Se debe trazar la línea paralela AB en el punto medio de la distancia entre E1 y E2. Para determinar la longitud de la huella del desgaste, se deben colocar las puntas del calibrador en los puntos A y B (que son los extremos internos de la huella), y se debe registrar la medición con una aproximación de 0.1 mm.

7.1.3 Para verificar la calidad de la huella, se deben determinar el ancho de la huella a los 10 mm \pm 1 mm de los extremos de la huella (líneas CD y EF), y registrarlas (véase figura 4).

7.2 Aceptación o rechazo de la huella

7.2.1 La longitud de la huella medida AB se debe considerar aceptable, si la diferencia entre la medida AB y las medidas determinadas sobre las líneas CD y EF (véase la figura 4) es menor que 1 mm, excepto para propósitos de calibración, en cuyo caso dicha diferencia debe ser menor de 0.5 mm.

8. Resultados del ensayo de abrasión con disco metálico ancho

8.1 Como resultado del ensayo de abrasión se debe tomar la longitud de la huella, medida según se indica en el apartado 7.1.2, corregida por el factor de calibración, obtenido según se indica en el apartado 4.4. El resultado, que se debe presentar con una aproximación de 0.5 mm, debe ser la suma de la huella medida AB y la diferencia (positiva o negativa) entre 20.0 mm y el valor de calibración (V_c). En resultado.

$$lh = AB + (20.0 - V_c) \quad (1)$$

Donde:

lh = Longitud de la huella resultante (mm) V_c = Valor de calibración (mm)

V_c = Valor de calibración (mm)

AB = Longitud de la huella medida (mm)

Nota 3. Por ejemplo, si el valor de calibración $V_c = 19,6$ mm, y la longitud de la huella medida es 22.5 mm, la longitud de la huella resultante debe ser: $lh = AB + (20.0 - V_c) = 22.5 + (20.0 - 19.6) = 22.9$, el cual se debe aproximar a 23.0 mm. Si, el valor de $V_c = 20.4$, el resultado debe ser: $lh = 22.5$ mm + $(20.0 - 20.4) = 22.1$ mm, el cual se debe aproximar a 22.0 mm.

8.2 Si se realizan dos huellas en un espécimen, se debe tomar el valor mayor de ambos como resultado del ensayo.

9. Informe del ensayo mediante disco metálico ancho

9.1 Como resultado del ensayo se debe dar la longitud corregida de la, o de las huellas, sobre cada uno de los especímenes.

10. Método de ensayo Böhme

10.1 Generalidades. Las planchas cuadradas o cubos se colocan en el equipo de ensayo de Böhme, en la superficie en la que se esparce el material abrasivo, se gira el disco y se aplica a la probeta una carga de abrasión de 294 ± 3 N (29.98 ± 0.31) kg, para un número dado de ciclos (ver sección 12).

10.1.1 El desgaste por abrasión se calcula determinando la pérdida de volumen de la probeta de ensayo.

10.2 Material abrasivo

10.2.1 Como material abrasivo normalizado se debe utilizar aluminio fundido (carburo de silicio grano 80), diseñado para producir desgaste por abrasión de 1.10 mm a 1.30 mm, cuando se ensayen probetas de granito normalizadas y de 4.20 mm a 5.10 mm, cuando se ensayen probetas de piedra caliza normalizadas. Se debe comprobar la conformidad con estos requisitos: la homogeneidad del material y la uniformidad de la densidad aparente, así como la granulometría del material abrasivo.

10.3 Equipo

10.3.1 Dispositivo para la medida del espesor. Para establecer la reducción en el espesor, se debe emplear un calibre, cuyo palpador debe tener un punto de apoyo esférico y una cara de contacto anular de 8 mm de diámetro exterior y 5 mm de diámetro interior, también se debe emplear una mesa de medida.

10.3.2 Disco abrasivo Böhme. El disco abrasivo Böhme se muestra en la Figura 5, y está constituido esencialmente por un disco giratorio con una superficie de ensayo definida para recibir el abrasivo, un portaprobetas y un mecanismo de carga.

10.3.3 Disco giratorio. El disco giratorio debe tener un diámetro aproximado de 750 mm, debe ser plano y debe colocarse en un plano horizontal. Cuando se cargue, la velocidad debe ser de 30 ± 1 revoluciones por minuto.

10.3.3.1 El disco debe estar provisto de un contador de revoluciones y un mecanismo de parada automática cuando se superen las 22 revoluciones.

10.3.4 Superficie de ensayo

10.3.4.1 La superficie de ensayo debe ser anular, con un radio interior de 120 mm y un radio exterior de 320 mm (es decir 200 mm de ancho) y debe ser reemplazable.

10.3.4.2 La superficie debe estar fabricada de hierro colado con una estructura perlítica, un contenido en fósforo que no exceda de 0.35 % y un contenido de carbono superior al 3%. La pista debe tener una dureza Brinell comprendida entre 190 HB y 220 HB, 2.5/187.5 (tal como se define en las Normas EN ISO 6506-1, EN 6506-2 y EN ISO 6506-3), determinada como la media de las medidas tomadas en no menos de diez puntos a lo largo del borde de la superficie.

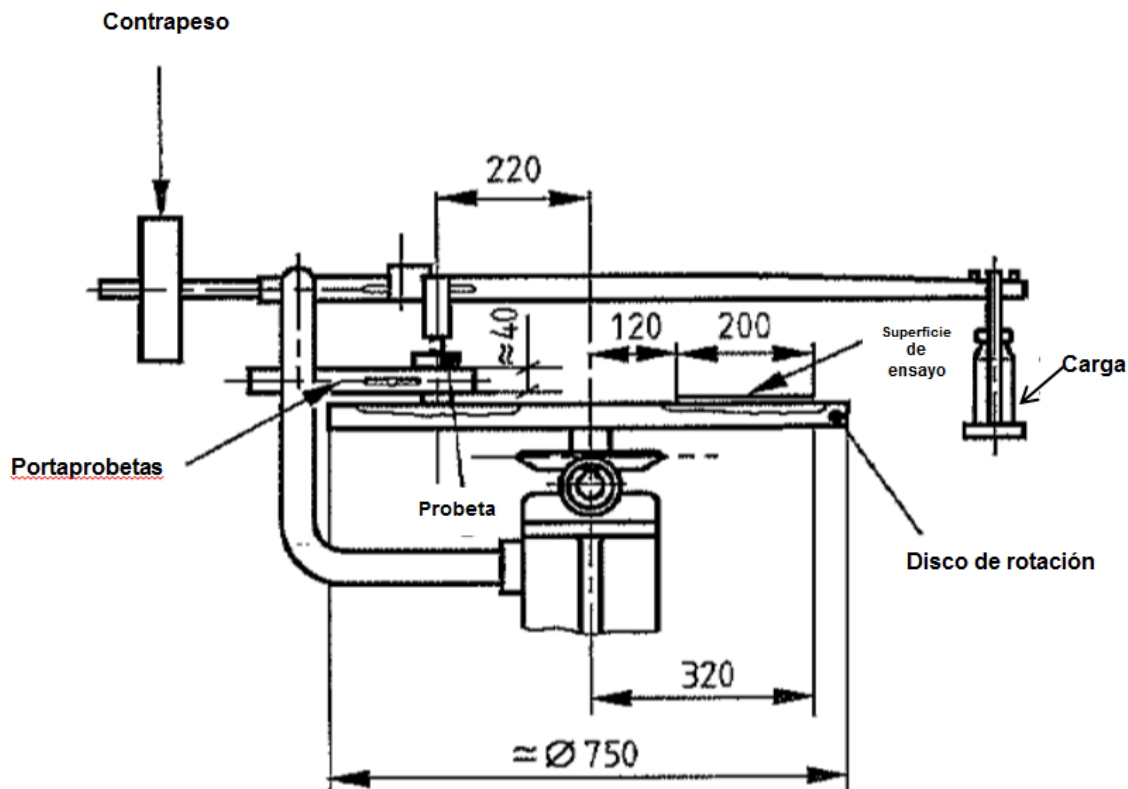
10.3.4.3 La superficie de ensayo se desgasta durante el servicio; la reducción resultante en su espesor no debe exceder de 0.3 mm y ningún surco debe ser más profundo de 0.2 mm. Si se excede de estos valores, la pista debe ser reemplazada o rectificada. Cuando la superficie de desgaste ha sido rectificada en tres ocasiones, se debe determinar su dureza nuevamente.

10.3.5 Portaprobetas

10.3.5.1 El portaprobetas consistirá en un marco en U, de aproximadamente 40 mm de altura, con una separación de 5 ± 1 mm desde la superficie de ensayo. El marco debe ser colocado de manera que la distancia entre el eje de la probeta y el del disco sea de 220 mm y la cantonera del portaprobetas, la cual soporta la probeta esté situada a una distancia de 4 ± 1 mm, por encima del disco. El montaje del soporte del portaprobetas debe asegurar que durante el ensayo no se produzcan vibraciones.

10.3.6 Dispositivo de carga

10.3.6.1 El dispositivo de carga debe consistir en un balancín con dos brazos de diferentes longitudes, una pesa de carga y un contrapeso. El balancín pivotará con la mínima fricción posible y se colocará casi horizontalmente durante el ensayo. El sistema debe estar diseñado para asegurar que la carga se transfiera verticalmente a través del pistón hacia el centro de la probeta. El peso propio de la palanca se equilibra con el contrapeso y la escala que marca el peso de la carga. La fuerza que actúa sobre la probeta se obtiene del peso de carga multiplicado por la relación de transmisión de la palanca, la masa del peso ha de ser seleccionada de forma que se produzca una fuerza de ensayo de 294 ± 3 N (29.98 ± 0.31) kg, correspondiente a aproximadamente 0.06 N / mm² (0.61 kg/cm²), la cual debe ser verificada mediante cálculo.



Nota. Las medidas están en milímetros

Figura 5. Partes fundamentales de la máquina del equipo de abrasión Böhme

11. Preparación de las probetas

11.1 Se usan como probetas, planchas cuadradas o cubos cuyas longitud del borde sea de 71 ± 1.5 mm.

11.2 La cara de contacto y la cara opuesta de la probeta deben ser paralelas y planas. Para determinar la pérdida de espesor tal como se describe en la sección 13, la cara opuesta debe ser rebajada mecánicamente hasta que sea paralela a la base.

11.3 Las probetas se deben secar a masa constante a temperatura de 105 ± 5 °C, requiriéndose normalmente el predesbastado de la capa de contacto sometándolo a cuatro ciclos, descrito en numeral 12.

11.4 Para el caso excepcional de ensayo de probetas húmedas o saturadas de agua (ver numeral 12), las probetas deben estar sumergidas durante un periodo no inferior a 7 días y secadas con una esponja artificial húmeda antes de cada pesada,

de forma que cada probeta tenga una apariencia de igualdad en su humedad respecto a las demás.

11.5 Cada probeta debe ser tomada de no menos de tres muestras diferentes o piezas del mismo tipo.

11.6 Antes de realizar el ensayo, se debe determinar la densidad de la probeta ρ_R , por medición al 0.1 mm más cercano y por peso al 0.1 g más cercano.

11.7 En el caso de elementos bicapa, se determina la densidad de las muestras tomadas por separado de su cara de trabajo. Estas probetas también deben ser desbastadas (lijadas, limadas, desgastadas) antes de los ensayos cuando sea necesario.

12. Procedimiento ensayo de Böhme

12.1 Antes del ensayo de abrasión y después de cada cuatro ciclos, como se indica en 11, se pesa la probeta con una precisión de 0.1 g.

12.2 Se vierten 20 g de material abrasivo normalizado sobre la superficie. Se coloca la probeta en el soporte y con la cara de contacto mirando hacia la superficie, se carga centralmente con 294 ± 3 N (29.98 ± 0.31) kg.

12.3 Se comienza a girar el disco, teniendo en cuidado de que el material abrasivo permanezca sobre la pista distribuido uniformemente sobre el área definida por el ancho de la probeta.

12.4 Se ensaya la probeta con 16 ciclos, cada uno consistente en 22 revoluciones.

12.5 Después de cada ciclo, se limpia el disco y la cara de contacto, y se gira progresivamente la probeta 90° , vertiendo nuevo material abrasivo sobre la pista tal como se describe en 10.2.

12.6 Cuando se ensayen probetas húmedas o saturadas de agua, con anterioridad a cada ciclo la pista debe ser limpiada con una esponja artificial ligeramente húmeda, humedeciendo antes de esparcir el material abrasivo. Desde el comienzo del ensayo se debe gotear agua a una velocidad de aproximadamente 13 ml por minuto (correspondiente a 180 – 200 gotas) sobre la pista desde un recipiente con una boquilla pivotante regulable. Las gotas deben caer desde una distancia aproximada de 100 mm en el centro de la pista y a una distancia de 30 mm frente a la probeta.

12.7 Cuando se ensaye de acuerdo con este método, se debe prestar atención para asegurar que el abrasivo es devuelto continuamente al área efectiva de la pista (ver 10.3).

13. Cálculo de los resultados del ensayo

13.1 Se calcula el desgaste por abrasión después de 16 ciclos como la pérdida media de volumen de la probeta ΔV , obtenida de la ecuación:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho R} \quad (2)$$

Donde:

ΔV = la pérdida de volumen después de 16 ciclos, en mm^3

Δm = la pérdida de masa después de 16 ciclos, en g

ρR = la densidad de la probeta o en el caso de probetas multicapa, la densidad de la capa desgastada, en g/mm^3

14. Informe del ensayo Böhme

14.1 Se registra el desgaste por abrasión al número completo más cercano a 1,000 mm^3 por 5,000 mm^2 .

15. Descriptores. Resistencia por desgaste por abrasión, adoquines, resistencia por abrasión, disco ancho, ensayo Böhme.

-----última línea-----



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sika® ViscoCrete 2100

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos de nuestra Tecnología Sika ViscoCrete. Diseñado para cumplir con todos los requerimientos de la Norma ASTM C-494. Tipos A y F.

USOS

- Sika ViscoCrete 2100 puede ser usado, tanto en hormigón premezclado, así como en prefabricados, adicionado en la planta como un reductor de agua de alto rango, proporciona excelente plasticidad mientras mantiene la trabajabilidad por más de una hora. Los tiempos de fraguado controlados del Sika ViscoCrete 2100 lo hacen ideal para aplicaciones tanto horizontales como verticales.
- Sika ViscoCrete 2100 es ideal para producción de hormigones autocompactados (SCC).

VENTAJAS

Reductor de agua: Sika ViscoCrete 2100 con pequeñas dosificaciones, se obtienen reducciones de agua entre 10-15% y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45%.

Sika ViscoCrete 2100 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua.

Alta plasticidad: la acción superplastificante del Sika ViscoCrete 2100 permite obtener altos asentamientos, hormigones fluidos con alto mantenimiento de la trabajabilidad que facilitan la colocación con el mínimo vibrado aún cuando las relaciones agua-cemento sean tan bajas como 0,25

Sika ViscoCrete 2100 plastifica el hormigón dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando de esta manera sangrado o segregación.

Larga trabajabilidad y control del fraguado: Sika ViscoCrete 2100 está formulado para mantener la trabajabilidad por más de una hora, manteniendo los tiempos de fraguado normales.

La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del Sika ViscoCrete 2100, proporciona al hormigón endurecido los siguientes beneficios:

- Las altas resistencias finales permiten flexibilidad en los diseños de ingeniería y economía en las estructuras.
- Bajas relaciones agua cemento producen hormigones más durables, más densos y menos permeables.
- La alta plasticidad permite reducir los defectos de la superficie del hormigón y mejora la apariencia estética.

DATOS TÉCNICOS

ASPECTO: Líquido traslúcido
DENSIDAD: 1.1 g/cc aprox.

MODO DE EMPLEO

Dosis: Las dosis varían de acuerdo al tipo de material usado, condiciones ambientales y a los requerimientos de un proyecto específico.

Sika Ecuatoriana recomienda usar dosis entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento. Dosis mayores a las recomendadas pueden usarse cuando están especificados materiales, tales como microsilica, condiciones ambientales extremas. Para mayor información comuníquese con el Departamento Técnico de Sika.

Mezclado: Para mejores resultados de superplastificación, adicionar el Sika ViscoCrete 2100 directamente a la mezcla fresca de hormigón en el mixer y dejar mezclándose por lo menos 60 segundos. El Sika ViscoCrete 2100 también puede adicionarse a la mezcla fresca directamente en la planta al final del ciclo de mezclado.

Combinación con otros aditivos: Sika ViscoCrete 2100 es muy efectivo sólo o combinado con otros aditivos de Sika. Si se usa con ciertos aditivos Sikament puede afectar la plasticidad del hormigón fresco.

Combinación con microsilica: Sika ViscoCrete 2100 es particularmente recomendable para el uso con microsilica por su capacidad de reducción de agua y mayor control de la plasticidad.

PRESENTACIÓN

Tambores de 230 kg y al granel.

ALMACENAMIENTO

12 meses en su envase original, bien sellado y bajo techo.

SEGURIDAD

Medidas generales de protección e higiene.

Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.

Evitar el contacto con los ojos y la piel.

Protección preventiva de la piel con pomada protectora.

Quitarse inmediatamente la ropa manchada.

No fumar, no comer o beber durante el trabajo. Lavarse las manos antes de los descansos. Protección de las manos con guantes de goma de butilo/nitrilo.

Protección de los ojos con gafas herméticamente cerradas. Protección corporal.

Ecología

No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.

Toxicidad

No peligroso.

Transporte

Mercancía no peligrosa.

NOTA LEGAL

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se debe respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



SIKA ECUATORIANA S.A. www.sika.com.ec

Guayaquil.- Km. 3,5 vía Durán Tambo / Casilla 10093 / PBX (593-4) 2812700 - Fax (593-4) 2801229

Quito.- Tomás Chariove N49-104 y Manuel Valdiviezo / Telfs. (593-2) 2441929 - 2439504 - 2437224 - 2433554

Cuenca.- Av. de las Américas entre 1° de Mayo y Luis Moscoso / Telefax 2856754 - 2856517

Plastocrete® 169 HE

Plastificante - acelerante, sin cloruros

Descripción Plastocrete 169 HE es un aditivo líquido color ámbar oscuro, que permite reducir el agua de amasado y acelera las resistencias iniciales y finales del hormigón, modificando levemente el tiempo de fraguado.

Usos Plastocrete 169 HE se debe usar cuando se desee:

- Mejorar resistencias a temprana edad.
- Mayor ganancia de resistencias en clima frío.
- Disminuir el contenido de cemento sin perder resistencia inicial.
- Aumentar la manejabilidad de la mezcla.
- Reducir el agua de amasado sin perder manejabilidad.
- Elaborar hormigón para sistema de construcción industrializada tipo Outinord o Contech.

Ventajas

- Facilita la colocación del concreto ya que incrementa su manejabilidad aún reduciendo el agua de amasado.
- Incrementa la resistencia inicial y final del hormigón.
- Desencofrado rápido y pronto uso de estructuras nuevas.
- Aumenta la rotación de formaletas en la prefabricación.
- Mejora sustancialmente el acabado de los prefabricados.

Modo de empleo Plastocrete 169 HE se agrega a la mezcla de hormigón, en la dosis requerida, disuelto en el agua de amasado.

Dosificación:
Dependiendo del aceleramiento deseado se dosifica:
Del 0,5 al 3,0% del peso del cemento de la mezcla.

Datos técnicos Diseñado para cumplir la Norma ASTM C-494 e NTC 1299 como aditivo tipo E.
Densidad: 1,32 kg/l ± 0,03 kg/l
Plastocrete 169 HE, no contiene cloruros.

Precauciones En caso de contacto con la piel lavar con agua y jabón. En caso de contactos con los ojos lavar con abundante agua y acudir al oftalmólogo. Dosificar por separado cuando se usen otros aditivos en la misma mezcla. El curado del hormigón con agua y/o Antisol después de su fraguado es indispensable.



Construcción

Seguridad	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección en su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.
Presentación	Tambor: 230 kg o a granel.
Almacenamiento	Un (1) año, en lugar fresco, bajo techo y en su envase original bien cerrado. Para su transporte deben tomarse las precauciones normales para productos químicos.
Códigos R/S	R: 8 S: 2

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika, respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A.
www.sika.com.ec
Guayaquil.- km. 3 1/2 vía Durán - Tambo PBX 2812700 Fax 2801229
Cuenca.- Av. de las Américas y 1º de Mayo Telefax 2856754

