

INGENIERIA CIVIL

**Tesis previa a la obtención de título de
Ingeniero Civil.**

**AUTOR: Mauricio David Guillén Bernal,
Patricio Francisco Hernández Criollo**

TUTOR: Ing. Verónica Miranda

**“Análisis comparativo del ensayo de flexión con los
ensayos de tracción indirecta y de compresión, para su
validación en adoquines hexagonales de hormigón”**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Mauricio David Guillén Bernal y Patricio Francisco Hernández Criollo declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

“Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.” (“UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR - UIDE”)



FIRMA AUTOR (Mauricio Guillén)



FIRMA AUTOR (Patricio Hernández)

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo Verónica Miranda, certifico que conozco a los autores del presente trabajo de titulación denominado “Análisis comparativo del ensayo de flexión con los ensayos de tracción indirecta y de compresión, para su validación en adoquines hexagonales de hormigón”, Mauricio David Guillén Bernal y Patricio Francisco Hernández Criollo siendo los responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

.....

Ing. Verónica Miranda

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

En este momento crucial de mi vida, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por ser mi guía y mi fortaleza en el camino hacia la realización de un sueño largamente perseguido. A mi familia, cuyo amor y apoyo han sido fundamentales, a mi esposa Dayanna, mis hijos, Julio Cesar y Juan David, mi madre, Rosa, y mis amigos, María Inés, Raquelita y Mauricio, les estoy eternamente agradecido por su inquebrantable respaldo. Sus palabras de aliento y su sacrificio compartido han sido la motivación que me impulso a seguir adelante en los momentos más cruciales de esta hermosa carrera. Hoy al obtener esta meta, festejo con ustedes este logro que es tanto suyo como mío. Su apoyo incondicional me ha enseñado que, con esfuerzo y dedicación ninguna meta es inalcanzable.

Patricio Francisco Hernández Criollo

Quiero dedicar la presente tesis a Dios por haber forjado mi camino y me ha mantenido en el sendero correcto. A mis hijas Yuri y Aime, por su constante inspiración, apoyo incondicional y creer siempre en mí, he logrado cumplir uno de mis sueños de la mano de mis más grandes sueños, gracias por ser mis mentoras de vida. A mi amada Gabriela, por ser pilar principal al compartir mi vida, “siempre serás la voz en mi cabeza”. A mis amigos Patricio, Raquel y María Inés, por su paciencia, su gran disposición y apoyo incondicional. Gracias por su amistad.

Mauricio David Guillén Bernal

Agradecimientos.

Queremos agradecer profundamente en primer lugar a Dios por permitirnos cumplir nuestro sueño, por su guía, amor, providencia y fortaleza todo el tiempo.

A nuestras familias por su apoyo, compañía, motivación y amor incondicional, gracias por creer en nosotros y estar allí siempre.

A nuestra directora de tesis, Ing. Verónica Miranda por su orientación, su ilustración, su entrega, su experiencia y liderazgo lo cual nos ha ayudado a culminar con éxito ésta investigación. Gracias por fomentar nuestro crecimiento como profesionales.

Mauricio David Guillén Bernal & Patricio Francisco Hernández Criollo.

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	1
Capítulo I	2
Introducción	2
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Justificación	4
<i>Justificación Teórica</i>	4
Planteamiento del Problema	5
Estado del Arte	6
Adoquines de Hormigón	6
Estado Actual de la normativa	6
<i>Norma NTE INEN 3040. (INEN, 2016)</i>	6
Ensayo de Tracción Indirecta en adoquines Hexagonales de Hormigón	7
Conceptos Básicos de la INEN 3040	7
Cálculo de la Resistencia a la Tracción Indirecta	10
Relevancia del Ensayo de Tracción Indirecta	10
Capacidad para Resistir Fuerzas de Cizallamiento y Fractura:	10
Evaluación de la Calidad del Material:	10
Durabilidad y Desempeño en el servicio:	11
Optimización del Diseño y las Mezclas de Hormigón:	11
<i>Ensayo de Flexión</i>	11

Normativa ICONTEC NTC 2017.....	12
<i>Ensayo de Compresión.....</i>	13
Norma ASTM C140.....	13
Selección y Preparación de las Muestras:	14
Colocación en la máquina de Ensayo:	14
Aplicación de la Carga:	15
Registro de la Carga de Ruptura.	15
Cálculo de la Resistencia a la Compresión.	15
Parámetros Medidos en el Ensayo.....	15
Importancia de la Resistencia a la Compresión en la Evaluación de la Resistencia del Hormigón.....	16
Comparación de Método de Ensayo	18
Capítulo II Marco Teórico.....	20
Antecedentes Históricos	20
<i>Evolución de los ensayos en hormigón</i>	20
<i>Primera Etapa: origen y desarrollo de los ensayos.....</i>	20
Ensayo de Compresión.....	20
<i>Desarrollo y Estandarización</i>	20
Ensayo de Flexión.....	21
<i>Avances en Tecnología y Metodología</i>	21
Ensayo de Tracción Indirecta (ensayo brasileño).	21
<i>Modernización y Digitalización</i>	21
<i>Importancia de los Ensayos Mecánicos en Hormigón</i>	22

Conceptos Clave	23
<i>Adoquines de Hormigón</i>	23
Descripción y Características de los Adoquines Hexagonales de Hormigón.....	23
<i>Características Físicas</i>	23
<i>Características Mecánicas</i>	24
<i>Usos Comunes en la Construcción</i>	24
<i>Ventajas y desventajas sobre otro tipo de pavimentación</i>	25
Ensayo de Flexión en Adoquines de Hormigón	25
<i>Definición</i>	25
Procedimiento del Ensayo de Flexión	25
<i>Preparación de la Muestra:</i>	26
<i>Montaje en la Máquina de Ensayo:</i>	26
<i>Aplicación de la Carga:</i>	26
<i>Registro de los Datos:</i>	26
Parámetros Medidos en el Ensayo de Flexión.....	27
<i>Carga Máxima Aplicada (P)</i>	27
<i>Resistencia a la Flexión (fr)</i>	27
<i>Importancia de la Flexión en la Evaluación de la Resistencia del Hormigón</i>	28
<i>Capacidad de Soportar Cargas Dinámicas y Estáticas</i>	28
<i>Durabilidad y Vida Útil</i>	28
<i>Evaluación de la Calidad del Material</i>	28
<i>Control de Calidad y Cumplimiento Normativo</i>	28
Ensayo de Compresión en Adoquines Hexagonales de Hormigón.....	28

<i>Capacidad de Carga y Durabilidad</i>	29
<i>Evaluación de la Calidad del Material</i>	29
<i>Conformidad con Normativas y Estándares</i>	29
<i>Predicción del Desempeño a Largo Plazo</i>	29
El Control De Calidad	30
Principales Características Del Control De Calidad	30
Importancia del Control de la Calidad	30
Control Estadístico de la Calidad.....	31
Cálculo del Valor Medio (P).	31
Medidas de Dispersión – Varianza y Desviación.	31
Varianza (S^2), (σ^2).	32
Desviación Estándar o Típica (S).	33
<i>Interpretación y Aplicación</i>	33
CAPITULO III	35
Ensayos en Adoquines	35
Resistencia A La Tracción Indirecta En Adoquines Norma NTE INEN 3040	
(ANEXO 1)	35
<i>Procedimiento De Ensayo</i>	36
Resistencia A La Flexión En Adoquines Norma ICONTEC 2017 (Anexo 3).....	40
<i>Ensayo</i>	41
Características Dimensionales.	41
Procedimiento De Ensayo.	42
<i>Determinación Del Módulo De Rotura</i>	43

Ensayo de Compresión de Adoquines ASTM C 140. (Anexo 2)	45
<i>Aparato de Ensayo</i>	45
Preparación de la Muestra.....	45
Procedimiento	45
Capítulo IV. Comparación de Resultados Obtenidos.....	49
Informes de los Resultados Obtenidos de los ensayos realizados.	49
<i>Ensayos De Tracción Indirecta. NTE INEN 3040 (Anexo 1)</i>	49
<i>ENSAYOS DE COMPRESIÓN. ASTM C140 (Anexo 2)</i>	53
<i>ENSAYOS DE FLEXIÓN. ICONTEC 2017 (Anexo 3)</i>	57
<i>Análisis Estadístico de Distribución de Resultados</i>	61
Resistencia a la Tracción Indirecta (INEN, 2016)	62
Resistencia a la Compresión. (ASTM C140, 2018)	65
Resistencia a la Flexión. (ICONTEC, 2018)	68
Comparación de Resultados	71
Correlación de Resultados.....	72
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones	74
Conclusiones.....	74
<i>Compresión</i>	74
<i>Tracción indirecta</i>	74
<i>Flexión</i>	75
Recomendaciones	76
Bibliografía	78
Anexos.....	80

<i>Anexo 1. (NORMA INEN 3040 - Extracto)</i>	<i>80</i>
<i>Anexo 2. (NORMA ASTM C 140 - Extracto)</i>	<i>87</i>
<i>Anexo 3. NORMA ICONTEC 2017</i>	<i>95</i>
<i>Anexo 4. Hojas de Campo</i>	<i>103</i>

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Requisitos NTE INEN 3040. Resistencia a la Tracción Indirecta (INEN, 2016).</i>	49
Tabla 2 <i>Requisitos ASTM C140. Resistencia a la Compresión (ASTM C140, 2018).</i>	53
Tabla 3 <i>Requisitos ICONTEC 2017. Resistencia a la Flexión</i>	57
Tabla 4 <i>Resultados de ensayos de Tracción Indirecta. (INEN, 2016).</i>	62
Tabla 5 <i>Análisis Campana de Gauss Figura 14.</i>	63
Tabla 6 <i>Análisis Estadístico Ensayo de Tracción Indirecta.</i>	64
Tabla 7 <i>Resultados de ensayos de Compresión. (ASTM C140, 2018).</i>	65
Tabla 8 <i>Análisis Campana de Gauss Figura 16.</i>	66
Tabla 9 <i>Análisis Estadístico Ensayo de Compresión.</i>	67
Tabla 10 <i>Resultados de ensayos de Flexión. (ICONTEC, 2018)</i>	68
Tabla 11 <i>Análisis Campana de Gauss Figura 18.</i>	69
Tabla 12 <i>Análisis Estadístico Ensayo de Flexión.</i>	70
Tabla 13 <i>Resultados de ensayos en adoquines.</i>	71

Índice de Informes

Informe 1 <i>Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines</i> (INEN, 2016).	50
Informe 2 <i>Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines</i> (INEN, 2016).	51
Informe 3 <i>Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines</i> (INEN, 2016).	52
Informe 4 <i>Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de</i> <i>Hormigón (ASTM C140, 2018).</i>	54
Informe 5 <i>Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de</i> <i>Hormigón (ASTM C140, 2018).</i>	55
Informe 6 <i>Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de</i> <i>Hormigón (ASTM C140, 2018).</i>	56
Informe 7 <i>Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón</i> (ICONTEC, 2018).	58
Informe 8 <i>Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón.</i> (ICONTEC, 2018).	59
Informe 9 <i>Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón.</i> (ICONTEC, 2018).	60

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Muestras recortadas e identificadas.</i>	35
Figura 2	<i>Muestras marcadas y saturadas.</i>	37
Figura 3	<i>Vista del adoquín en posición para ensayo.</i>	38
Figura 4	<i>Vista de falla del adoquín.</i>	38
Figura 5	<i>Formato de Informe de Resultados.</i>	39
Figura 6	<i>Muestreo de Adoquines.</i>	41
Figura 7	<i>Marcación y colocación de adoquín en equipo para ensayo de flexión.</i>	42
Figura 8	<i>Fractura del adoquín en el centro después del ensayo.</i>	43
Figura 9	<i>Formato de Informe de Resultados.</i>	44
Figura 10	<i>Probeta lista para realizar el ensayo de compresión (ASTM C140, 2018).</i>	46
Figura 11	<i>Adoquín después del ensayo de compresión (ASTM C140, 2018).</i>	47
Figura 12	<i>Adoquín una vez terminado el ensayo de compresión.</i>	47
Figura 13	<i>Formato de Informe de Resultados.</i>	48
Figura 14	<i>Campana de Gauss Tracción Indirecta.</i>	63
Figura 15	<i>Análisis Línea de Tendencia Tracción Indirecta.</i>	64
Figura 16	<i>Campana de Gauss Compresión.</i>	66
Figura 17	<i>Análisis Línea de Tendencia Compresión.</i>	67
Figura 18	<i>Campana de Gauss Flexión.</i>	69
Figura 19	<i>Análisis Línea de Tendencia Flexión.</i>	70
Figura 20	<i>Cálculo Coeficiente de Determinación Ideal. Tracción Indirecta – Flexión.</i>	72
	$R^2=0,0688$	
Figura 21	<i>Cálculo Coeficiente de Determinación Ideal. Compresión – Flexión.</i>	73
	$R^2=0,1899$	

Resumen

Este estudio se centra en comparar la eficacia del ensayo de flexión con los ensayos de tracción indirecta y compresión para validar la resistencia de adoquines hexagonales de hormigón. Se llevó a cabo un estudio absoluto de las propiedades mecánicas de los adoquines a través de los tres métodos de ensayo mencionados. Los resultados obtenidos se compararon para determinar la relación entre ellos y su relevancia en la evaluación de la resistencia de los adoquines. Este análisis comparativo comprende la idoneidad de cada método de ensayo y su aplicación al validar la resistencia de los adoquines hexagonales de hormigón, lo que puede involucrar significativamente el diseño y la construcción de pavimentos urbanos.

Abstract

This study focuses on comparing the effectiveness of the flexural test with indirect tensile and compression tests to validate the strength of hexagonal concrete pavers. An absolute study of the mechanical properties of the pavers was carried out through the three mentioned test methods. The results obtained were compared to determine the relationship between them and their relevance in the evaluation of the resistance of the pavers. This comparative analysis comprises a deeper understanding of the suitability of each test method and its application in validating the strength of hexagonal concrete pavers, which can significantly involve the design and construction of urban pavements.

Términos Claves

Adoquines hexagonales, Resistencia mecánica de adoquines hexagonales, Ensayo de flexión en adoquines hexagonales, Normativa y Validación de adoquines.

Capítulo I

Introducción

En la construcción de infraestructuras viales, la calidad y durabilidad de los materiales empleados son esenciales para garantizar la seguridad y la eficiencia del transporte. En Ecuador, los adoquines hexagonales representan un mecanismo importante en la pavimentación de calles y carreteras, debido a su disipación y resistencia mecánica. La normativa NTE INEN 3040 regula actualmente el método de ensayo de tracción indirecta para evaluar esta resistencia. No obstante, la seguridad de este método ha sido cuestionada por la comunidad técnica y los fabricantes, quienes expresan preocupaciones sobre la precisión y representatividad de los resultados obtenidos debido a la minuciosidad que se requiere en la elaboración y ejecución de este ensayo generando posibles errores humanos.

Esta sospecha ha impulsado la indagación de alternativas metodológicas que puedan ofrecer una mayor fiabilidad y una representación más exacta de las condiciones reales a las que están sometidos los adoquines en su uso cotidiano. En este contexto, el ensayo de flexión surge como una propuesta prometedora, respaldada por normativas Internacionales como la ASTM C140 y la NTC 2017, que podrían facilitar un marco complementario para la evaluación de la resistencia mecánica de los adoquines.

Esta indagación busca abordar esta problemática con un análisis empírico riguroso, que permite validar el ensayo de flexión como un método alternativo eficaz. Se compararán los resultados de este nuevo enfoque con los obtenidos por los métodos de tracción indirecta y de compresión, evaluando su consistencia y confiabilidad.

Esta investigación pretende ser una contribución a las normativas técnicas de calificación de adoquines en el Ecuador.

Objetivo General

Realizar el análisis comparativo del ensayo propuesto de flexión con los ensayos actuales de tracción indirecta y de compresión, para su validación en adoquines hexagonales.

Objetivos Específicos

- Revisar el alcance de la normativa actual NTE INEN 3040, en cuanto a los ensayos de calificación de adoquines, así como otras normas de la región y del continente.
- Recopilar información sobre la metodología y procedimientos de los ensayos de tracción indirecta, de compresión y de flexión utilizados en la industria de la construcción vial.
- Realizar las pruebas de tracción indirecta según la normativa local, las pruebas de compresión y los de flexión conforme a las normativas internacionales
- Realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos de los tres ensayos.
- Interpretar los resultados, elaborar conclusiones y recomendaciones que sirven de aporte a una futura actualización de la norma NTE INEN 3040.

Justificación

Justificación Teórica

Relevancia de la Normativa. De acuerdo a la normativa (INEN, 2016) establece la prueba de tracción indirecta como método estándar para calificar la resistencia mecánica de los adoquines hexagonales en Ecuador. En la práctica y, tal como se mencionó anteriormente, muchos constructores no confían en los posibles errores que puedan cometerse en la ejecución del ensayo, lo que plantea la necesidad de explorar alternativas confiables y representativas basadas en normativas internacionales como la ASTM C140 y NTC 2017.

Validación Empírica. La investigación proporcionará una validación empírica del ensayo de flexión como método alternativo para evaluar la resistencia mecánica de los adoquines hexagonales. Esta información ayudará a respaldar la adopción de un nuevo método basado en la observación

Consistencia de Resultados. Al comparar y comprobar los resultados de los ensayos de tracción indirecta, de compresión y de flexión, se evaluará la consistencia y confiabilidad de cada método. Para garantizar la precisión en la valoración de la calidad en la resistencia mecánica de los adoquines de hormigón que constituyen parte de la estructura vial.

Representatividad de Condiciones Reales. La selección del ensayo de flexión se justifica teóricamente debido a su capacidad para simular condiciones de carga de forma más precisa a las que están expuestos los adoquines hexagonales en la práctica. Esto asegura una evaluación más exacta y representativa de su resistencia mecánica.

Impacto en la Industria de la Construcción. La validación de un nuevo método de ensayo como es el de flexión para valorar la calidad de los adoquines tendrá un impacto

positivo en la industria de la construcción vial. Además, los fabricantes de adoquines podrán contar con una herramienta confiable alternativa a las existentes, para evaluar la calidad de sus productos. A su vez aportará en la mejora de la seguridad y durabilidad de las pavimentaciones viales en todo el país.

Planteamiento del Problema

La investigación parte de nuestra experiencia profesional que ha permitido observar una evidente desconfianza entre los constructores en Ecuador hacia la fiabilidad del ensayo de tracción indirecta para evaluar la resistencia del adoquín hexagonal, por ello según la normativa (INEN, 2016) menciona que posibles resultados imprecisos pueden llevar a una inadecuada calificación de la calidad del producto, provocando pavimentaciones defectuosas y riesgos de seguridad vial. Por ello, se hace urgente proponer un nuevo ensayo que ofrezca resultados más confiables sobre la resistencia mecánica de los adoquines de hormigón.

El ensayo de flexión se plantea como una alternativa viable para abordar esta problemática, ya que permite evaluar la resistencia del adoquín bajo cargas simétricas y asimétricas, lo que refleja de manera más precisa las condiciones de ejecución del ensayo y la confiabilidad de los resultados.

Por tanto, esta investigación se focalizará en el desarrollo y validación del ensayo de flexión, como un procedimiento alternativo confiable y representativo para valorizar la resistencia mecánica de los adoquines hexagonales en el medio de la industria de la construcción en nuestro país.

Estado del Arte

El presente capítulo tiene como objetivo presentar un análisis detallado del estado del arte relacionado con el análisis comparativo de diferentes métodos de ensayo para la evaluación de las propiedades mecánicas en adoquines hexagonales de hormigón. Se tratarán aspectos relevantes de cada tipo de ensayo: flexión, tracción indirecta y compresión, así como su aplicación en ingeniería civil, en particular en la durabilidad y resistencia de los adoquines. En el contexto de esta investigación, se concentrará en la normativa actual y los métodos de ensayo aplicados para evaluar la resistencia en adoquines hexagonales de hormigón, específicamente en nuestro país.

Adoquines de Hormigón

Los adoquines hexagonales de hormigón se han convertido en una opción popular para el pavimento debido a su versatilidad, estética y resistencia. Diversos estudios han destacado sus propiedades mecánicas y su capacidad para soportar cargas dinámicas y estáticas, lo que los convierte en un material preferido para áreas urbanas y rurales, a su vez la calidad del hormigón influye directamente en la duración y el rendimiento de adoquines, lo que resalta la importancia de realizar ensayos mecánicos precisos. (Ceballos-Medina, 2021)

A continuación, se presentan los aspectos más relevantes:

Estado Actual de la normativa

Norma NTE INEN 3040. (INEN, 2016)

Según la normativa ecuatoriana (INEN, 2016) especifica que los métodos para el ensayo de tracción indirecta en materiales de construcción como el hormigón, en el cual se proporcionan directrices detalladas para realizar el ensayo de manera consistente y precisa, incluyendo aspectos como:

- **Especificaciones del Espécimen:** Requisitos sobre la forma y las dimensiones de los especímenes, adaptados en este caso para los adoquines hexagonales.

- **Preparación y Curado de los Especímenes:** Instrucciones sobre cómo deben curarse los adoquines antes del ensayo para asegurar la representatividad de los resultados.
- **Procedimientos de Ensayo:** Detalles sobre la configuración de la máquina de ensayo. La aplicación de la carga y como se deben registrar y calcular los datos.
- **Criterios de Aceptación:** Requisitos mínimos que deben cumplir los adoquines en términos de resistencia a la tracción indirecta.

Ensayo de Tracción Indirecta en adoquines Hexagonales de Hormigón.

El ensayo de tracción indirecta es un método manejado para determinar la resistencia a la tracción de los materiales. Este ensayo se realiza aplicando una carga axial, lo que ocasiona tensiones de tracción en el plano transversal. Siendo un ensayo menos utilizado para esta clase de elementos, puede facilitar resultados valiosos sobre la capacidad de los adoquines para recibir tensiones generadas por cargas accidentales o dinámicas (Díaz, 2022).

El objetivo de esta norma técnica ecuatoriana es regular los requisitos y los métodos para ensayar adoquines prefabricados de hormigón y sus accesorios. Estos adoquines son convenientes para uso en áreas de tránsito de personas y vehículos en espacio residenciales, comerciales, industriales, públicos o privados, ya sea al aire libre o bajo techo. La norma no cubre aspectos de visibilidad o factibilidad de los adoquines (INEN, 2016).

Conceptos Básicos de la INEN 3040

Materiales y Propiedades: Especifica los materiales y las propiedades que deben cumplir los adoquines prefabricados de hormigón. Incluyen requisitos de dimensiones, resistencia y durabilidad para asegurar su adecuada función en el pavimento.

Método de ensayo: Define los métodos de ensayo necesarios para verificar que los adoquines cumplen con las especificaciones establecidas. Esto incluye pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y desgaste, entre otras (INEN, 2016).

Aplicaciones: La norma aplica a los adoquines utilizados en áreas sometidas a tránsito peatonal y vehicular, cubriendo tanto aplicaciones en exteriores como interiores, y en diferentes tipos de proyectos residenciales, comerciales e industriales (INEN, 2016).

Actualización y Vigencia: La última versión de la norma es la NTE INEN 3040:2016. A pesar de los años desde su publicación, no habido nuevas revisiones o actualización reportadas hasta la fecha (INEN, 2016).

Referencias Normativas. La INEN 3040 también referencia una serie de normativas internacionales para garantizar la precisión en las especificaciones y métodos de ensayo, como la serie ISO sobre la calidad superficial y ensayos de dureza, y normas relacionadas con el muestreo y la inspección de materiales (INEN, 2016).

El ensayo de tracción indirecta es una técnica utilizada para medir la resistencia a la tracción de materiales como el hormigón, aplicando una carga compresiva en los extremos de un espécimen. Aunque tradicionalmente se realiza en especímenes¹ cilíndricos, este método se adapta a adoquines hexagonales de hormigón para evaluar su capacidad de resistir tensiones de tracción. (INEN, 2016)

En el contexto de los adoquines hexagonales, este ensayo permite determinar como el adoquín responde a las fuerzas que intentan dividirlo, lo cual es importante para su desempeño bajo cargas reales en pavimentos (INEN, 2016).

¹ Especímenes: Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas. (INEN, 2016)

Procedimiento del Ensayo. Según la norma (INEN, 2016) menciona que el ensayo de tracción indirecta en adoquines hexagonales de hormigón sigue un procedimiento específico, adaptado para este tipo de geometría.

Preparación de la Muestra:

- Se seleccionan adoquines hexagonales representativos del lote a probar.
- Los adoquines deben estar curados adecuadamente, generalmente durante 28 días, para asegurar que se ha alcanzado la resistencia adecuada antes del ensayo.

Montaje en la Máquina de Ensayo:

- El adoquín hexagonal se coloca en una máquina de ensayo de compresión (INEN, 2016).
- Se deben utilizar platinas de carga para aplicar una carga uniformemente a través de dos caras opuestas del hexágono. Esto induce tensiones de tracción en la dirección perpendicular a la carga aplicada (INEN, 2016).

Aplicación de la Carga:

- La carga se aplica de manera continua y uniforme hasta que se produce la fractura del adoquín (INEN, 2016).
- Se debe asegurar la carga se aplica exactamente a lo largo de los puntos medios de las caras opuestas para obtener resultados precisos (INEN, 2016).

Registro de los Datos:

- Se registra la carga máxima soportada por el adoquín antes de la fractura.
- Se miden con precisión para los cálculos posteriores las dimensiones del

adoquín, especialmente el espesor y el diámetro efectivo entre las caras opuestas.

Cálculo de la Resistencia a la Tracción Indirecta

Según la normativa (INEN, 2016) la resistencia a la tracción indirecta (f_{ti}) se calcula utilizando la fórmula adaptada para adoquines hexagonales:

$$f_{ti} = \frac{2P}{\pi tL}$$

donde:

- P es la carga máxima aplicada,
- t es el espesor del adoquín,
- L es la longitud efectiva entre las caras opuestas donde se aplicó la carga (equivalente al "diámetro" para el caso hexagonal).

Relevancia del Ensayo de Tracción Indirecta

La resistencia a la tracción es una propiedad fundamental para los adoquines de hormigón, y su medición tiene varias implicaciones importantes (INEN, 2016).

Capacidad para Resistir Fuerzas de Cizallamiento y Fractura:

Los adoquines de hormigón en pavimentos están sometidos a fuerzas que pueden inducir tensiones de tracción, especialmente debido a las cargas de tráfico y las condiciones ambientales. La resistencia a la tracción indirecta es crucial para asegurar que los adoquines puedan soportar estas tensiones sin fracturarse (INEN, 2016).

Evaluación de la Calidad del Material:

Este ensayo es fundamental para el control de calidad en la fabricación de adoquines hexagonales. Proporciona una medida directa de la resistencia a la tracción de

material, ayudando a garantizar que los adoquines cumplen con las especificaciones y normativas de resistencia requeridas

Durabilidad y Desempeño en el servicio:

La capacidad de un adoquín para resistir las tensiones de tracción se relaciona directamente con su durabilidad y su vida útil. Adoquines con alta resistencia a la tracción son menos propensos agrietarse o fallar bajo cargas repetidas.

Optimización del Diseño y las Mezclas de Hormigón:

Los resultados de la prueba de tracción indirecta ayudan en el esquema de mezclas de hormigón más resistentes y en la optimización del proceso de fabricación de adoquines.

Por lo señalado para evaluar la resistencia a la tracción en adoquines hexagonales de hormigón, el ensayo de tracción indirecta es fundamental ya que asegura que los adoquines puedan soportar las tensiones de tracción inducidas en las cargas en condiciones de uso real, al proporcionar una medida precisa de la resistencia del material, el ensayo de tracción indirecta contribuye significativamente al control de la calidad, la durabilidad y la optimización del diseño en la fabricación de adoquines de hormigón (INEN, 2016).

Ensayo de Flexión

Según la normativa (ICONTEC, 2018) el ensayo de flexión es uno de los métodos más comúnmente utilizados para evaluar la resistencia de los adoquines. Este ensayo simula condiciones de carga que los adoquines enfrentarían en un ambiente real, proporcionando información valiosa acerca de su comportamiento bajo cargas aplicadas.

Además, de acuerdo a la norma (ASTM C293, 2010), los ensayos de flexión ofrecen un panorama claro de la calidad del adoquín. Diversas investigaciones (Martínez, 2019; Rodríguez et al., 2020) han mostrado la correlación entre esfuerzos de flexión y fallas del material en condiciones de tráfico.

También la norma (ICONTEC, 2018) menciona que el ensayo de flexión tiene como objetivo evaluar la resistencia del adoquín a la flexión, simulado mediante la aplicación de una carga puntual o distribuida en un borde, siguiendo los siguientes pasos:

- Preparación de las muestras.
- Aplicación de la carga hasta la rotura.
- Registro de los valores de la carga máxima.

Los resultados obtenidos se expresan en mega pascales (MPa) y permiten calcular la resistencia a la flexión del adoquín de hormigón (ICONTEC, 2018).

Normativa ICONTEC NTC 2017.

De acuerdo a la norma (ICONTEC, 2018) se establece los métodos de ensayo y los requisitos de calidad para los adoquines de hormigón en Colombia, incluyendo especificaciones sobre:

- **Métodos de muestreo:** Cómo seleccionar los adoquines para el ensayo.
- **Preparación y Curado:** Instrucciones sobre cómo deben curarse los adoquines antes del ensayo.
- **Procedimientos de ensayos:** Detalles sobre cómo realizar el ensayo de flexión, incluyendo la configuración de la máquina y la aplicación de la carga.
- **Criterios de Aceptación:** Requisitos mínimos que deben cumplir los adoquines en términos de resistencia a la flexión para ser considerados adecuados para su uso.

La norma también da lineamientos sobre cómo interpretar los resultados y qué hacer si los adoquines no cumplen con los criterios especificados.

Por lo señalado, el ensayo de flexión en adoquines de hormigón, siguiendo la norma ICONTEC NTC 2017, es fundamental para evaluar la capacidad de los adoquines para soportar cargas en aplicaciones prácticas. Este ensayo asegura que los adoquines sean lo suficientemente resistentes y duraderos para su uso en pavimentos y otras infraestructuras,

proporcionando una medida crítica de la calidad y la fiabilidad del material (ICONTEC, 2018).

Ensayo de Compresión

Referente a los ensayos de compresión según la normativa (ASTM C140, 2018) menciona que son cruciales para la caracterización de materiales de construcción, incluidos los adoquines hexagonales de hormigón. Este tipo de ensayo evalúa la respuesta del material bajo cargas de compresión axial.

De acuerdo a la norma (ASTMC293, 2010), estos ensayos son fundamentales para el control de calidad y permite estimar la resistencia del hormigón a largo plazo.

Por lo tanto, varios estudios han demostrado que la resistencia a la compresión es un buen indicador del desempeño general del hormigón en aplicaciones de pavimentación (ASTM C140, 2018).

Además la norma (ASTM C140, 2018) indica que el ensayo de compresión es uno de los más comunes en la industria de la construcción y mide la resistencia del adoquín a una carga de compresión aplicada axialmente con el siguiente procedimiento:

- Preparación y alineación de las muestras.
- Aplicación de una carga axial creciente hasta el colapso del adoquín.
- Registro de la carga máxima soportada por el adoquín.

Los resultados del ensayo de compresión permiten calcular la resistencia a la compresión en MPa, un indicador clave en la durabilidad del adoquín (ASTM C140, 2018).

Norma ASTM C140.

Según la norma (ASTM C140, 2018) proporciona directrices detalladas para la realización de ensayos de compresión en adoquines de hormigón cubriendo aspectos como:

- **Requisitos de Muestreo:** Como seleccionar muestras representativas de adoquines para el ensayo.
- **Procedimientos de Ensayo:** Los pasos específicos para realizar el ensayo de compresión, asegurando la precisión y la repetibilidad.
- **Cálculos y Reportes:** Como calcular la resistencia a la compresión y como reportar los resultados de manera consistente.

Procedimiento del Ensayo de Compresión. Según la norma (ASTM C140, 2018) el procedimiento para el ensayo de compresión en adoquines hexagonales de hormigón incluye los siguientes pasos:

Selección y Preparación de las Muestras:

- Se seleccionan adoquines representativos del lote que se va a probar, estos deben estar completamente curados y sus superficies deben ser planas y paralelas.
- Se miden con precisión las dimensiones de los adoquines para calcular el área de la sección transversal efectiva.

Colocación en la máquina de Ensayo:

- Se coloca el aduquín de manera que sus caras mayores estén en contacto con las placas de carga de la máquina de ensayo. Para adoquines hexagonales, es fundamental que la carga se aplique de forma centrada y perpendicular a las caras de soporte
- Se utilizan almohadillas de carga para distribuir la fuerza de manera uniforme, minimizando los efectos de las irregularidades superficiales. (ASTM C140, 2018)

Aplicación de la Carga:

- La carga se aplica a una velocidad controlada, incrementándose de manera continua hasta que el adoquín falla por fractura.
- La velocidad de aplicación de la carga debe ser conforme a lo especificado en la norma ASTM C140 para asegurar resultados precisos. (ASTM C140, 2018).

Registro de la Carga de Ruptura.

Según la normativa (ASTM C140, 2018) se registra la carga máxima que el adoquín soporta antes de fracturarse.

Cálculo de la Resistencia a la Compresión.

Para calcular la resistencia a la compresión se divide la carga máxima registrada por el área de la sección transversal del adoquín (ASTM C140, 2018).

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

donde P es la máxima carga aplicada y A es el área de la sección transversal del adoquín.

Parámetros Medidos en el Ensayo.

Los parámetros clave que se miden durante el ensayo de compresión en adoquines hexagonales de hormigón incluyen:

- **Carga Máxima Aplicada (P):** La fuerza máxima que el adoquín puede soportar antes de romperse.
- **Área de Sección Transversal (A):** El área efectiva de la cara del adoquín sobre la que la carga es aplicada.
- **Resistencia a la Compresión (f_c):** La resistencia del adoquín calculada a partir de la máxima carga y el área de la sección transversal.

Importancia de la Resistencia a la Compresión en la Evaluación de la Resistencia del Hormigón.

La resistencia a la compresión es un indicador esencial de la calidad y la capacidad de carga de los adoquines de hormigón. (ASTM C140, 2018) Su importancia radica en varios aspectos:

- Capacidad de Carga y Durabilidad.
- Evaluación de la Calidad del Material.
- Conformidad con Normativas y Estándares.
- Predicción del Desempeño a Largo Plazo.

Cumplir con la norma (ASTM C140, 2018) asegura que los resultados del ensayo sean fiables y comparables, lo cual es muy importante para la valoración de la calidad y la capacidad de los adoquines de hormigón.

Referencias

- ICONTEC NTC 2017: Normativa para la evaluación de la calidad de los adoquines de hormigón en Colombia.
- ASTM C293: Estándar para el ensayo de flexión en materiales de construcción
- UNE-EN 1338: Normativa europea sobre adoquines de hormigón
- NTE INEN 3040: Normativa para el ensayo de tracción indirecta en hormigón.
- ASTM C496/C496M: Estándar para el ensayo de tracción indirecta en cilindros de concreto.
- Icontec: Documentación técnica y manuales de procedimientos de ensayos de materiales de construcción.

Fuentes Adicionales

- Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN)
- Manual de Ensayos de Materiales (ICONTEC)
- Guía para Ensayos de Hormigón (ASTM)
- ASTM C293/C293M: Estándar para el ensayo de flexión en materiales de construcción.
- ReseachGate - Evaluación de la resistencia a la compresión del hormigón
- Ingecivil - Ensayo de compresión en adoquines de hormigón.

Comparación de Método de Ensayo

La comparación de los diferentes métodos de ensayo es fundamental para validar su uso en la evaluación de adoquines. Mientras que el ensayo de flexión provee información importante sobre la resistencia bajo condiciones de carga reales, los ensayos de tracción indirecta y compresión brindan perspectivas complementarias. La investigación de (Zelada, 2023) concluye que, al combinar los resultados de estos tres métodos, se logra un entendimiento más profundo del comportamiento del adoquín y su capacidad para resistir diferentes tipos de carga.

El análisis comparativo de los métodos de ensayo de flexión, tracción indirecta y compresión es esencial para la validación de adoquines hexagonales de hormigón. A medida que avanza la investigación en este campo, se hace evidente que una guía multidimensional brinda una comprensión buena de las propiedades mecánicas de los adoquines. Se espera que esta tesis beneficie al desarrollo de normativas más precisas y efectivas para el uso de adoquines en aplicaciones urbanas, optimizando su rendimiento y durabilidad (Zelada, 2023).

A partir de los ensayos anteriormente mencionados, se generarán gráficos que cotejen los resultados de cada uno de los métodos. Estos gráficos permitirán visualizar las diferencias en términos de resistencia a la flexión, tracción indirecta y compresión (Zelada, 2023). Se usarán las siguientes herramientas:

- Gráficos de barras para cotejar la resistencia obtenida en cada ensayo.
- Tablas comparativas de valores medidos y calculados.
- Diagramas de dispersión que instruyan la correlación entre los ensayos de flexión, tracción y de compresión.

El diseño del arte en este capítulo está encaminado a proporcionar una clara comprensión de los métodos de ensayo y su aplicación en el análisis de adoquines hexagonales de hormigón. Los resultados gráficos proporcionarán el análisis comparativo

entre los diferentes ensayos, lo que accederá a validar la aplicabilidad de cada método en la industria de la construcción vial (Zelada, 2023)

Este capítulo proporciona una base sobre la cual se desarrolla la investigación, integrando conceptos teóricos y prácticos que permitirán una mejor comprensión del análisis comparativo de los ensayos seleccionados. Ante la creciente importancia de los adoquines en la infraestructura civil, este estudio se propone ser un aporte significativo al campo de la ingeniería civil. (Zelada, 2023)

Capítulo II Marco Teórico

Antecedentes Históricos

Evolución de los ensayos en hormigón

A lo largo de los años, se han creado y perfeccionado varios ensayos para evaluar las propiedades mecánicas del hormigón a fin de avalar la calidad y la resistencia de este material esencial en la construcción de la ingeniería civil.

A continuación, se presenta una breve historia de los ensayos mecánicos en materiales de construcción, con una orientación particular en el desarrollo y la ejecución de pruebas de flexión de tracción indirecta y de compresión en el hormigón.

Primera Etapa: origen y desarrollo de los ensayos

Con el progreso y uso del cemento Portland en la primera mitad del siglo XXI, se forma una nueva etapa en la construcción con hormigón. La necesidad de certificar la calidad y la resistencia del hormigón llevo a los primeros intentos de estandarización de pruebas.

Ensayo de Compresión. El primer ensayo en ser perfeccionado fue el ensayo de compresión, ya que este ensayo se usó desde finales del siglo XIX debido a que este tipo de esfuerzo es la principal característica mecánica que resiste el hormigón; es decir su capacidad para resistir fuerzas axiales.

Desarrollo y Estandarización

Principios del Siglo XX. A medida que el uso del hormigón se expandía, surgió la necesidad de métodos estandarizados para evaluar sus propiedades. Las primeras normativas sobre ensayos de compresión fueron determinadas por entidades como a American Society for Testing and Materials (ASTM) (ASTM C140, 2018).

Ensayo de Flexión. En este período, también se desarrollaron los ensayos de flexión para calificar la resistencia del hormigón a los esfuerzos de flexión, principalmente en elementos estructurales significativos como vigas y losas. La flexión permite evaluar la capacidad del hormigón para resistir tensiones transversales.

Avances en Tecnología y Metodología

Mediados del Siglo XX. La investigación en hormigón se aumentó con el auge de la construcción en la postguerra. Se crearon nuevas técnicas y metodologías para perfeccionar la precisión y la recurrencia de los ensayos.

Ensayo de Tracción Indirecta (ensayo brasileño). Se incluyó en esta época y admitió una evaluación más precisa de la resistencia a la tracción del hormigón. Este ensayo se transformó en un complemento importante para estimar la resistencia a la tracción debido a que esta propiedad en el hormigón es respectivamente baja respecto a la resistencia a la compresión, sin embargo, esta propiedad es esencial para el diseño y evaluación estructural.

Modernización y Digitalización

Finales del siglo XX y siglo XXI. Con el avance de la tecnología las metodologías de ensayo han atravesado una modernización significativa; la integración de equipos de medición digital y sistemas automatizados ha permitido perfeccionar la precisión y la eficiencia de los ensayos.

Normativas Internacionales. La Universalización en la industria de la construcción ha llevado a concertar normativas y estándares para la valoración de las propiedades mecánicas de los elementos de las obras civiles y organizaciones internacionales como la ASTM, ISO y la European Committee for Standardization (CEN) han desarrollado estándares que son aceptadas en todo el mundo.

Ensayos no destructivos. Igualmente, de los ensayos tradicionales, se han implementado técnicas no destructivas, como la resonancia ultrasónica y la tomografía computarizada, que permiten evaluar las características del hormigón sin dañarlo.

Importancia de los Ensayos Mecánicos en Hormigón

La transformación de los ensayos mecánicos ha sido trascendental para garantizar la seguridad y perpetuación de las estructuras de hormigón. Cada tipo de ensayo provee información valiosa sobre varios aspectos del comportamiento del hormigón.

Ensayo de Compresión. Permite determinar la resistencia del hormigón a las fuerzas de compresión que están sometidas las estructuras.

Ensayo de Flexión. Determinante para evaluar la capacidad del hormigón para resistir tensiones transversales, considerable también en estructuras viales, vigas, losas, etc.

Ensayo de Tracción Indirecta. Facilita una evaluación eficaz de la resistencia a la tracción, una propiedad importante para resistir a la fractura y disminuir el deterioro del material.

La historia de los ensayos mecánicos en hormigón manifiesta el avance continuo en la búsqueda de método más precisos y confiables para evaluar este material esencial en la construcción. Desde los primeros ensayos de compresión hasta las actuales técnicas no destructivas, han ayudado significativamente a mejorar la calidad, seguridad y durabilidad de las estructuras de hormigón en todo el mundo.

Conceptos Clave

Adoquines de Hormigón

Descripción y Características de los Adoquines Hexagonales de Hormigón.

Los adoquines de hormigón son prefabricados para pavimentar calles, aceras, parques y otras áreas. Los adoquines hexagonales, en particular, son una opción popular debido a su forma geométrica que concede un diseño atractivo y funcional.

A continuación, se detallan sus características físicas y mecánicas.

Características Físicas

- **Composición:** Están elaborados con una mezcla preparada por cemento Portland, agregados finos, gruesos y agua, es decir de hormigón de textura seca y vibro compactado, en algunos casos pueden contener aditivos para optimizar ciertas características propias como la resistencia al desgaste o la impermeabilidad.
- **Forma:** Los adoquines hexagonales, gracias a su diseño de seis lados permite un encaje perfecto entre piezas, proporcionando una distribución uniforme de las cargas a los que están sometidos.
- **Estética, colores y textura:** Ofrecen una apariencia visualmente atractiva, se pueden fabricar de diferentes colores, tonos y texturas, lo que permite optimizar el diseño paisajístico de las áreas pavimentadas.
- **Tamaño y Espesor:** Generalmente, los adoquines hexagonales vienen en varios tamaños y espesores, según el uso. Generalmente los espesores varían entre 6 cm y 10 cm.
- **Absorción de Agua:** Tienen una baja absorción de agua, lo que reduce el riesgo de daños por congelación y descongelación en climas fríos.

Características Mecánicas

- **Durabilidad:** Son altamente duraderos y capaces de soportar condiciones climáticas adversas y tráfico pesado, gracias a la resistencia del hormigón.
- **Resistencia a la Compresión:** Los adoquines de hormigón muestran alta resistencia a la compresión, lo que los hace apropiados para soportar cargas pesadas.
- **Resistencia a la Flexión:** Aunque el hormigón posee resistencia a la flexión menor en comparación con la compresión, los adoquines hexagonales están diseñados para distribuir tensiones y evitar fracturas.
- **Resistencia a la Rotura por Tracción Indirecta:** La resistencia a la rotura por tracción indirecta es crucial para evitar el agrietamiento y mantener la integridad estructural de los adoquines bajo cargas de tracción y flexión.
- **Resistencia al Desgaste:** Tienen una alta resistencia al desgaste superficial, lo que los hace ideales para áreas con tránsito peatonal y vehicular.

Usos Comunes en la Construcción

- **Pavimentación de Calles y Caminos:** Utilizados en zonas urbanas y rurales para la pavimentación de calles y caminos, ofreciendo una superficie estable y duradera.
- **Áreas Peatonales:** Ideal para aceras, plazas y parques debido a su resistencia al desgaste y su estética atractiva.
- **Estacionamientos:** Apropriados para estacionamientos a causa de su capacidad para soportar cargas vehiculares pesadas.
- **Jardines y espacios Públicos:** Empleados en jardines y espacios públicos para establecer senderos y áreas de esparcimiento, favoreciendo a un diseño paisajístico agradable.

- **Infraestructura Industriales:** Empleados en entornos industriales donde se solicitan superficies duraderas y resistentes al tráfico pesado y condiciones adversas.

Ventajas y desventajas sobre otro tipo de pavimentación

Los adoquines hexagonales de hormigón son una opción variable y duradero para una diversidad de aplicaciones de pavimentación. Sus propiedades mecánicas robustas y su simplicidad en el mantenimiento los hacen una elección accesible en la construcción de infraestructuras urbanas y rurales. Además, al fabricarse en diferentes colores y texturas permite una combinación estética en proyectos paisajísticos.

Las limitaciones que presenta un adoquinado es estar expuesto a la presencia de agua a presión que afecta directamente a las juntas, así mismo el pavimento con adoquines no es recomendable cuando las velocidades de los vehículos a circular superan los 80km/h ya que se genera ruido y vibración que afecta directamente a los usuarios.

Ensayo de Flexión en Adoquines de Hormigón

Definición

El ensayo de flexión evalúa la resistencia de los adoquines de hormigón a la flexión, es decir su capacidad para resistir fuerzas que tienden a flexionarlos. Esta prueba es concluyente para afirmar que los adoquines puedan soportar las cargas aplicadas durante su uso, como el tráfico vehicular y peatonal, sin romperse ni deformarse significativamente.

Procedimiento del Ensayo de Flexión

Según la norma ICONTEC² NTC 2017 tal como lo cito en la normativa (ICONTEC, 2018) el procedimiento específico del ensayo de flexión para adoquines de hormigón incluye los siguientes pasos:

² ICONTEC: Organismo Nacional de Normalización de Colombia

Preparación de la Muestra:

- Seleccionar una muestra característica de adoquines de hormigón del lote a probar.
- Asegurarse de que los adoquines estén bien curados, siguiendo un período estándar de 28 días de curado³.

Montaje en la Máquina de Ensayo:

- Ubicar el adoquín en una máquina de prueba de flexión, utilizando una configuración de tres puntos de apoyo. En este montaje, el adoquín se posa en dos puntos y se emplea una carga en el punto medio. (ICONTEC, 2018)
- Verificar que la distancia entre los puntos de apoyo y el punto de aplicación de la carga debe cumplir con las especificaciones de la norma para asegurar la precisión de los resultados (ICONTEC, 2018).

Aplicación de la Carga:

- Aplicar la carga de manera gradual en el punto medio del adoquín a una velocidad de carga constante, hasta que el adoquín se rompa.
- Registrar la carga aplicada durante el ensayo hasta el momento de su ruptura.

Registro de los Datos:

- Anotar la carga máxima soportada por el adoquín antes de la fractura.
- Registrar las dimensiones del adoquín para el cálculo de la resistencia a la flexión.

³ Curado: Endurecido, seco, fortalecido o curtido.

Parámetros Medidos en el Ensayo de Flexión

Según la (ICONTEC, 2018) menciona que, durante el ensayo de flexión en adoquines de hormigón, se miden varios parámetros críticos:

Carga Máxima Aplicada (P)

Es la carga máxima que el adoquín soporta antes de romperse, medida en Newtons⁴ (N). (ICONTEC, 2018)

Resistencia a la Flexión (fr)

Según (ICONTEC, 2018) menciona que se debe calcular a partir de la carga máxima aplicada y las dimensiones del adoquín. Para una configuración de tres puntos, la fórmula es:

$$fr = \frac{3PL}{2bd^2}$$

donde:

P es la carga máxima aplicada,

L es la distancia entre los apoyos,

b es el ancho del adoquín,

d es la profundidad (altura) del adoquín.

Desplazamiento en el Punto de Aplicación de la Carga (δ)

Es la deformación medida en el punto donde se aplica la carga, aunque no siempre es requerido por todas las normativas (ICONTEC, 2018).

⁴ Newtons: Unidad de fuerza del sistema internacional, equivalente a la fuerza que, aplicada a un cuerpo cuya masa es de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cada segundo. (Símbolo N). (RAE, 2014)

Importancia de la Flexión en la Evaluación de la Resistencia del Hormigón

La resistencia a la flexión es una medida crítica en la evaluación de los adoquines de hormigón por varias razones:

Capacidad de Soportar Cargas Dinámicas y Estáticas

Los adoquines de hormigón deben soportar cargas significativas, tanto dinámicas, por ejemplo, el tráfico de vehículos, como estáticas, por ejemplo, estructuras pesadas. La resistencia a la flexión asegura que los adoquines puedan resistir estas fuerzas sin romperse.

Durabilidad y Vida Útil

Los adoquines con alta resistencia a la flexión tienden a ser más durables y tienen vida útil más larga, ya que tienen una tendencia menor al agrietamiento y a fallar bajo cargas repetidas.

Evaluación de la Calidad del Material

La resistencia a la flexión facilita una evaluación integral de la calidad del material del adoquín y de su capacidad para trabajar bajo condiciones de carga reales.

Control de Calidad y Cumplimiento Normativo

Los resultados del ensayo de flexión se emplean para asegurar que los adoquines cumplen con las especificaciones y normativas de calidad, como las establecidas por INCONTEC. Esto es esencial para avalar la seguridad y la fiabilidad en las aplicaciones donde se utilizan los adoquines.

Ensayo de Compresión en Adoquines Hexagonales de Hormigón

El ensayo de compresión es un análisis que se utiliza para determinar la resistencia máxima que un adoquín de hormigón puede soportar antes de fragmentarse bajo una carga

aplicada de forma perpendicular a su superficie. En el contexto de adoquines hexagonales, este ensayo evalúa su desempeño bajo las cargas reales que experimentarían en un pavimento.

El ensayo de compresión en adoquines de hormigón es decisivo para evaluar la capacidad de estos especímenes de soportar cargas sin fallar. Esto es especialmente relevante para adoquines hexagonales, ya que su forma puede influir en cómo distribuyen las tensiones cuando están en uso.

Capacidad de Carga y Durabilidad

Los adoquines de hormigón en pavimentos deben resistir cargas pesadas sin fallar. Una alta resistencia a la compresión asegura que los adoquines pueden soportar estas cargas sin sufrir daños estructurales significativos.

Evaluación de la Calidad del Material

La resistencia a la compresión evidencia la calidad del hormigón usado en adoquines con alta resistencia a la compresión tienden a ser más durables y menos expuestos a daños bajo cargas de servicio.

Conformidad con Normativas y Estándares

Los ensayos de compresión son fundamentales para garantizar que los adoquines cumplan con las especificaciones establecidas en normas, como la ASTM C 140. Cumplir con estos estándares es vital para que los productos sean aceptados en el mercado y su uso en proyectos de construcción.

Predicción del Desempeño a Largo Plazo

La resistencia a la compresión facilita una base para predecir cómo los adoquines soportarán a lo largo del tiempo bajo condiciones reales de uso, como el tráfico repetitivo y las cargas climáticas.

El Control De Calidad

Se define como el conjunto de actividades, metodológicas utilizadas y procesos diseñados para estandarizar algo, garantizando que el producto cumpla con los estándares de calidad establecidos, así como las expectativas de los clientes. Su objetivo principal es identificar y corregir errores o desviaciones en las fases de producción o prestación del servicio para asegurar un resultado final satisfactorio (Camisón et al, 2006).

Principales Características Del Control De Calidad

- **Prevención de Defectos:** Implica monitorear y verificar cada etapa de proceso para evitar errores.
- **Cumplimiento de Estándares:** Asegura que los productos o servicios se ajusten a normas específicas, como las ISO u otras regulaciones del sector.
- **Revisión Sistemática:** Consiste en realizar inspecciones, pruebas y auditorías en diferentes puntos del proceso.
- **Satisfacción del Cliente:** Busca cumplir o superar las expectativas del usuario final.
- **Retroalimentación:** Los resultados del control de calidad se aplican para mejorar procesos y productos continuamente.

Importancia del Control de la Calidad

Según Camisón et al. (2006), la calidad de un producto se puede ver desde dos enfoques tradicionales que son:

- **Perceptiva:** Satisfacción de las necesidades del cliente.
- **Funcional:** Cumplir con las especificaciones requeridas.

La calidad funcional es más utilizada, ya que es más objetiva y fácil de determinar; esto permite a las empresas, implantar un sistema de calidad, que no es otra cosa, que una

estructura organizacional de responsabilidades y procesos. Para implantar un sistema, se tiene que establecer la misión empresarial, la visión y los valores de la empresa, así como las políticas de calidad de la misma (Camisón et al, 2006). Para esto, se requieren estándares que sirvan como base para auditar, como son las normas ISO 9000, ISO 14000, ISO 18000, ISO/IEC 17025 entre otras, que abordan temas tales como requisitos organizacionales, ambientales y de seguridad.

Control Estadístico de la Calidad

El control estadístico de la calidad consiste en un conjunto de actividades técnicas y administrativas propuestas para medir las características de la calidad de un producto, a su vez compararlas con los requisitos o especificaciones establecidas y aplicar acciones correctivas cuando se detectan discrepancias entre el desempeño real y los estándares definidos (Rodríguez & Fuentes, 2021).

Cálculo del Valor Medio (P).

El valor medio también conocido como media, es el promedio de un conjunto de números (Ruiz, 2020).

Se calcula así:

- Suma todos los números.
- Divide la suma por la cantidad de números.

En otras palabras, el valor medio es la suma de los números dividida por el conteo total.

Medidas de Dispersión – Varianza y Desviación.

Así como las medidas de tendencia central nos permiten identificar el punto central de los datos, las medidas de dispersión nos permiten determinar cuánto se dispersan los datos alrededor del punto central; es decir, nos indican cuánto se desvían las observaciones alrededor de su promedio aritmético (media). Este tipo de medidas son parámetros informativos que nos permiten conocer como los valores de los datos se reparten a través

del eje X, mediante un valor numérico que representa el promedio de dispersión de los datos. Las medidas de dispersión más importantes y las más utilizadas son la varianza y la desviación estándar típica (Flores et al., 2022).

Varianza (S^2), (σ^2).

Esta medida nos permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (media). Este promedio es calculado, elevando cada una de las diferencias al cuadrado (con el fin de eliminar los signos negativos), y calculando su promedio o media; es decir, sumando todos los cuadrados de las diferencias de cada valor respecto a la media y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan. Si la varianza es calculada a una población (total de componentes de un conjunto), la ecuación es (Flores et al., 2022).

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \mu)^2 + (X_2 - \mu)^2 + (X_3 - \mu)^2 + \dots + (X_z - \mu)^2}{N} = \frac{\Sigma(X_i - \mu)^2}{N}$$

Donde (σ^2) representa la varianza, (X_i) representa cada uno de los valores, (μ) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones ó tamaño de la población. En el caso que estemos trabajando con una muestra la ecuación que se debe emplear es:

$$S^2 = \frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + (X_3 - X)^2 + \dots + (X_z - X)^2}{N} = \frac{\Sigma(X_i - X)^2}{(n - 1)}$$

Donde (S^2) representa la varianza, (X_i) representa cada uno de los valores, (X) representa la media de la muestra y (n) es el número de observaciones o tamaño de la muestra. En la ecuación, se notará que se le resta uno al tamaño de la muestra; esto se hace con el objetivo de aplicar una pequeña medida de corrección a la varianza, intentando hacerla más representativa para la población. La varianza es la desviación estándar al cuadrado. (Flores et al., 2022).

Desviación Estándar o Típica (S).

El termino desviación estándar, introducida por Karl Pearson 1894, es una medida estadística que pondera a dispersión de un conjunto de datos respecto a su medida aritmética. Esta medida facilita un valor numérico que representa el promedio de la diferencia entre cada dato y la media (Flores at.,2022).

$$S = \sqrt{S^2}$$

Donde S^2 es la varianza

La desviación estándar es primordial para comprender la distribución de un conjunto de datos ya que:

- Proporciona una medida objetiva de la dispersión.
- Permite evaluar la variabilidad de los datos.
- Es esencial para la toma de decisiones informadas.

Además de las medidas de tendencia central (media, mediana y moda), la desviación estándar brinda una visión más completa y precisa de los datos, permitiendo:

- Identificar patrones y anomalías.
- Evaluar la consistencia de los datos.
- Realizar inferencias estadísticas.

La desviación estándar es un instrumento estadístico crucial para analizar y describir un conjunto de datos, permitiendo una comprensión más profunda y precisa de la realidad (Flores at.,2022).

Interpretación y Aplicación

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Explicado de otra manera, la desviación estándar es simplemente el “promedio” o variación deseada con respecto a la media aritmética (Mariano, 2017).

Puede ser descifrada como una medida de incertidumbre. La desviación estándar de un grupo repetido de medidas nos da la precisión de estas. Cuando se va a determinar si un grupo de datos está de acuerdo con el modelo teórico, la desviación estándar de esos datos es de vital importancia: si la media de los datos está demasiado alejada de la predicción (con la distancia medida en desviaciones estándar), entonces consideramos que los datos contradicen la teoría y esto es coherente, ya que las mediciones caen fuera del rango de valores en el cual sería razonable esperar que ocurrieran si el modelo teórico fuera correcto. La desviación estándar es uno de tres parámetros de ubicación centra; muestra la agrupación de los datos alrededor de un valor central (la media o promedio) (Mariano, 2017).

CAPITULO III

Ensayos en Adoquines

Debido a las condiciones del ensayo y a la geometría del adoquín al momento de la realización del ensayo de compresión se genera un efecto de confinamiento en el centro de éste generando una elevación artificial de la carga de rotura y dando resultados no precisos.

En base a las normativas NTE INEN 3034, ASTM C140, ICONTEC 2017, con las cuales se analizaron los resultados, se optó por recortar los adoquines hasta obtener muestras de 200mm de largo por 100mm de ancho y una altura de 78mm aproximadamente, con el fin de obtener muestras prácticamente idénticas que arrojen resultados más exactos y reducir la desviación estándar de los mismos, de esta manera al realizar el análisis estadístico se eviten resultados muy dispersos.

Figura 1

Muestras recortadas e identificadas.



Nota: Elaboración propia.

Resistencia A La Tracción Indirecta En Adoquines Norma NTE INEN 3040

(ANEXO 1)

El ensayo para medir la resistencia a la rotura de un adoquín, consistirá en ejercer una fuerza F sobre el mismo transmitida por medio de 2 piezas rectangulares de compresión (UNE, 2004).

La sección de corte en adoquines hexagonales se escogerá según los siguientes criterios:

- Adoquines rectangulares: eje de simetría longitudinal
- Adoquines cuadrados, hexagonales o similar: menor eje de simetría
- Otras formas: sección de corte más larga de forma que diste al menos 0,5 veces el espesor del adoquín de cualquier cara cara lateral en, al menos, el 75% del área de dicha sección (UNE, 2004).

“La carga de rotura se dará por unidad de longitud de rotura.”

Los Instrumentos utilizados para la realización de este ensayo son los siguientes:

- Calibrador digital.
- Equipo de placas metálicas de 300mm de largo, 10mm de ancho y 3mm de espesor
- Dos pedazos de madera de las mismas dimensiones de las placas metálicas.
- Prensa universal con capacidad de al menos 200KN.
- Bolígrafo
- Hoja de campo.
- Marcador permanente

Procedimiento De Ensayo

Previamente se debe preparar las muestras tomando los siguientes datos en las unidades correspondientes al sistema internacional (SI):

- Espesor.
- Masa.
- Longitud sobre la cual se aplica la carga.
- Área

Figura 2

Muestras marcadas y saturadas.



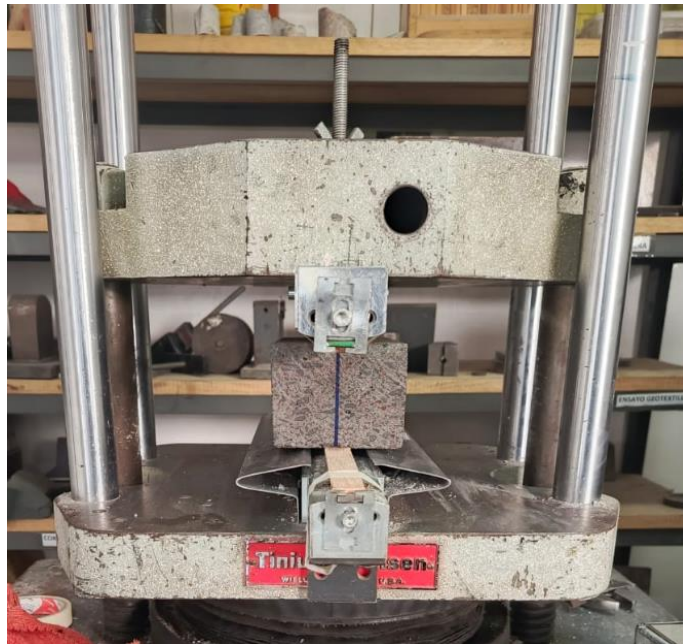
Nota: Elaboración propia.

Se debe señalar con el marcador permanente la mitad del adoquín en su cara superior y principalmente en su cara lateral para colocar las placas en el centro.

Colocar las placas metálicas sobre y debajo del adoquín junto con los pedazos de madera en las marcas que se hicieron anteriormente.

Figura 3

Vista del adoquín en posición para ensayo.



Nota: Elaboración Propia.

Una vez colocado el adoquín y centrado bajo el cabezal se le debe dar carga hasta provocar su falla.

Figura 4

Vista de falla del adoquín.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 5

Formato de Informe de Resultados.

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES										
NORMA DE REFERENCIA		NTE INEN 3040								
		IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha de Fabricación*										
Fecha de Rotura										
Edad										
INFORMACIÓN DEL ENSAYO										
Longitud de tracción indirecta (mm)										
Espesor de tracción indirecta (mm)										
Superficie de tracción Indirecta (mm²)										
Carga de rotura (N)										
Factor de corrección por espesor										
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)										
Carga por unidad de longitud (N/mm)										
RESUMEN DE RESULTADOS										
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima		Mpa								
Carga por unidad de longitud mínima		N/mm								
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)		Mpa								
Desviación Estándar (S)		Mpa								
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (fk)		Mpa								
Medidas de Planidad y Curvatura										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concavidad 1(mm)										
Concavidad 2(mm)										
Concavidad 3(mm)										
Concavidad 4(mm)										

(INEN, 2016).

Nota: Elaboración Propia.

Resistencia A La Flexión En Adoquines Norma ICONTEC 2017 (Anexo 3)

Esta norma tiene por objetivo establecer los requisitos que se deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los adoquines de hormigón empleados para pavimentación (ICONTEC, 2018).

Requisitos**Dimensiones**

La longitud del adoquín no será mayor a 250mm.

El espesor no será menor a 60mm. (ICONTEC, 2018)

Tolerancias

La tolerancia en el espesor será +/- 3mm de la medida especificada por el fabricante.

Las tolerancias en las dimensiones largo y ancho serán +/- 2mm de las medidas especificadas por el fabricante (ICONTEC, 2018).

Módulo De Rotura

Los adoquines ensayados de acuerdo como indica la norma tendrán un módulo de rotura promedio, para la muestra no menor de 4,5 MPa e individual no menor a 3,6MPa (ICONTEC, 2018).

Toma De Muestras

Un lote para inspección estará formado por 5000 adoquines de iguales características físicas, forma, tamaño, color (ICONTEC, 2018).

Figura 6

Muestreo de Adoquines.



Nota: Elaboración Propia.

Se deben tomar 5 adoquines como muestra de cada lote o fracción de lote. Cada unidad se marcará de modo que identifique el lote que representa (ICONTEC, 2018).

Ensayo

Características Dimensionales.

La verificación de las dimensiones se debe efectuar con instrumento que permita medir variaciones de 1mm (ICONTEC, 2018).

Los Instrumentos utilizados para la realización de este ensayo son los siguientes:

- Calibrador digital,
- Tres varillas lisas de acero del mismo diámetro (9,5 a 16mm) con una longitud igual o mayor que el ancho respectivo del adoquín (ICONTEC, 2018).
- Prensa Universal con una capacidad de al menos 200KN.
- Bolígrafo.
- Hoja de campo
- Marcador permanente.

Procedimiento De Ensayo.

Previamente se debe preparar las muestras tomando los siguientes datos en las unidades correspondientes al sistema (SI):

- Espesor.
- Masa.
- Largo.
- Área.

Se debe señalar con el marcador permanente los tres puntos en el adoquín sobre los cuales se colocarán los apoyos principales en sus laterales para tener mayor facilidad de acomodo.

El adoquín se debe colocar en la máquina de ensayo con la superficie de desgaste hacia arriba, como apoyos y elementos de transmisión de carga se debe utilizar las tres varillas de acero del mismo diámetro (NTG41017h43, 2018). Las varillas de apoyo se deben colocar paralelas entre sí, perpendiculares al eje mayor del rectángulo inscrito y con la proyección vertical de su eje (punto de apoyo) 10mm hacia dentro de los lados menores del rectángulo inscrito. La varilla para la transmisión de carga de debe colocar en la superficie de desgaste sobre la proyección del eje menor del rectángulo inscrito (ICONTEC, 2018).

Figura 7

Marcación y colocación de adoquín en equipo para ensayo de flexión.



Nota: Elaboración Propia.

Determinación Del Módulo De Rotura

Cada adoquín se debe llevar hasta la rotura por flexión, como una viga simplemente apoyada, cuyo eje coincidirá con el eje mayor del rectángulo inscrito, mediante la aplicación de una carga uniformemente distribuida a lo ancho del adoquín y sobre la proyección en la superficie de desgaste, del eje menor del rectángulo inscrito, ver foto (ICONTEC, 2018).

Figura 8

Fractura del adoquín en el centro después del ensayo.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 9

Formato de Informe de Resultados.

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXION DE ADOQUINES

PROYECTO:
 LOCALIZACIÓN:
 MUESTRA: Tomada por el cliente
 NORMA DE ENSAYO: ICONTEC 2017

SOLICITADO POR:
 CONTRATISTA:
 FISCALIZACIÓN:
 FECHA DE RECEPCIÓN:
 FECHA DE EMISIÓN:
 ORDEN DE TRABAJO:
 HOJA:

Muestra N°											
Descripción	<u>Adoquin Hexagonal Biselado Gris</u>										
Espesor (mm)											
Largo (mm)											
Longitud de apoyo (mm)											
Ancho (mm)											
Volumen (mm ³)											
Masa (gr)											
Peso Unitario (gr/cm ³)											
Carga de Rotura (kN)											
Módulo de Rotura (MPa)											

$$\text{Módulo de Rotura} = (3 \cdot \text{Carga de Rotura} \cdot \text{Long. de apoyo}) / (2 \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Espesor}^2)$$

Resistencia Promedio	(MPa)	(kg/cm²)
-----------------------------	--------------	----------------------------

$$1 \text{ MPa} = \text{N} / \text{mm}^2 = 10,2 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

OBSERVACIONES:

ESPECIFICACIONES (NORMA ICONTEC 2017):

El lote para inspección estará conformado por 5000 adoquines de iguales características físicas (forma, tamaño, color), del cual se deben tomar 5 adoquines como muestra para realizar el ensayo de flexión.

Los adoquines ensayados, de acuerdo a lo especificado en la norma ICONTEC 2017, deberán tener un módulo de rotura promedio, no menor de 4,5 Mpa, e individual no menor de 3,6 Mpa

(ICONTEC, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Ensayo de Compresión de Adoquines ASTM C 140. (Anexo 2)

En nuestro medio a pesar de que existe un control de la calidad de los materiales de construcción, y específicamente de los adoquines, debido al desconocimiento de la normativa actual o su aplicación deficiente, la calificación de los mismos no ha sido efectiva en su ejecución (ASTM C140, 2018).

El procedimiento que se describe en esta norma se basa en someter un adoquín a la aplicación de una carga creciente de compresión, hasta provocar su falla (se considera que esto ocurre cuando el adoquín no puede soportar más carga) (ASTM C140, 2018).

Aparato de Ensayo

La máquina de ensayo podrá ser de cualquier tipo confiable, con capacidad suficiente para efectuar el ensayo y que sea también capaz de aplicar la carga de rotura (ASTM C140, 2018).

Preparación de la Muestra

Debe elaborarse de conformidad con la norma NTE INEN 3040 (INEN, 2016).

Procedimiento

Las muestras deben someterse a prueba en condiciones de humedad natural, después de haber estado almacenadas por lo menos durante 24 horas en condiciones normales, a una temperatura ambiente de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Antes será preciso determinar las medidas necesarias de acuerdo al método descrito en la norma (ASTM C140, 2018).

Se refrentará las probetas con capping o triplay de 4mm de espesor como empaque, el cual se colocará en las caras superiores e inferiores de la muestra, y entre las placas de la máquina la muestra se colocará una plancha de acero de aproximadamente 25mm de espesor, que cubra toda la superficie de la muestra y sea capaz de distribuir uniformemente las cargas (ASTM C140, 2018).

La carga debe aplicarse de forma continua y no intermitente hasta que no se pueda soportar una carga mayor. Se calculará la resistencia a la compresión de cada muestra la cual debe ser expresada con una precisión de 1MPa (ASTM C140, 2018).

El almacenamiento de los adoquines se lo debe realizar de manera que permanezcan inalterados hasta que inicie el ensayo.

Los materiales utilizados para la preparación de adoquines son los siguiente:

- Guantes.
- Calibrador
- Marcador permanente
- Bolígrafo
- Hoja de campo

Los ensayos inician con la preparación de muestras.

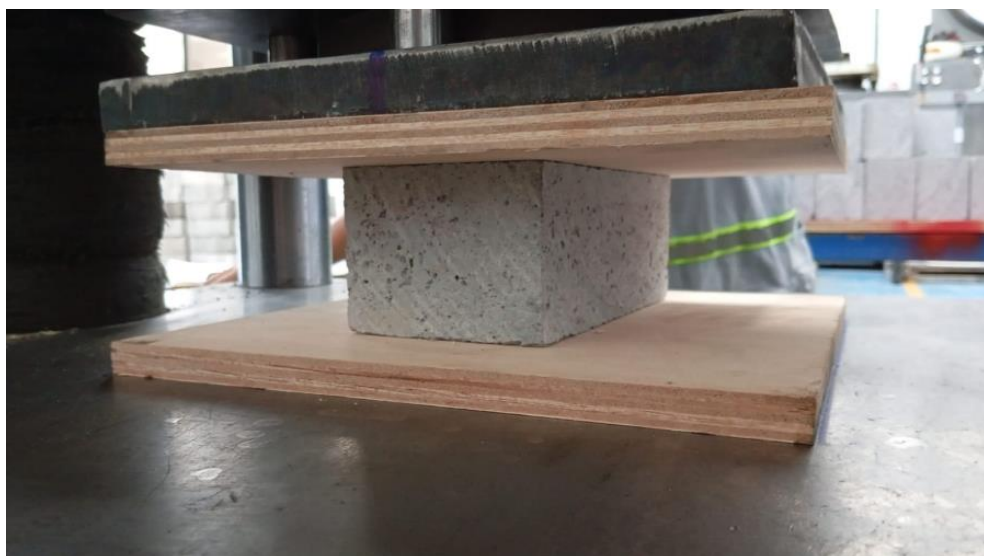
Se toma las dimensiones (espesor, largo, ancho) de los adoquines a ensayarse.

Se mide la masa de cada uno de los adoquines a ensayarse con una balanza con una precisión de 0,01kg

Una vez preparados los adoquines se procederá a ensayarlos de acuerdo a la normativa mencionada.

Figura 10

Probeta lista para realizar el ensayo de compresión (ASTM C140, 2018).



Nota: Elaboración Propia.

Figura 11

Adoquín después del ensayo de compresión (ASTM C140, 2018).



Nota: Elaboración Propia.

Figura 12

Adoquín una vez terminado el ensayo de compresión.



Nota: Elaboración Propia.

Se registran los datos obtenidos en la hoja de campo, luego se procesan los datos y resultados mediante hojas de cálculo para la elaboración de su respectivo informe (ASTM C140, 2018).

Figura 13*Formato de Informe de Resultados.*

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
EN ADOQUINES DE HORMIGÓN

PROYECTO : LOCALIZACIÓN: MUESTRA: NORMA DE REFERENCIA: ASTM C140 FÁBRICA : LOTE: DESCRIPCIÓN ADOQUÍN: COLOR:	SOLICITADO POR: FISCALIZACIÓN: CONTRATISTA: FECHA DE RECEPCIÓN: FECHA DE EMISIÓN:
---	--

Probeta N°										
Identificación										
Descripción	ADOQUIN HEXAGONAL BISELADO									
Fecha de rotura										
Espesor (mm)										
Espesor (mm)										
Diferencia de Espesor (mm)										
Espesor promedio (mm) - T										
Largo promedio (mm) - L										
Ancho promedio (mm) - W										
Relación de aspecto (TW) - Ra										
Área (mm²)										
Volumen (mm³)										
Masa (gr)										
Peso Unitario (gr/cm³)										
Factor de relación de aspecto - Fa										
Carga (kN)										
Resistencia a la Compresión (MPa)										
Resistencia a la Compresión promedio (Mpa)										

OBSERVACIONES:

Los cálculos se han realizado, según norma de referencia, con las siguientes fórmulas:

$$\text{Resistencia a la compresión} = (\text{Carga máxima} / \text{Área}) * Fa$$

$$\text{Factor de relación de aspecto (Fa)} = (-0,374/Ra)+1,611$$

La fecha de fabricación de las muestras ha sido suministrada por el cliente

La carga máxima que puede alcanzar la máquina de ensayo es 2000KN

ESPECIFICACIONES NORMA ASTM C936

Promedio de Resistencia a la compresión	55 Mpa
Resistencia a la compresión individual mínima	50 Mpa

(ASTM C140, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Capítulo IV. Comparación de Resultados Obtenidos

Informes de los Resultados Obtenidos de los ensayos realizados.

Todas las muestras ensayadas tienen más de 28 días de fabricación.

Ensayos De Tracción Indirecta. NTE INEN 3040 (Anexo 1)

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción indirecta se muestran en los siguientes informes (1,2 y 3), se determinó que los adoquines ensayados cumplen con los requisitos de resistencia a la rotura por tracción indirecta de la Tabla 1 (INEN, 2016).

Tabla 1

Requisitos NTE INEN 3040. Resistencia a la Tracción Indirecta (INEN, 2016).

Requisitos NTE INEN 3040 (Anexo 1). Resistencia a la rotura por tracción indirecta	
Resistencia Mínima (Mpa)	3,6
Resistencia Individual Mínima (Mpa)	2,9
Carga mínima por unidad de longitud	250

Nota: Fuente (INEN, 2016).

Informe 1

Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines (INEN, 2016).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES										
NORMA DE REFERENCIA		NTE INEN 3040								
IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN										
Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha de Fabricación*										
Fecha de Rotura	2024-11-23									
Edad	+28 días									
INFORMACIÓN DEL ENSAYO										
Longitud de tracción indirecta (mm)	202,5	202,5	202,0	202,0	202,0	202,0	201,5	202,0	202,5	202,0
Espesor de tracción indirecta (mm)	79	78	79	79	79	80	78	78	80	79
Superficie de tracción Indirecta (mm²)	15897	15785	15911	16049	15928	16138	15741	15788	16286	15970
Carga de rotura (N)	152310	173166	159174	170427	161401	146887	159763	177214	145465	139846
Factor de corrección por espesor	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	6,0	6,9	6,3	6,8	6,4	5,8	6,4	7,1	5,7	5,6
Carga por unidad de longitud (N/mm)	750	860	790	840	800	730	790	880	720	690
RESUMEN DE RESULTADOS										
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	5,6 Mpa									
Carga por unidad de longitud mínima	690 N/mm									
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	6,3 Mpa									
Desviación Estándar (S)	0,52 Mpa									
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (fk)	5,4 Mpa									
Medidas de Planidad y Curvatura										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concavidad 1(mm)	0,35	0,60	0,61	0,00	0,66	0,81	0,35	0,00	0,48	0,61
Concavidad 2(mm)	0,48	0,00	0,18	0,56	0,00	0,48	0,56	0,00	0,36	0,20
Concavidad 3(mm)	0,05	0,00	0,40	0,00	0,50	0,00	0,30	0,48	0,25	0,61
Concavidad 4(mm)	0,48	0,00	0,46	0,10	0,51	0,00	0,58	1,07	0,48	1,30

(INEN, 2016).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 2

Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines (INEN, 2016).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES NORMA DE REFERENCIA NTE INEN 3040										
IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN										
Muestra N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fecha de Fabricación*										
Fecha de Rotura	2024-11-23									
Edad	+28 días									
INFORMACIÓN DEL ENSAYO										
Longitud de tracción indirecta (mm)	202,5	202,5	203,0	202,5	201,5	202,0	203,0	202,0	203,5	202,5
Espesor de tracción indirecta (mm)	78	78	78	78	78	78	79	81	80	78
Superficie de tracción Indirecta (mm²)	15781	15752	15815	15742	15798	15681	15997	16263	16251	15842
Carga de rotura (N)	154820	184927	162656	138204	149536	180635	142468	149428	146657	149631
Factor de corrección por espesor	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	6,2	7,4	6,5	5,5	6,0	7,3	5,6	5,9	5,7	6,0
Carga por unidad de longitud (N/mm)	760	910	800	680	740	890	700	740	720	740
RESUMEN DE RESULTADOS										
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	5,5		Mpa							
Carga por unidad de longitud mínima	680		N/mm							
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	6,2		Mpa							
Desviación Estándar (S)	0,67		Mpa							
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (fk)	5,1		Mpa							
Medidas de Planidad y Curvatura										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Concavidad 1(mm)	0,36	0,36	0,28	0,76	0,00	0,48	0,13	0,20	0,20	0,23
Concavidad 2(mm)	0,25	0,13	0,20	0,20	0,58	0,00	0,13	0,31	0,20	0,20
Concavidad 3(mm)	0,31	0,25	0,25	1,17	0,00	0,23	0,36	0,31	0,25	0,25
Concavidad 4(mm)	0,43	0,28	0,43	1,32	0,43	0,61	0,13	0,36	0,00	0,23

(INEN, 2016).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 3

Determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta en Adoquines (INEN, 2016).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES										
NORMA DE REFERENCIA		NTE INEN 3040								
IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN										
Muestra N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fecha de Fabricación*										
Fecha de Rotura	2024-11-23									
Edad	+28 días									
INFORMACIÓN DEL ENSAYO										
Longitud de tracción indirecta (mm)	202,5	202,5	202,5	198,5	202,5	202,5	202,5	202,0	202,0	202,5
Espesor de tracción indirecta (mm)	80	79	78	79	78	78	79	80	78	80
Superficie de tracción Indirecta (mm²)	16148	15961	15842	15746	15746	15794	15898	16178	15812	16264
Carga de rotura (N)	133635	141939	133110	172052	161010	152432	140577	145036	151716	160179
Factor de corrección por espesor	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	5,3	5,6	5,3	7,0	6,4	6,1	5,6	5,7	6,1	6,3
Carga por unidad de longitud (N/mm)	660	700	660	870	800	750	690	720	750	790
RESUMEN DE RESULTADOS										
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	5,3 Mpa									
Carga por unidad de longitud mínima	660 N/mm									
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	5,9 Mpa									
Desviación Estándar (S)	0,54 Mpa									
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (fk)	5,1 Mpa									
Medidas de Planidad y Curvatura										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Concavidad 1(mm)	0,48	0,43	0,89	0,23	0,23	0,25	0,31	0,10	0,48	0,23
Concavidad 2(mm)	0,20	0,33	0,94	0,23	0,23	0,48	0,25	0,23	0,48	0,48
Concavidad 3(mm)	0,48	0,43	0,89	0,31	0,23	0,25	0,48	0,23	0,48	0,48
Concavidad 4(mm)	0,35	0,58	0,31	0,23	0,36	0,25	0,48	0,23	0,00	0,10

(INEN, 2016).

Nota: Elaboración Propia.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN. ASTM C140 (Anexo 2)

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión se muestran en los informes (4,5 y 6) se determinó que los adoquines ensayados cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión de la Tabla 2 (ASTM C140, 2018).

Tabla 2

Requisitos ASTM C140. Resistencia a la Compresión (ASTM C140, 2018).

Requisitos ASTM C140 (Anexo 2). Resistencia a la Compresión	
Promedio Resistencia a la Compresión (Mpa)	55
Resistencia Mínima (Mpa)	50

(ASTM C140, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 4

Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de Hormigón (ASTM C140, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES										
INFORME DE ENSAYO										
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C140										
Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	ADOQUIN HEXAGONAL BISELADO									
Fecha de rotura	23/11/2024									
Espesor (mm)	77,6	78,8	79,7	77,7	78,9	79,4	80,8	78,9	79,6	78,9
Espesor (mm)	77,7	78,5	79,7	77,4	78,7	79,2	80,5	78,6	78,7	78,6
Diferencia de Espesor (mm)	0,1	0,3	0,0	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,9	0,3
Espesor promedio (mm) - T	77,6	78,6	79,7	77,5	78,8	79,3	80,6	78,7	79,1	78,8
Largo promedio (mm) - L	201,6	204,0	202,0	202,6	202,5	202,5	203,0	203,3	202,7	202,4
Ancho promedio (mm) - W	102,7	103,1	102,7	103,2	102,6	102,6	102,8	102,3	102,8	103,1
Relación de aspecto (T/W) - Ra	0,756	0,763	0,776	0,751	0,768	0,773	0,785	0,769	0,770	0,764
Área (mm²)	20709	21027	20745	20909	20781	20781	20858	20798	20839	20865
Volumen (mm³)	1607616	1653481	1653359	1620898	1638115	1648350	1681901	1637330	1649062	1643771
Masa (gr)	3580	3740	3610	3650	3690	3690	3710	3610	3640	3680
Peso Unitario (gr/cm³)	2,23	2,26	2,18	2,25	2,25	2,24	2,21	2,20	2,21	2,24
Factor de relación de aspecto - Fa	1,12	1,12	1,13	1,11	1,12	1,13	1,13	1,12	1,13	1,12
Carga (kN)	1172,6	1208,2	1300,5	1159,4	1215,3	1173,7	1123,6	1235,8	1178,2	1327,2
Resistencia a la Compresión (MPa)	63	64	71	62	66	64	61	67	64	71
Resistencia a la Compresión promedio (Mpa)	66									
Medidas de Planidad y Curvatura										
Concavidad 1(mm)	0,71	0,40	0,35	0,64	0,30	0,89	0,36	0,48	0,48	0,48
Concavidad 2(mm)	0,88	0,30	0,05	0,48	0,25	1,14	0,56	0,36	0,61	1,07
Concavidad 3(mm)	0,56	0,30	0,00	0,25	0,25	0,66	0,89	0,56	0,89	0,36
Concavidad 4(mm)	0,61	0,25	0,00	0,25	0,56	0,36	0,56	0,83	1,50	1,30
OBSERVACIONES:										
Los cálculos se han realizado, según norma de referencia, con las siguientes fórmulas: Resistencia a la compresión = (Carga máxima / Área) * Fa Factor de relación de aspecto (Fa) = (-0,374/Ra)+1,611 La fecha de fabricación de las muestras ha sido suministrada por el cliente La carga máxima que puede alcanzar la máquina de ensayo es 2000KN										
ESPECIFICACIONES NORMA ASTM C936										
Promedio de Resistencia a la compresión			55	Mpa						
Resistencia a la compresión individual mínima			50	Mpa						

(ASTM C140, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 5

Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de Hormigón (ASTM C140, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C140										
Probeta N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Identificación	21	22	23	26	35	37	39	42	43	44
Descripción	ADOQUIN HEXAGONAL BISELADO									
Fecha de rotura	23/11/2024									
Espesor (mm)	77,7	79,2	78,3	79,4	79,9	78,0	78,4	79,3	79,7	79,6
Espesor (mm)	77,0	78,9	78,5	79,5	79,6	77,6	78,4	79,1	79,3	79,3
Diferencia de Espesor (mm)	0,8	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,4	0,2
Espesor promedio (mm) - T	77,3	79,0	78,4	79,5	79,8	77,8	78,4	79,2	79,5	79,4
Largo promedio (mm) - L	202,9	202,8	202,1	202,4	203,6	202,6	203,3	202,3	204,8	205,2
Ancho promedio (mm) - W	102,2	103,2	102,5	102,9	102,6	102,7	102,9	101,3	105,8	103,7
Relación de aspecto (T/W) - Ra	0,757	0,766	0,765	0,772	0,777	0,758	0,762	0,782	0,752	0,766
Área (mm²)	20732	20941	20717	20834	20899	20801	20924	20489	21662	21274
Volumen (mm³)	1603189	1655206	1624561	1655315	1667390	1618677	1640103	1622058	1722458	1690018
Masa (gr)	3500	3630	3680	3640	3620	3620	3670	3490	3830	3780
Peso Unitario (gr/cm³)	2,18	2,19	2,27	2,20	2,17	2,24	2,24	2,15	2,22	2,24
Factor de relación de aspecto - Fa	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,13	1,11	1,12
Carga (kN)	1193,2	1298,1	1285,7	1172,6	1097,2	1151,3	1262,1	1137,7	1257,4	1228,5
Resistencia a la Compresión (MPa)	64	70	70	63	59	62	68	63	65	65
Resistencia a la Compresión promedio (Mpa)	68									
Medidas de Planidad y Curvatura										
Concavidad 1(mm)	0,25	1,38	0,89	0,00	0,81	1,02	0,00	1,12	0,20	1,21
Concavidad 2(mm)	0,66	0,33	0,53	0,89	0,23	1,10	0,13	0,33	0,81	0,00
Concavidad 3(mm)	1,14	0,25	0,89	0,89	0,76	1,02	0,30	1,02	0,56	0,58
Concavidad 4(mm)	0,81	0,25	0,76	0,25	0,89	0,43	0,56	1,09	0,15	0,76
OBSERVACIONES:										
Los cálculos se han realizado, según norma de referencia, con las siguientes fórmulas: $\text{Resistencia a la compresión} = (\text{Carga máxima} / \text{Área}) * Fa$ $\text{Factor de relación de aspecto (Fa)} = (-0,374/Ra) + 1,611$ La fecha de fabricación de las muestras ha sido suministrada por el cliente La carga máxima que puede alcanzar la máquina de ensayo es 2000KN										
Promedio de Resistencia a la compresión				55	Mpa					
Resistencia a la compresión individual mínima				50	Mpa					
Absorción promedio máxima				5	%					
Absorción individual máxima				7	%					

(ASTM C140, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 6

Determinación de la Resistencia a la Compresión en Adoquines de Hormigón (ASTM C140, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES										
INFORME DE ENSAYO										
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C140										
Probeta N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Identificación	49	50	55	56	59	67	71	72	73	74
Descripción	ADOQUIN HEXAGONAL BISELADO									
Fecha de rotura	23/11/2024									
Espesor (mm)	78,7	79,1	80,0	80,2	78,5	79,0	78,4	77,7	78,4	77,9
Espesor (mm)	78,7	78,8	79,5	80,1	78,5	78,9	78,2	77,7	78,1	77,5
Diferencia de Espesor (mm)	0,0	0,3	0,5	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	0,4
Espesor promedio (mm) - T	78,7	79,0	79,8	80,1	78,5	78,9	78,3	77,7	78,3	77,7
Largo promedio (mm) - L	203,3	205,8	202,0	202,3	203,7	202,8	202,7	202,5	202,4	200,2
Ancho promedio (mm) - W	103,8	105,8	101,2	101,1	104,6	102,1	102,6	101,3	103,6	102,3
Relación de aspecto (T/W) - Ra	0,758	0,746	0,789	0,793	0,750	0,774	0,763	0,767	0,756	0,760
Área (mm²)	21111	21781	20439	20454	21308	20695	20800	20508	20966	20471
Volumen (mm³)	1661098	1720090	1630664	1639136	1672368	1633835	1628503	1592922	1641026	1590480
Masa (gr)	3780	3810	3670	3650	3750	3600	3620	3530	3640	3650
Peso Unitario (gr/cm³)	2,28	2,22	2,25	2,23	2,24	2,20	2,22	2,22	2,22	2,29
Factor de relación de aspecto - Fa	1,12	1,11	1,14	1,14	1,11	1,13	1,12	1,12	1,12	1,12
Carga (kN)	1275,3	1300,6	1181,0	1220,5	1197,7	1182,0	1155,6	1248,5	1258,2	1195,6
Resistencia a la Compresión (MPa)	68	66	66	68	63	64	62	68	67	65
Resistencia a la Compresión promedio (Mpa)	66									
Medidas de Planidad y Curvatura										
Concavidad 1(mm)	0,36	1,47	0,81	0,13	0,25	0,48	0,89	0,63	0,71	0,43
Concavidad 2(mm)	0,05	0,20	1,19	1,32	0,30	0,31	1,04	0,64	0,89	0,89
Concavidad 3(mm)	0,15	1,12	0,89	1,32	0,33	0,48	0,61	1,04	0,48	0,43
Concavidad 4(mm)	0,43	1,47	1,19	1,47	0,30	0,63	0,48	0,48	0,48	0,36
OBSERVACIONES:										
Los cálculos se han realizado, según norma de referencia, con las siguientes fórmulas: Resistencia a la compresión = (Carga máxima / Área) * Fa Factor de relación de aspecto (Fa) = (-0,374/Ra)+1,611 La fecha de fabricación de las muestras ha sido suministrada por el cliente La carga máxima que puede alcanzar la máquina de ensayo es 2000KN										
Promedio de Resistencia a la compresión			55	Mpa						
Resistencia a la compresión individual mínima			50	Mpa						
Absorción promedio máxima			5	%						
Absorción individual máxima			7	%						

(ASTM C140, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

ENSAYOS DE FLEXIÓN. ICONTEC 2017 (Anexo 3)

Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión se muestran en los informes (7,8 y 9) se determinó que los adoquines ensayados cumplen con los requisitos de resistencia a la rotura por flexión de la Tabla 3 (ICONTEC, 2018),

Tabla 3

Requisitos ICONTEC 2017. Resistencia a la Flexión

Requisitos ICONTEC 2017 (Anexo 3). Resistencia a la Flexión (Módulo de Rotura)	
Módulo de Rotura Mínimo (Mpa)	5,0
Módulo de Rotura Mínimo Individual (Mpa)	4,2

(ICONTEC, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 7

Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón (ICONTEC, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES										
INFORME DE ENSAYO										
FLEXION DE ADOQUINES										
NORMA DE ENSAYO: ICONTEC 2017										
Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Adoquin Hexagonal Biselado Gris									
Espesor (mm)	78,48	78,91	79,44	78,65	79,54	79,22	77,79	77,99	79,25	78,65
Largo (mm)	204,29	202,14	202,79	202,29	201,00	201,30	202,21	203,12	202,08	202,80
Longitud de apoyo (mm)	184,29	182,14	182,79	182,29	181,00	181,30	182,21	183,12	182,08	182,80
Ancho (mm)	102,7	102,1	102,6	102,8	103,5	102,6	102,3	102,6	102,0	102,0
Volumen (mm³)	1646769	1629010	1653142	1635694	1654019	1636930	1609694	1625375	1633782	1627453
Masa (gr)	3.690	3.590	3.690	3.640	3.720	3.690	3.550	3.690	3.690	3.670
Peso Unitario (gr/cm³)	2,24	2,20	2,23	2,23	2,25	2,25	2,21	2,27	2,26	2,26
Carga de Rotura (kN)	21,50	22,75	20,79	21,90	21,69	23,31	20,98	21,50	22,56	21,66
Módulo de Rotura (MPa)	9,4	9,8	8,8	9,4	9,0	9,8	9,3	9,5	9,6	9,4
Módulo de Rotura = (3*Carga de Rotura*Long.de apoyo) / (2*Ancho*Espesor^2)										
Resistencia Promedio					9 (MPa)		95 (kg/cm²)			
1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²										
Medidas de Planidad y Curvatura										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concavidad 1(mm)	0,43	0,00	0,61	0,64	0,89	0,36	0,31	0,20	0,76	0,76
Concavidad 2(mm)	0,00	0,36	0,89	0,13	0,76	0,76	0,76	0,43	0,36	0,23
Concavidad 3(mm)	0,38	0,76	0,61	0,81	0,36	0,56	0,36	0,20	0,56	0,89
Concavidad 4(mm)	0,66	0,89	0,33	0,89	1,37	0,33	1,02	0,26	0,89	0,76
OBSERVACIONES:										
ESPECIFICACIONES (NORMA ICONTEC 2017):										
El lote para inspección estará conformado por 5000 adoquines de iguales características físicas (forma, tamaño, color), del cual se deben										
Los adoquines ensayados, de acuerdo a lo especificado en la norma ICONTEC 2017, deberán tener un módulo de rotura promedio,										
no menor de 4,5 Mpa, e individual no menor de 3,6 Mpa										

(ICONTEC, 2018).

Nota: Elaboración Propia.

Informe 8

Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón. (ICONTEC, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES										
INFORME DE ENSAYO										
FLEXION DE ADOQUINES										
NORMA DE ENSAYO: ICONTEC 2017										
Muestra N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Adoquin Hexagonal Biselado Gris									
Espesor (mm)	78,32	79,74	79,11	78,98	78,92	78,82	79,43	78,45	78,51	77,98
Largo (mm)	203,12	202,36	201,29	203,44	202,71	202,60	201,68	200,50	202,14	201,13
Longitud de apoyo (mm)	183,12	182,36	181,29	183,44	182,71	182,60	181,68	180,50	182,14	181,13
Ancho (mm)	103,0	102,2	102,7	102,7	101,9	100,9	101,7	102,4	102,1	101,4
Volumen (mm³)	1637765	1648744	1635321	1649324	1629972	1611744	1629709	1611066	1619908	1589691
Masa (gr)	3.680	3.700	3.610	3.660	3.680	3.530	3.590	3.530	3.570	3.560
Peso Unitario (gr/cm³)	2,25	2,24	2,21	2,22	2,26	2,19	2,20	2,19	2,20	2,24
Carga de Rotura (kN)	24,57	20,56	20,79	20,85	21,78	21,43	22,57	21,45	21,98	21,00
Módulo de Rotura (MPa)	10,7	8,7	8,8	9,0	9,4	9,4	9,6	9,2	9,5	9,3
Módulo de Rotura = (3*Carga de Rotura*Long.de apoyo) / (2*Ancho*Espesor^2)										
Resistencia Promedio					9 (MPa)		95 (kg/cm²)			
1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²										
Medidas de Planidad y Curvatura										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Concavidad 1(mm)	0,58	0,23	0,05	1,02	0,76	0,81	0,31	0,00	0,46	0,81
Concavidad 2(mm)	0,66	0,76	0,31	0,89	0,46	0,89	0,64	0,43	0,41	0,61
Concavidad 3(mm)	0,30	0,48	0,43	1,12	0,76	0,81	0,20	0,66	0,41	0,81
Concavidad 4(mm)	0,58	0,30	0,31	1,02	0,89	0,48	0,31	0,13	0,23	0,43
OBSERVACIONES:										
ESPECIFICACIONES (NORMA ICONTEC 2017):										
El lote para inspección estará conformado por 5000 adoquines de iguales características físicas (forma, tamaño, color), del cual se deben tomar 5 adoquines como muestra para realizar el ensayo de flexión.										
Los adoquines ensayados, de acuerdo a lo especificado en la norma ICONTEC 2017, deberán tener un módulo de rotura promedio, no menor de 4.5 Mpa. e individual no menor de 3.6 Mpa										

(ICONTEC, 2018)

Nota: Elaboración Propia.

Informe 9

Determinación de la Resistencia a la Flexión en Adoquines de Hormigón. (ICONTEC, 2018).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES										
INFORME DE ENSAYO										
FLEXION DE ADOQUINES										
NORMA DE ENSAYO: ICONTEC 2017										
Muestra N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Descripción	Adoquin Hexagonal Biselado Gris									
Espesor (mm)	78,13	78,48	78,33	78,94	77,65	78,51	78,99	79,04	80,30	78,61
Largo (mm)	201,72	202,00	201,34	200,39	201,63	200,76	200,97	201,46	201,35	201,37
Longitud de apoyo (mm)	181,72	182,00	181,34	180,39	181,63	180,76	180,97	181,46	181,35	181,37
Ancho (mm)	101,2	101,3	100,8	101,7	101,2	100,8	101,1	101,2	101,2	100,9
Volumen (mm³)	1594872	1605854	1589871	1608720	1584265	1589091	1604823	1611187	1635889	1597770
Masa (gr)	3.590	3.550	3.570	3.570	3.570	3.580	3.540	3.540	3.620	3.590
Peso Unitario (gr/cm³)	2,25	2,21	2,25	2,22	2,25	2,25	2,21	2,20	2,21	2,25
Carga de Rotura (kN)	22,06	21,90	21,11	20,56	21,88	23,00	21,45	22,02	21,86	20,84
Módulo de Rotura (MPa)	9,7	9,6	9,3	8,8	9,8	10,0	9,2	9,5	9,1	9,1
Módulo de Rotura = (3*Carga de Rotura*Long.de apoyo) /(2*Ancho*Espesor^2)										
Resistencia Promedio				9 (MPa)			96 (kg/cm²)			
1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²										
Medidas de Planidad y Curvatura										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Concavidad 1(mm)	0,43	0,23	0,25	0,13	0,10	0,36	0,48	0,76	0,23	0,36
Concavidad 2(mm)	0,23	0,71	0,46	0,71	0,23	0,23	0,36	0,58	0,10	0,23
Concavidad 3(mm)	0,61	0,41	0,66	0,71	0,10	0,36	0,36	0,76	0,23	0,36
Concavidad 4(mm)	0,43	0,23	0,46	0,25	0,23	0,48	0,10	0,23	0,10	0,36
OBSERVACIONES:										
ESPECIFICACIONES (NORMA ICONTEC 2017):										
El lote para inspección estará conformado por 5000 adoquines de iguales características físicas (forma, tamaño, color), del cual se deben tomar 5 adoquines como muestra para realizar el ensayo de flexión.										
Los adoquines ensayados, de acuerdo a lo especificado en la norma ICONTEC 2017, deberán tener un módulo de rotura promedio, no menor de 4.5 Mpa, e individual no menor de 3.6 Mpa										

(ICONTEC, 2018)

Nota: Elaboración Propia.

Análisis Estadístico de Distribución de Resultados

A continuación, se presentan tablas de resultados, análisis estadístico y gráficas de distribución normal (campana de Gauss), que muestran que la distribución de los resultados se ajusta a una distribución normal, generando una curva simétrica y precisa. Esto indica que la desviación estándar es baja, lo que sugiere que los datos se ajustan a un modelo probabilístico, caracterizado por una alta concentración de valores alrededor de la media y una disminución gradual de la frecuencia a medida que nos alejamos de ella.

Resistencia a la Tracción Indirecta (INEN, 2016)

Tabla 4

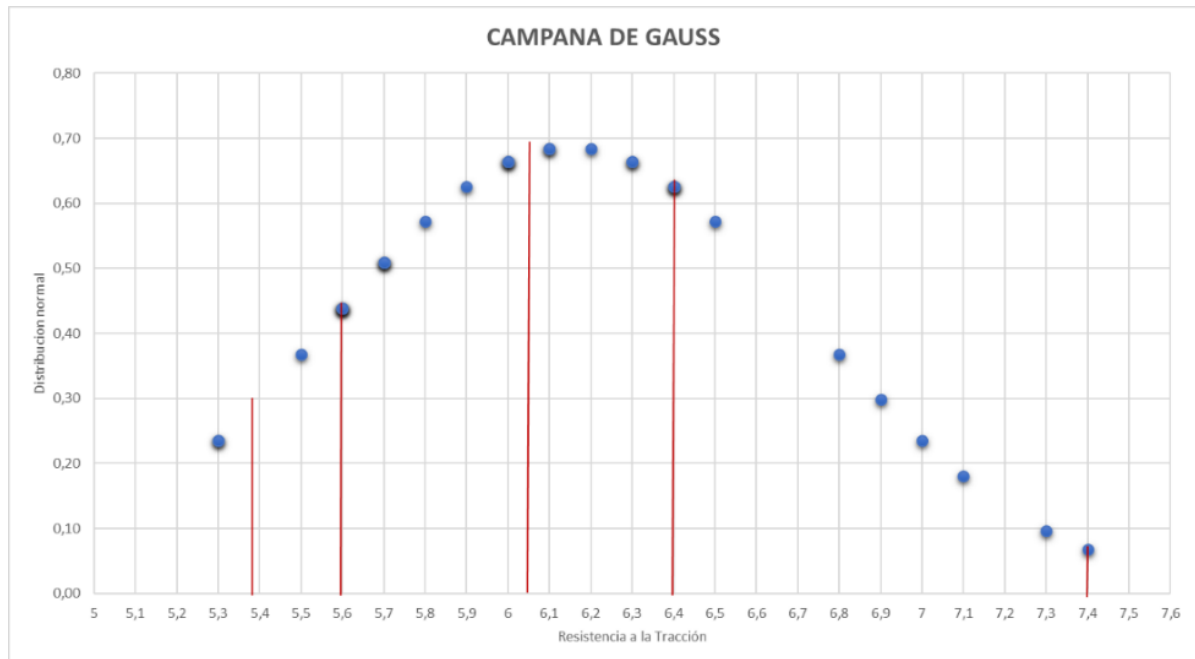
Resultados de ensayos de Tracción Indirecta. (INEN, 2016).

NUMERO DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DISTRIBUCION NORMAL
1	6	0,66
2	6,9	0,30
3	6,3	0,66
4	6,8	0,37
5	6,4	0,63
6	5,8	0,57
7	6,4	0,63
8	7,1	0,18
9	5,7	0,51
10	5,6	0,44
11	6,2	0,68
12	7,4	0,07
13	6,5	0,57
14	5,5	0,37
15	6	0,66
16	7,3	0,10
17	5,6	0,44
18	5,9	0,63
19	5,7	0,51
20	6	0,66
21	5,3	0,24
22	5,6	0,44
23	5,3	0,24
24	7	0,24
25	6,4	0,63
26	6,1	0,68
27	5,6	0,44
28	5,7	0,51
29	6,1	0,68
30	6,3	0,66

Nota: Elaboración Propia.

Figura 14

Campana de Gauss Tracción Indirecta.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 5

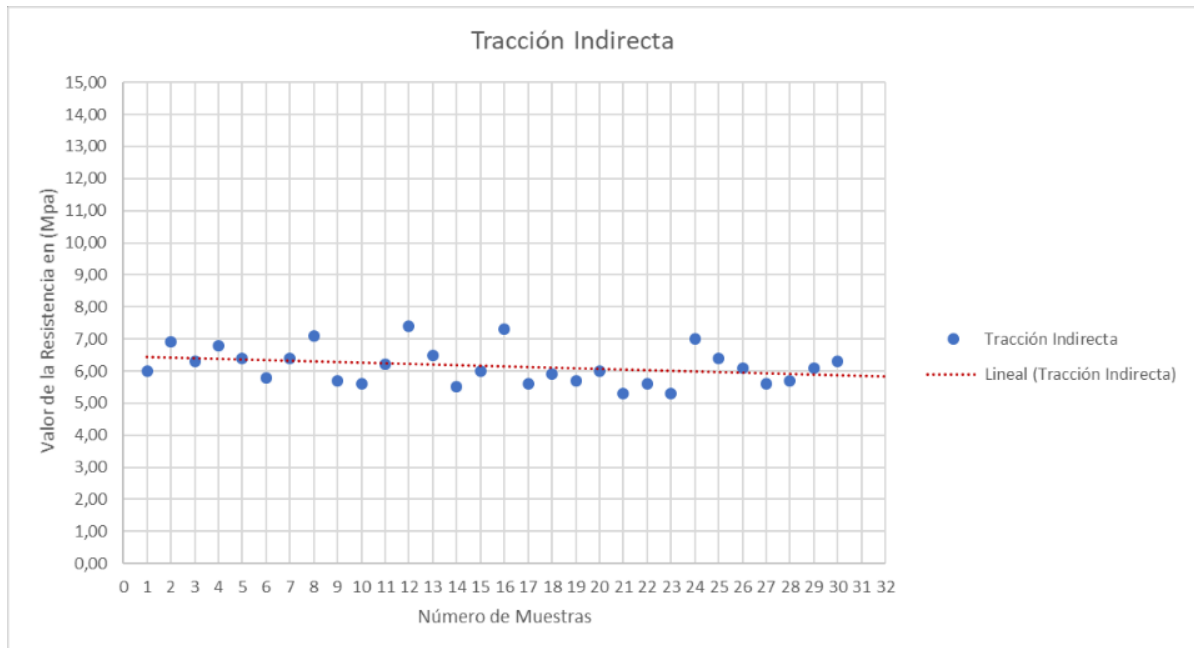
Análisis Campana de Gauss Figura 14.

MUESTRAS CARACTERISTICAS					
%	Percentil	Distrib normal	Frecuencia	Frec. Acum.	Porcentaje de frecuencias
5,00%	5,39	1,4E-19	1	1	3,3%
15,00%	5,60	4,7E-21	2	3	10,0%
50,00%	6,05	2,0E-24	4	7	23,3%
75,00%	6,40	3,2E-27	4	11	36,7%
100,00%	7,40	4,3E-36	19	30	100,0%

Nota: Elaboración Propia.

Figura 15

Análisis Línea de Tendencia Tracción Indirecta.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 6

Análisis Estadístico Ensayo de Tracción Indirecta.

Moda	5,6
Mediana	6,1
La Varianza	0,34
Valor Máximo	7,4
Valor Mínimo	5,3
Desviación estándar	0,58
Promedio	6,15

Nota: Elaboración Propia.

Resistencia a la Compresión. (ASTM C140, 2018)

Tabla 7

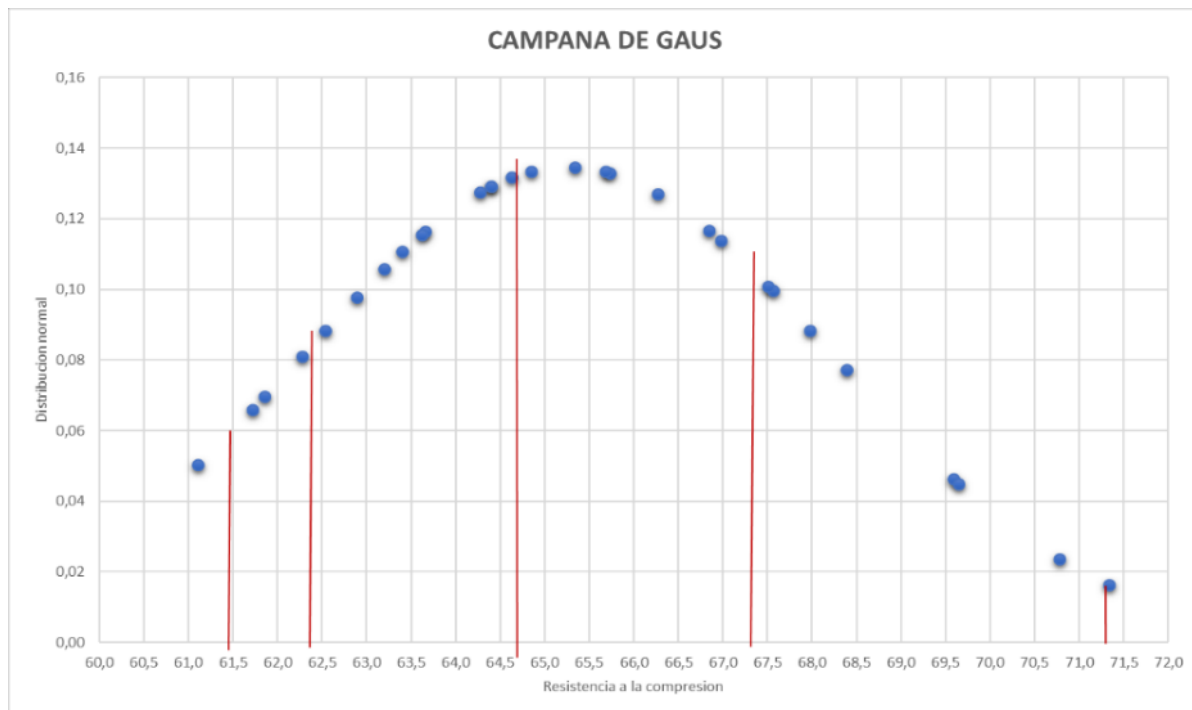
Resultados de ensayos de Compresión. (ASTM C140, 2018).

NUMERO DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	DISTRIBUCION NORMAL
1	63,2	0,11
2	64,4	0,13
3	70,8	0,02
4	61,7	0,07
5	65,7	0,13
6	63,7	0,12
7	61,1	0,05
8	66,8	0,12
9	63,6	0,12
10	71,3	0,02
11	64,3	0,13
12	69,6	0,05
13	69,6	0,04
14	63,4	0,11
15	59,3	0,02
16	61,9	0,07
17	67,6	0,10
18	62,9	0,10
19	64,6	0,13
20	64,8	0,13
21	67,5	0,10
22	66,3	0,13
23	65,7	0,13
24	68,0	0,09
25	62,5	0,09
26	64,4	0,13
27	62,3	0,08
28	68,4	0,08
29	67,0	0,11
30	65,3	0,13

Nota: Elaboración Propia.

Figura 16

Campana de Gauss Compresión.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 8

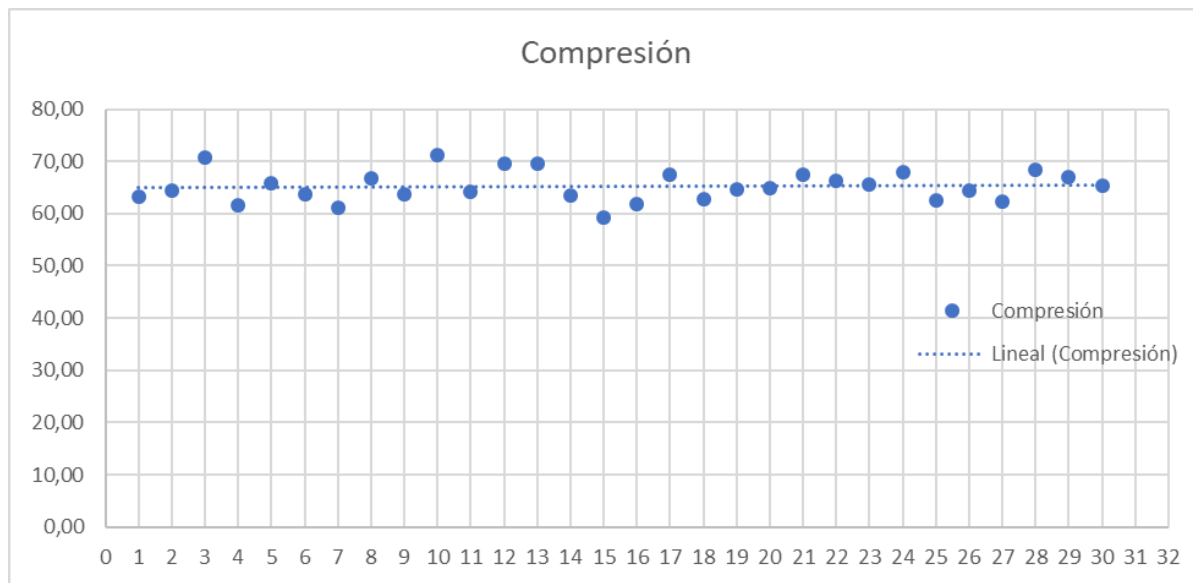
Análisis Campana de Gauss Figura 16.

MUESTRAS CARACTERISTICAS					
%	Percentil	Distrib normal	Frecuencia	Frec. Acum.	Porcentaje de frecuencias
5,00%	61,38	7,48E-95	1	1	3,33%
15,00%	62,37	7,11E-98	4	5	16,67%
50,00%	64,74	2,47E-105	9	14	46,67%
75,00%	67,38	5,80E-114	6	20	66,67%
100,00%	71,34	1,47E-127	10	30	100,00%

Nota: Elaboración Propia.

Figura 17

Análisis Línea de Tendencia Compresión.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 9

Análisis Estadístico Ensayo de Compresión.

Moda	64,40
Mediana	64,7
La Varianza	8,77
Valor Máximo	71,3
Valor Mínimo	59,3
Desviación estándar	2,96
Promedio	65,3

Nota: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión. (ICONTEC, 2018)

Tabla 10

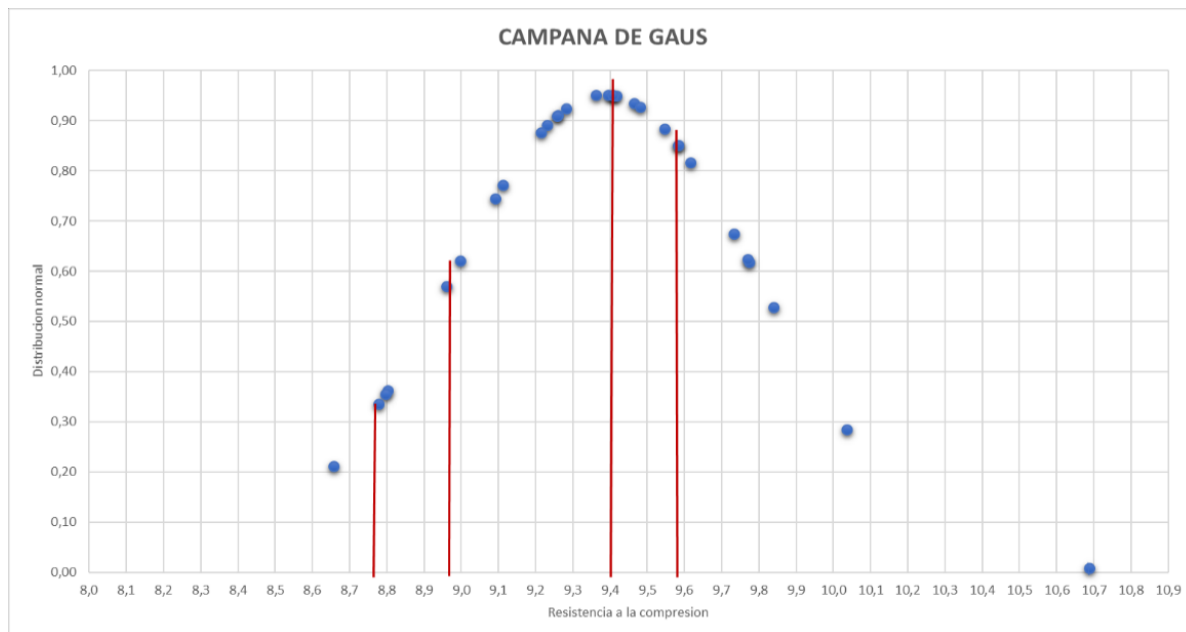
Resultados de ensayos de Flexión. (ICONTEC, 2018)

NUMERO DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DISTRIBUCION NORMAL
1	9,4	0,95
2	9,8	0,62
3	8,8	0,36
4	9,4	0,95
5	9,0	0,62
6	9,8	0,53
7	9,3	0,91
8	9,5	0,94
9	9,6	0,82
10	9,4	0,95
11	10,7	0,01
12	8,7	0,21
13	8,8	0,36
14	9,0	0,57
15	9,4	0,95
16	9,4	0,95
17	9,6	0,85
18	9,2	0,88
19	9,5	0,88
20	9,3	0,91
21	9,7	0,67
22	9,6	0,85
23	9,3	0,92
24	8,8	0,34
25	9,8	0,62
26	10,0	0,28
27	9,2	0,89
28	9,5	0,93
29	9,1	0,77
30	9,1	0,74

Nota: Elaboración Propia.

Figura 18

Campana de Gauss Flexión.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 11

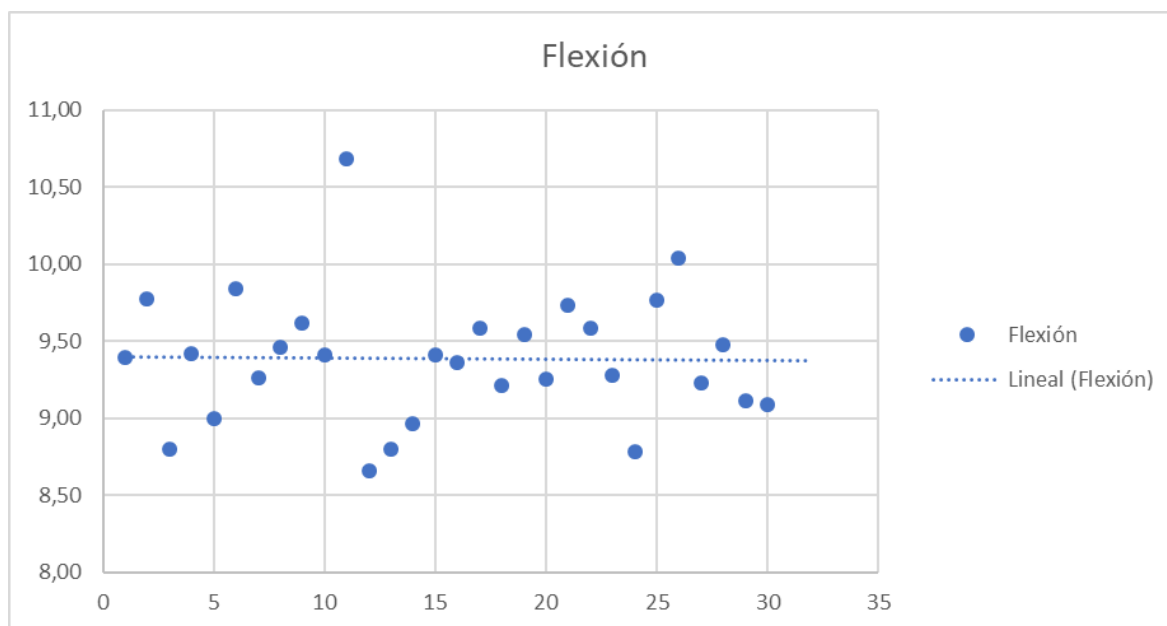
Análisis Campana de Gauss Figura 18.

MUESTRAS CARACTERISTICAS					
%	Percentil	Distrib normal	Frecuencia	Frec. Acum.	Porcentaje de frecuencias
5,00%	8,79	3,4E-96	1	1	3,3%
15,00%	8,97	2,7E-100	4	5	16,7%
50,00%	9,40	5,3E-110	10	15	50,0%
75,00%	9,58	2,8E-114	6	21	70,0%
100,00%	10,69	5,7E-142	9	30	100,0%

Nota: Elaboración Propia.

Figura 19

Análisis Línea de Tendencia Flexión.



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 12

Análisis Estadístico Ensayo de Flexión.

Moda	9,40
Mediana	9,4
La Varianza	0,17
Valor Máximo	10,7
Valor Mínimo	8,7
Desviación estándar	0,42
Promedio	9,38

Nota: Elaboración Propia.

Comparación de Resultados

Tabla 13

Resultados de ensayos en adoquines.

RESULTADOS DE ENSAYOS					
Tracción Indirecta		Compresión		Flexión	
N°	Resistencia en (Mpa)	N°	Resistencia en (Mpa)	N°	Resistencia en (Mpa)
1	6	1	63,2	1	9,4
2	6,9	2	64,4	2	9,8
3	6,3	3	70,8	3	8,8
4	6,8	4	61,7	4	9,4
5	6,4	5	65,7	5	9,0
6	5,8	6	63,7	6	9,8
7	6,4	7	61,1	7	9,3
8	7,1	8	66,8	8	9,5
9	5,7	9	63,6	9	9,6
10	5,6	10	71,3	10	9,4
11	6,2	11	64,3	11	10,7
12	7,4	12	69,6	12	8,7
13	6,5	13	69,6	13	8,8
14	5,5	14	63,4	14	9,0
15	6	15	59,3	15	9,4
16	7,3	16	61,9	16	9,4
17	5,6	17	67,6	17	9,6
18	5,9	18	62,9	18	9,2
19	5,7	19	64,6	19	9,5
20	6	20	64,8	20	9,3
21	5,3	21	67,5	21	9,7
22	5,6	22	66,3	22	9,6
23	5,3	23	65,7	23	9,3
24	7	24	68,0	24	8,8
25	6,4	25	62,5	25	9,8
26	6,1	26	64,4	26	10,0
27	5,6	27	62,3	27	9,2
28	5,7	28	68,4	28	9,5
29	6,1	29	67,0	29	9,1
30	6,3	30	65,3	30	9,1
Análisis Estadístico de resultados obtenidos de los especímenes ensayados					
a					
Compresión, Flexión y Tracción Indirecta					
Moda (Mpa)	5,6	Moda (Mpa)	64,40	Moda (Mpa)	9,40
Mediana (Mpa)	6,1	Mediana (Mpa)	64,7	Mediana (Mpa)	9,4
Varianza (Mpa)	0,34	Varianza (Mpa)	8,77	Varianza (Mpa)	0,17
Valor Máximo (Mpa)	7,4	Valor Máximo (Mpa)	71,3	Valor Máximo (Mpa)	10,7
Valor Mínimo (Mpa)	5,3	Valor Mínimo (Mpa)	59,3	Valor Mínimo (Mpa)	8,7
Desviación estándar (Mpa)	0,58	Desviación estándar (Mpa)	2,96	Desviación estándar (Mpa)	0,42
Promedio (Mpa)	6,15	Promedio (Mpa)	65,3	Promedio (Mpa)	9,38

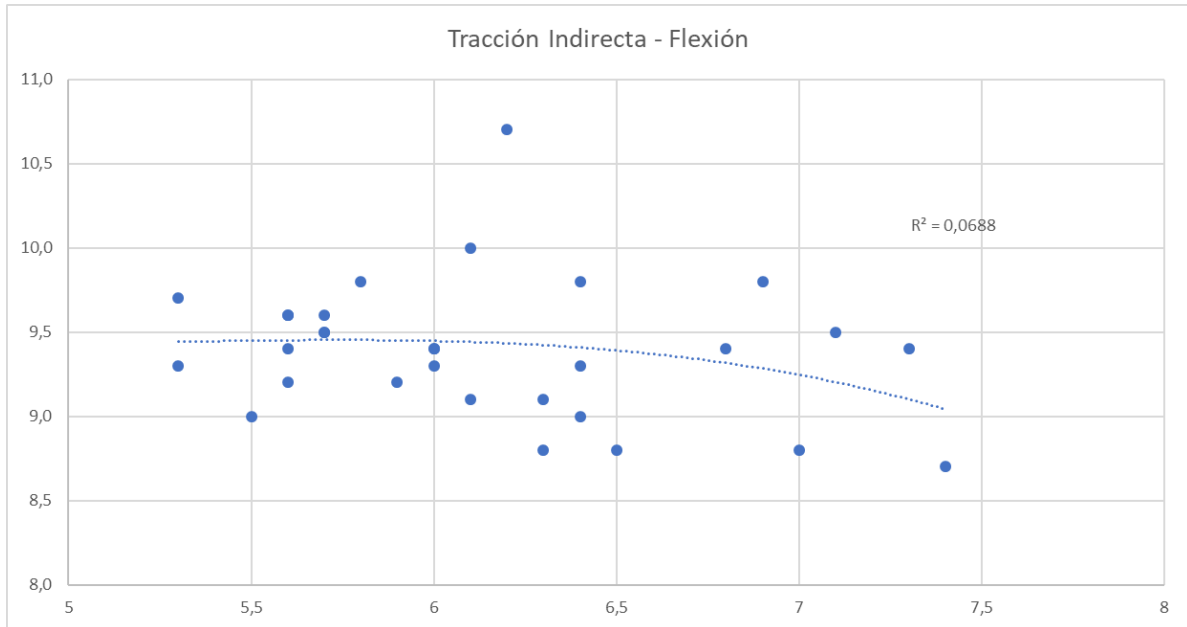
Nota: Elaboración Propia.

Correlación de Resultados

Para correlacionar los resultados entre 2 ensayos tracción indirecta y flexión, y compresión y flexión se calculó el coeficiente de determinación ideal (R^2)⁵. Se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 20

Cálculo Coeficiente de Determinación Ideal. Tracción Indirecta – Flexión. $R^2=0,0688$

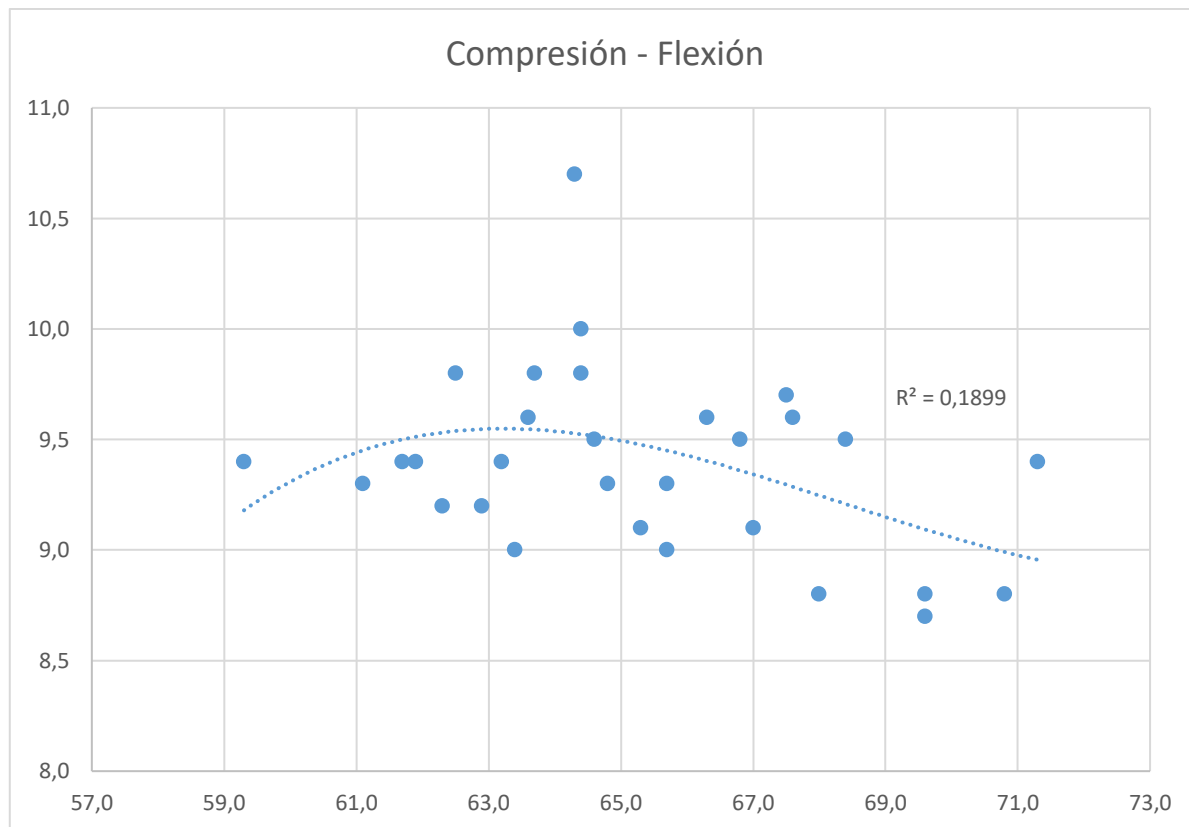


Nota: Elaboración Propia.

⁵ En estadística, el coeficiente de determinación, denominado R^2 (se pronuncia R cuadrado), es un coeficiente usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo. (Steel, Coeficiente de Determinación, 1960)

Figura 21

Cálculo Coeficiente de Determinación Ideal. Compresión – Flexión. $R^2=0,1899$



Nota: Elaboración Propia.

El coeficiente de determinación ideal para correlacionar los resultados de 2 ensayos distintos debe ser entre 0,6 y 0,7 para que exista una buena correlación entre sí.

Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Una vez culminados los ensayos, obtenidos los resultados de los cálculos y analizadas las comparaciones, se determinan las siguientes conclusiones:

Compresión

- Los resultados de los ensayos de compresión siguen una distribución normal, caracterizada por una simetría y un comportamiento armónico, lo que indica que los datos se ajustan a un modelo probabilístico, se ajustan perfectamente a una distribución de la campana de Gauss.
- Se verificó que los resultados individuales y promedio de los ensayos de compresión cumplen con los requisitos de la norma ASTM C140, lo que garantiza la calidad y resistencia de los adoquines.
- Las 30 muestras de adoquines ensayados en compresión cumplen con las especificaciones determinadas en la norma ASTM C140, ya que los resultados obtenidos son: valor máximo 71MPa, valor mínimo 59MPa y valor promedio 65MPa, superando así estos valores al mínimo de 55MPa; y que ningún valor individual esté por debajo del valor mínimo individual de 50MPa indicado en la norma, por lo tanto, se genera condiciones de resultados confiables de acuerdo a la normativa.

Tracción indirecta

- Los resultados de los ensayos de tracción indirecta siguen una distribución normal, con un comportamiento armónico y simétrico, lo que indica que los datos se ajustan a un modelo probabilístico y se ajusta a una distribución de la campana de Gauss.

- Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción indirecta son validados gracias al cumplimiento que tienen las muestras con respecto a la norma NTE INEN 3040, ya que, el valor mínimo de resistencia a la Tracción Indirecta es 5.3 (Mpa) el cual supera el requerimiento de la norma que es de resistencia característica de 3.6 (Mpa) e individualmente es 2.9 (Mpa).
- Los resultados del ensayo de Tracción Indirecta cumplen la especificación por atributos donde individualmente las muestras no tienen que ser menores que 5.3 Mpa y el valor promedio debe ser mínimo de 6.2 Mpa.

Flexión

- Los resultados de los ensayos de flexión siguen una distribución normal, con un comportamiento armónico y simétrico, lo que indica que éstos datos se ajustan a un modelo probabilístico de la campana de Gauss.
- Las revisiones de resultados son validadas gracias al cumplimiento que las muestras tienen con respecto a la norma ICONTEC 2017 ya que el valor mínimo de resistencia a la Flexión obtenido es de 8.7Mpa, el cual, está por encima del requerimiento de la norma que es la resistencia promedio de 4.5Mpa e individualmente es 3.6Mpa.
- Se estableció una especificación por atributos para los ensayos de flexión, donde individualmente las muestras no tienen que ser menores que 8.7 Mpa y en promedio tienen que cumplir mínimo 9.4 Mpa para la aprobación de dichas muestras.
- El ensayo de flexión se considera un método más confiable para la calificación de adoquines debido a su menor dispersión en los resultados obtenidos con un valor de la varianza de 0.17 que es menor que el valor de la varianza de los ensayos de tracción indirecta que es de 0.34.

- Para evaluar la calidad de los adoquines, los ensayos de compresión (ASTM C140) y de flexión (ICONTEC 2017) pueden convertirse en ensayos complementarios para la calificación de adoquines de hormigón ya que su varianza, desviación y distribución de resultados son más confiables que solamente el de Tracción Indirecta (NTE INEN 3040)
- El ensayo de flexión se puede convertir en un ensayo más confiable, que los ensayos de compresión y tracción indirecta, ya que obtuvo una menor dispersión en sus resultados los mismos que fueron realizados por el mismo operador manteniendo el procedimiento de norma.
- Al correlacionar la tracción indirecta con la flexión o la compresión con la flexión los valores de R^2 (coeficiente de determinación ideal) son menores a 0,2. Para poder tener una correlación usualmente se pide que este valor sea de 0,6 ó 0,7, por lo tanto, no se encontró una correlación significativa entre los resultados, lo que sugiere que cada ensayo evalúa propiedades diferentes de los adoquines.

Recomendaciones

Existen algunas recomendaciones que se podrían dar con respecto a la investigación realizada:

- Se recomienda continuar con una futura investigación estadística del tema ya que es necesario poder encontrar un factor de error para poder correlacionar los esfuerzos de Tracción Indirecta, de Compresión y de Flexión.
- Se recomienda realizar un análisis para la actualización de la normativa vigente (NTE INEN 3040) y poder incluir los ensayos de compresión (ASTM C140) y de Flexión (ICONTEC 2017) como ensayos complementarios para cumplir como requisitos en la calificación de adoquines de hormigón, además

de garantizar que la normativa refleje los últimos avances tecnológicos y las mejores prácticas en la industria.

- Se recomienda realizar investigaciones y desarrollos para mejorar la resistencia y durabilidad de los adoquines, y para desarrollar nuevos productos y tecnologías.
- Se recomienda proporcionar capacitación y entrenamiento a los técnicos y trabajadores involucrados en la producción y ensayo de adoquines de hormigón, para garantizar que tengan los conocimientos y las habilidades necesarios para realizar sus trabajos y calificación de los mismos de manera más efectiva.
- Se recomienda analizar la implementación de un sistema de certificación para garantizar que los adoquines de hormigón cumplan con las especificaciones y normas establecidas.

Bibliografía

American Society for Testing and Materials ASTM C140. (2018). U.S.: ASTM International.

American Society for Testing and Materials ASTM C293. (2010). ASTM.

Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Madrid: Equipo de diseño de Pearson Educación S.A.
Revista Dialnet . <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=708990>

Ceballos, S., González, D., & Sancéz, J. (2021). Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RC&D) generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la fabricación de adoquines. *Revista ION*, 34(1), 27–35.
<https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021003>

Díaz, J. R. (2022). *Reutilización de desechos de concreto para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de adoquines de tránsito peatonal*. Chiclayo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108823>

Flores, F., Gálvez, L., Lau, C., Villegas, M., Dávila, V., & Menacho, I. (2022). *Medidas de Dispersión: Vol. Primera Edición*. Fondo Editorial Professionals On Line. <https://doi.org/10.47422/fepol.8>

ICONTEC, I. C. (2018). *Adoquines de Concreto para Pavimento*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, S. E. (2016). *Adoquines de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo*. Quito, Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

Mariano, R. (2017). *Estimación de la desviación estándar*. Madrid. 59(192), 37-44.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6287785>

Norma Técnica Guatemalteca NTG41017h43. (2018).
https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h_43Mtodo_de_ensayo_para_la_medicion_in_situ_de_la_permeabilidad_al_aire_del_concreto_Mtodo_Torrent.pdf

RAE. (2014). *Diccionario de la Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/>

Rodríguez, Y., & Fuentes, Y. (2021). *Control Estadístico de la Calidad de la Empresa Transtur Guantánamo*. Revista Dialnet. 3(19).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8566931>

Ruiz, L. (2020). *Material Didáctico de Estadística*.

https://www.uaeh.edu.mx/division_academica/educacion-media/repositorio/2010/6- semestre/estadistica/medidas-tendencia-central.pdf

Norma Europea UNE - EN 1338. UNE, 1. (2004).

Zelada, H. (2023). *Evaluación de propiedades mecánicas del adoquín para tránsito peatonal, incorporando ladrillo triturado en sustitución parcial del agregado fino*.

<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12103?show=full>

Anexos

Anexo 1. (NORMA INEN 3040 - Extracto)



NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN 3040
2016-04

ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO

CONCRETE PAVING BLOCKS. REQUIREMENTS AND TEST METHODS

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ADOQUINES DE HORMIGÓN REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO	NTE INEN 3040:2016 2016-04
---	---	---

1. OBJETO

Esta norma técnica ecuatoriana especifica los materiales, propiedades, requisitos y métodos de ensayo de los adoquines prefabricados de hormigón no armados y sus accesorios complementarios, para ser instalados en cubiertas o áreas sometidas a tránsito de personas y vehículos; en espacios residenciales, comerciales o industriales; de carácter privado o público; ya sea a la intemperie o bajo cubierta.

Esta norma no trata la visibilidad o la tactibilidad de los adoquines.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Se aplica tanto a adoquines normales como a adoquines permeables.

Para la aplicación de esta norma los adoquines deben satisfacer las siguientes condiciones:

- cualquier sección transversal a una distancia de 50 mm de cualquiera de los bordes del adoquín, tiene una dimensión horizontal igual o superior a 50 mm.
- su longitud total dividida por su espesor es menor o igual que cuatro.

NOTA. Estas dos condiciones no son aplicables a los accesorios complementarios.

Los elementos fabricados de manera similar a los adoquines y que no cumplan con las características geométricas señaladas, pueden ser sometidos a esta norma; de común acuerdo entre el cliente y el fabricante. Sin embargo, debe asegurarse de que estos elementos trabajen a compresión.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para las referencias fechadas, aplica solamente la edición citada. Para el caso de referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN-ISO 4288, *Especificación geométrica de producto (GPS) – Calidad superficial: Método del perfil – Reglas y procedimientos para la evaluación del estado superficial (ISO 4288:1996, IDT)*

NTE INEN-ISO 6506-1, *Materiales metálicos – Ensayo de dureza Brinell – Parte 1: Método de ensayo (ISO 6506-1:2005, IDT)*

NTE INEN-ISO 6506-2, *Materiales metálicos – Ensayo de dureza Brinell – Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo (ISO 6506-2:2005, IDT)*

NTE INEN-ISO 6506-3, *Materiales metálicos – Ensayo de dureza Brinell – Parte 3: Calibración de bloques de referencia (ISO 6506-3:2005, IDT)*

NTE INEN-ISO 48, *Elastómeros, vulcanizados o termoplásticos – Determinación de la dureza (dureza entre 10 IRHD y 100 IRHD)*

NTE INEN-ISO 2859-1, *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos – Parte 1: Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote*

NTE INEN-ISO 8422, *Planes de muestreo secuencial para inspección por atributos*

NTE INEN-ISO 3951-2, *Procedimientos de muestreo para la inspección por variables – Parte 2: Especificación general para los planes de muestreo simples tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA) para la inspección lote por lote de características de calidad independientes (ISO 3951-2;2006)*

NTE INEN-ISO 8423, *Planes de muestreo secuencial para inspección por variables para porcentaje no conforme (desviación estándar conocida) (ISO 8423:2008, IDT)*

ISO 4662, *Caucho – Determinación de la resiliencia reflejada de los vulcanizados*

ISO 7619, *Caucho – Determinación de la dureza de indentación por métodos de medida de la dureza portátiles*

ISO 7873, *Diagramas de control para la media aritmética con límites de aviso*

ISO 7966, *Diagramas de control de aceptación*

ISO 8486-1:1996, *Abrasivos de adherencia – Determinación y designación de la distribución del tamaño de grano – Macrogranos de F4 a F220*

UNE-EN 10083-2, *Aceros para temple y revenido – Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados*

UNE-EN 13369, *Reglas comunes para productos prefabricados de hormigón*

4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones que a continuación se detallan:

4.1 Adoquín de hormigón. Unidad prefabricada de hormigón, utilizada como parte del pavimento.

4.2 Accesorio complementario. Unidad, a veces parte de un adoquín y de la misma calidad que éste; utilizado como remate para completar el área del pavimento.

4.3 Adoquín permeable. Unidad prefabricada de hormigón, diseñada con pasos verticales para permitir el flujo de agua a través de estos o entre adoquines.

4.4 Ancho total. Lado menor del rectángulo de menor área capaz de abarcar la superficie vista del adoquín, excluyendo cualquier espaciador.

4.5 Arista. Parte de un adoquín donde se encuentran dos de sus caras. Puede ser viva, biselada, redondeada o achaflanada.

4.6 Capa de limpieza. Mortero fino o lechada de cemento aplicado a la superficie del adoquín.

4.7 Capa superficial (doble capa). Capa de hormigón en la superficie del adoquín de diferentes materiales o propiedades respecto a la estructura principal o capa de apoyo.

NOTA. Ha de distinguirse de la capa de limpieza, que consiste en un mortero de cemento fino o lechada de cemento aplicado a la superficie del adoquín.

4.8 Cara base. Superficie inferior del adoquín, paralela a la cara vista, que está en contacto con el suelo después de su colocación.

4.9 Cara lateral ranurada. Cara lateral de un adoquín cuyo perfil tiene acanaladuras.

4.10 Cara vista. Es la superficie del adoquín que queda a la vista en condiciones de uso del adoquín.

4.11 Chaflán o bisel. Cara larga y estrecha, que resulta en un sólido de cortar por un plano una esquina, según la figura 1.

4.12 Conicidad perimetral. Ángulo previsto en la cara lateral respecto al plano vertical sobre toda la altura o superficie lateral de un adoquín, tal como se muestra en la figura 1.

4.13 Delaminación. Defecto producido por la separación entre la capa superficial y la estructura principal o capa de apoyo.

4.14 Dimensión nominal. Dimensión de un adoquín especificada por su fabricante, a la cual debe ajustarse su dimensión real dentro de las tolerancias admisibles especificadas.

4.15 Dimensión real. Dimensión de un adoquín obtenida de su medición.

4.16 Espaciador. Perfil saliente, situado en la cara lateral de un adoquín.

4.17 Espesor. Distancia entre la cara base y la cara vista del adoquín.

4.18 Formato. Dimensiones nominales de un adoquín, especificadas de acuerdo a su longitud total, ancho total y espesor.

4.19 Hormigón. Material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.

El hormigón puede ser fabricado con o sin la inclusión de aditivos.

4.20 Longitud total. Lado mayor del rectángulo de menor área, capaz de abarcar la superficie vista del adoquín, excluyendo cualquier espaciador.

4.21 Lote. Cualquier cantidad de producto, de características similares, provenientes de una fuente común.

4.22 Pavimento. Elemento estructural y funcional que permite transmitir las cargas generadas por el tránsito de personas y vehículos a la subrasante. Este elemento está conformado por el paquete estructural y la capa de rodadura.

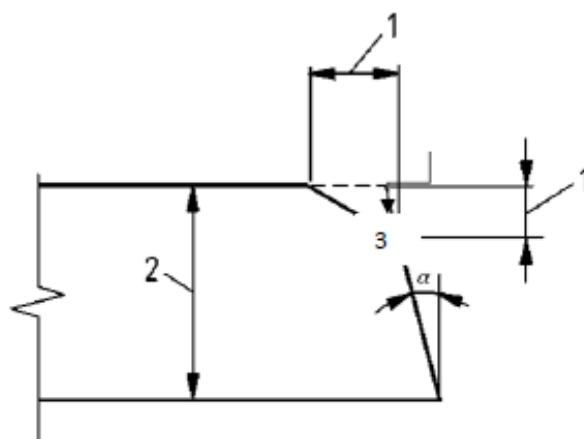
4.23 Resistencia al deslizamiento. Capacidad de resistir un movimiento relativo entre el neumático de un vehículo y la cara vista del adoquín.

4.24 Resistencia al resbalamiento. Capacidad de resistir un movimiento relativo entre el pie de un peatón y la cara vista del adoquín.

4.25 Tratamiento secundario. Proceso de fabricación para dar textura a cualquiera de las superficies del adoquín, llevado a cabo después del proceso básico de fabricación y antes o después del endurecimiento.

4.26 USRV. (Unpolished Slip Resistance Value). Unidad de medida de la resistencia al deslizamiento/resbalamiento de superficies, que se obtiene por medio del método de ensayo del péndulo de fricción.

FIGURA 1. Ejemplo de chaflán o bisel y de conicidad perimetral



Leyenda:

- 1. proyecciones del chaflán o bisel,
- 2. espesor,
- 3. chaflán o bisel,
- α conicidad perimetral.

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos de los materiales

5.1.1 Generalidades

En la fabricación de adoquines de hormigón solamente se deben utilizar materiales cuyas propiedades y características sean las adecuadas para ello.

Los requisitos de idoneidad de los materiales utilizados deben recogerse en la documentación de control de producción del fabricante.

En el anexo A se indica un esquema de inspección de referencia.

5.1.2 Amianto

Para la fabricación de adoquines, no debe utilizarse amianto o materiales que contengan amianto.

5.2 Requisitos de los productos

5.2.1 Generalidades

Los adoquines pueden ser monocapa, con un solo tipo de hormigón, o doble capa, con diferentes tipos de hormigón en su capa superficial y de apoyo.

Cuando los adoquines sean fabricados con capa superficial, o doble capa, ésta, debe tener un espesor mínimo de 4 mm sobre el área declarada por el fabricante cuando se mida de acuerdo con el anexo C.

Se deben ignorar las partículas aisladas de áridos de su estructura principal que puedan quedar introducidas en la parte interior de la capa superficial. La capa superficial debe considerarse como

parte integrante del adoquín.

Una arista puede considerarse biselada; cuando sus proyecciones verticales u horizontales no superen los 2 mm.

Una arista biselada, cuyas proyecciones verticales u horizontales excedan los 2 mm debe considerarse como achaflanada. Las dimensiones deben ser declaradas por el fabricante, ver figura 1.

Los adoquines pueden ser fabricados con perfiles funcionales o decorativos, pero estos no deben ser incluidos en las dimensiones nominales del adoquín.

La superficie de los adoquines puede ser texturizada, ser sometida a un tratamiento secundario o ser tratada químicamente; estos acabados o tratamientos deben ser declarados y descritos por el fabricante.

5.2.2 Forma y dimensiones

5.2.2.1 Generalidades

Todas las referencias dimensionales en esta sección toman en consideración a las dimensiones nominales.

Las dimensiones y desviaciones deben ser medidas de acuerdo con el anexo C.

5.2.2.2 Dimensiones nominales

Las dimensiones nominales deben ser declaradas por el fabricante, en una ficha técnica.

5.2.2.3 Espaciadores, caras laterales y aristas

Los adoquines pueden ser fabricados con espaciadores, caras laterales con conicidad perimetral, con aristas biseladas o achaflanadas con filos redondeados o filos vivos. En estos casos, el fabricante debe declarar sus dimensiones nominales.

El tamaño de espacio donde irá colocado el adoquín debe incluir un margen para juntas y tolerancias.

5.2.2.4 Tolerancias admisibles

Las tolerancias admisibles sobre las dimensiones nominales declaradas por el fabricante se indican en la tabla 1.

TABLA 1. Tolerancias admisibles

Espesor del adoquín mm	Longitud mm	Ancho mm	Espesor mm
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4

La diferencia entre dos medidas del espesor de un mismo adoquín debe ser ≤ 3 mm.

En el caso de adoquines no rectangulares, el fabricante debe declarar las tolerancias de las restantes dimensiones.

La diferencia máxima admisible entre las medidas de las diagonales de un adoquín rectangular, cuando la longitud de las diagonales supere los 300 mm, no debe exceder de 5 mm.

Las desviaciones máximas de planeidad y curvatura indicadas en la tabla 2 deben ser aplicadas a la cara vista plana cuando la dimensión máxima del adoquín supere los 300 mm. Cuando la cara vista no sea plana, el fabricante debe suministrar la información sobre las desviaciones admisibles.

TABLA 2. Desviaciones sobre planeidad y curvatura

Longitud del dispositivo de medida mm	Convexidad máxima mm	Concavidad máxima mm
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

Para aplicaciones especiales tales como aeropuertos pueden ser requeridas otras desviaciones.

5.2.3 Propiedades físicas y mecánicas

5.2.3.1 Generalidades

Los adoquines deben cumplir los siguientes requisitos para ser declarados conformes para el uso por el fabricante.

Cuando los accesorios complementarios no puedan ser ensayados de acuerdo con esta norma, se considerarán conformes con ella siempre que se demuestre que el hormigón utilizado en su fabricación tiene la misma calidad que el empleado en adoquines que cumplan con esta norma.

5.2.3.2 Resistencia climática por absorción total de agua

5.2.3.2.1 Método de ensayo

La resistencia climática se determina mediante el ensayo de absorción total de agua, de acuerdo con el anexo D.

5.2.3.2.2 Características

Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual a 6 %.

5.2.3.3 Resistencia a la rotura por tracción indirecta

5.2.3.3.1 Método de ensayo

La resistencia a la rotura (T), se debe determinar mediante el ensayo de tracción indirecta descrito en el anexo E.

5.2.3.3.2 Características

La resistencia característica a la tracción indirecta (T) debe ser superior o igual a 3,6 MPa. Ningún valor individual debe ser inferior a 2,9 MPa ni tener una carga de tracción indirecta por unidad de longitud (F) inferior a 250 N/mm.

5.2.3.3.3 Durabilidad de la resistencia

En condiciones normales de uso, los adoquines prefabricados de hormigón mantendrán una resistencia satisfactoria siempre y cuando cumplan con lo establecido en el subcapítulo 5.2.3.3.2 y estén sometidos a un mantenimiento normal.

Anexo 2. (NORMA ASTM C 140 - Extracto)



Designation: C140/C140M – 18

Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units¹

This standard is issued under the fixed designation C140/C140M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods provide various testing procedures commonly used for evaluating characteristics of concrete masonry units and related concrete units. Methods are provided for sampling, measurement of dimensions, compressive strength, absorption, unit weight (density), moisture content, flexural load, and ballast weight. Not all methods are applicable to all unit types, however.

1.2 Specific testing and reporting procedures are included in annexes to these test methods for the following specific unit types:

- Annex A1—Concrete masonry units (Specifications C90, C129)
- Annex A2—Concrete and calcium silicate brick (Specifications C55, C73, C1634)
- Annex A3—Segmental retaining wall units (Specification C1372)
- Annex A4—Concrete interlocking paving units (Specification C936/C936M)
- Annex A5—Concrete grid paving units (Specification C1319)
- Annex A6—Concrete roof pavers (Specification C1491)
- Annex A7—Dry-cast articulating concrete block (Specification D6684)

1.3 The test procedures included in these test methods are also applicable to other types of units not referenced in these test methods, but specific testing and reporting requirements for those units are not included.

1.4 These test methods include the following sections:

	Section
Scope	1
Referenced Documents	2
Terminology	3
Significance and Use	4
Sampling	5
Measurement of Dimensions	6
Compressive Strength	7

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C15 on Manufactured Masonry Units and are the direct responsibility of Subcommittee C15.03 on Concrete Masonry Units and Related Units.

Current edition approved July 15, 2018. Published August 2018. Originally approved in 1938. Last previous edition approved in 2017 as C140 – 17b. DOI: 10.1520/C0140-C0140M-18.

Absorption	Section 8
Calculations	9
Report	10
Keywords	11
Annexes—Test Procedures	
Concrete Masonry Units	Annex A1
Concrete and Calcium Silicate Brick	Annex A2
Segmental Retaining Wall Units	Annex A3
Concrete Interlocking Paving Units	Annex A4
Concrete Grid Paving Units	Annex A5
Concrete Roof Pavers	Annex A6
Dry-Cast Articulating Concrete Block	Annex A7
Worksheet and Test Report for Concrete Masonry Units	Appendix X1

NOTE 1—The testing laboratory performing these test methods should be evaluated in accordance with Practice C1093.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes that provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.6 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.8 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2969. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Wed May 04 20:42:19 GMT 2022

Downloaded from

Revista Universitat Catòlica del Salvador - RUCS / Revista Universitat Catòlica del Salvador - RUCS) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.



2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C55 Specification for Concrete Building Brick
 - C73 Specification for Calcium Silicate Brick (Sand-Lime Brick)
 - C90 Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units
 - C129 Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units
 - C143/C143M Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete
 - C936/C936M Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units
 - C1093 Practice for Accreditation of Testing Agencies for Masonry
 - C1232 Terminology for Masonry
 - C1319 Specification for Concrete Grid Paving Units
 - C1372 Specification for Dry-Cast Segmental Retaining Wall Units
 - C1491 Specification for Concrete Roof Pavers
 - C1552 Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing
 - C1634 Specification for Concrete Facing Brick
 - C1716 Specification for Compression Testing Machine Requirements for Concrete Masonry Units, Related Units, and Prisms
 - D6684 Specification for Materials and Manufacture of Articulating Concrete Block (ACB) Revetment Systems
 - E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
 - E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- ### 2.2 Other Documents:
- SP 960-12 NIST Recommended Practice Guide – Stopwatch and Timer Calibration³

3. Terminology

3.1 Terminology defined in Terminologies C1232 and E6 shall apply for these test methods.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *lot, n*—any number of concrete masonry units or related units, designated by the producer, of any configuration or dimension manufactured by the producer using the same materials, concrete mix design, manufacturing process, and curing method.

4. Significance and Use

4.1 These test methods provide general testing requirements for application to a broad range of concrete products. Those general testing requirements are included in the body of this standard.

NOTE 2—Consult manufacturer, supplier, product specifications, or other resources for more specific measurement or testing guidelines for those products not addressed with the annex of this standard.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available at <http://tf.nist.gov/general/pdf/2281.pdf>

4.2 These test methods provide specific testing requirements in two distinct sections, the requirements applicable to all units covered by these test methods and those applicable to the specific unit types. The requirements applicable to all units are included in the body of these test methods and those applicable to the specific unit types are included within the annexes.

5. Sampling

5.1 Selection of Test Specimens:

5.1.1 For purposes of testing, full-sized units shall be selected by the purchaser or authorized representative. The selected specimens shall be of similar configuration and dimensions. Specimens shall be representative of the whole lot of units from which they are selected.

5.2 Number of Specimens:

5.2.1 Unless specified otherwise in the applicable annex, a set of units shall consist of six full-size units.

5.3 Remove loose material from the specimens (including the cores) prior to determining the received weight.

NOTE 3—An abrasive stone or wire brush is typically used to remove loose material.

5.4 *Identification*—Mark each specimen so that it may be identified at any time. Markings shall cover not more than 5 % of the surface area of the specimen.

5.5 *Received Weight*—Weigh each specimen immediately after sampling and marking, and record as w_r (received weight). Record time and place w_r was measured.

NOTE 4—Received weights often have direct relationships with other unit properties and are therefore a useful method of evaluating results or for sorting purposes. The weight of a concrete masonry unit and related unit changes with time and exposure conditions, primarily as a result of the moisture within the unit. Therefore, to understand the context of a received weight value, it is also important to understand the point in time and the frame of reference when that weight was determined. "Time and place" should not refer to when and where the unit was sampled but when and where the received weights were determined. In addition to date and time references, it is also important to know if those weights were determined after units reached equilibrium with lab environment, or before units were shipped, or after delivery to the job site, and so forth.

6. Measurement of Dimensions

6.1 Apparatus:

6.1.1 *Measurement Devices*—Devices used to measure specimen dimensions shall have divisions not greater than 0.1 in. [2.5 mm] when the dimension is to be reported to the nearest 0.1 in. [2.5 mm] and not greater than 0.01 in. [0.25 mm] when the dimension is to be reported to the nearest 0.01 in. [0.25 mm].

6.1.2 Measuring devices shall be readable and accurate to the division required to be reported. Accuracy shall be verified at least once annually. Verification record shall include date of verification, person or agency performing verification, identification of reference standard used, test points used during verification, and readings at test points.

6.2 *Specimens*—Three full-size units shall be selected for measurement of dimensions.

6.3 *Measurements*—Measure specimens in accordance with the applicable annex of this standard. For those products not

 C140/C140M – 18

covered by the annexes of this standard, measure overall dimensions (width, height, length) in at least two locations on opposite sides of the specimen to the nearest division required to be reported. Document location of each measurement on a sketch or photograph of the specimen.

NOTE 5—Specimens used for measurement of dimensions may be used in other tests.

NOTE 6—Calipers, micrometers, and steel scales and dividers of the appropriate accuracy and readability have been shown to be adequate for these measurements.

7. Compressive Strength

7.1 *Test Apparatus*—The compressive strength testing machine shall conform to Specification C1716.

NOTE 7—Previous versions of this standard have contained specific requirements for compressive strength test machines. These requirements have been replaced with reference to Specification C1716.

7.2 Test Specimens:

7.2.1 Unless specified otherwise in the applicable annex, test three specimens in compression.

7.2.2 Unless specified otherwise in the applicable annex, specimens shall be full-sized units except when the units cannot be tested full-size due to specimen configuration or testing machine requirements. In these cases, reduce the specimen size in accordance with Annex A1.

7.2.3 After delivery to the laboratory, store compression specimens (unstacked and separated by not less than 0.5 in. [13 mm] on all sides) continuously in air at a temperature of $75 \pm 15^\circ\text{F}$ [$24 \pm 8^\circ\text{C}$] and a relative humidity of less than 80 % for not less than 48 h. Alternatively, if compression results are required sooner, store units unstacked in the same environment described above with a current of air from an electric fan passing over them for a period of not less than 4 h. Continue passing air over the specimens until two successive weighings at intervals of 2 h show an increment of loss not greater than 0.2 % of the previously determined weight of the specimen and until no moisture or dampness is visible on any surface of the unit. Specimens shall not be subjected to oven-drying.

NOTE 8—In this test method, net area (other than certain solid units, see 9.5) is determined from specimens other than those subjected to compression testing. The compressive strength method is based on the assumption that units used for determining net volume (absorption specimens) have the same net volume as units used for compression testing. Sampled split face units, which have irregular surfaces, should be divided at the time they are sampled from the lot, such that the absorption test specimens have a net volume that is visually representative and a weight that is representative of the compression test specimens.

7.2.4 Where saw-cutting of test specimens is allowed or required by the standard or applicable annex, sawing shall be performed in an accurate, competent manner, subjecting the specimen to as little saw vibration as possible. Use a diamond saw blade of proper hardness. Following cutting, residue from the cutting operation shall be removed prior to continuing testing (see Note 9). If the specimen is wetted during sawing, allow the specimen to dry to equilibrium with laboratory air conditions before testing, using the procedures outlined in 7.2.3.

NOTE 9—For specimens cut with a wet saw, rinsing with clean water is

typically sufficient for removing cutting residue. For specimens cut with a dry saw, brushing with a soft-bristle brush is typically sufficient for removing cutting residue.

7.2.5 If compression test specimens have been saw-cut from full-sized units and the net area of the compression test specimens can not be determined by 9.5.1, saw-cut an additional three units to the dimensions and configuration of the three compression test specimens. The average net area for the saw-cut compression specimens shall be taken as the average net area of the additional three saw-cut units calculated as required in 9.5. Calculated net volumes of saw-cut specimens shall not be used in calculating equivalent thickness.

7.3 *Capping*—Cap test specimens in accordance with Practice C1552.

7.4 Compression Testing Procedure:

7.4.1 *Position of Specimens*—Test specimens with the centroid of their bearing surfaces aligned vertically with the center of thrust of the spherically seated steel bearing block of the testing machine (Note 10). Except for special units intended for use with their cores in a horizontal direction, test all hollow concrete masonry units with their cores in a vertical direction. Test masonry units that are 100 % solid and special hollow units intended for use with their hollow cores in a horizontal direction in the same direction as in service. Prior to testing each unit, ensure that the upper platen moves freely within its spherical seat to attain uniform seating during testing.

NOTE 10—For those masonry units that are symmetrical about an axis, the location of that axis can be determined geometrically by dividing the dimension perpendicular to that axis (but in the same plane) by two. For those masonry units that are nonsymmetrical about an axis, the location of that axis can be determined by balancing the masonry unit on a knife edge or a metal rod placed parallel to that axis. If a metal rod is used, the rod shall be straight, cylindrical (able to roll freely on a flat surface), have a diameter of not less than 0.25 in. [6 mm] and not more than 0.75 in. [19 mm], and its length shall be sufficient to extend past each end of the specimen when placed upon it. The metal rod shall be placed on a smooth, flat, level surface. Once determined, the centroidal axis shall be marked on the end of the unit using a pencil or marker having a marking width of not greater than 0.05 in. [1.5 mm]. A tamping rod used for consolidation of concrete and grout for slump tests performed in accordance with Test Method C143/C143M is often used as a balancing rod.

7.4.2 *Moisture Condition of Specimens*—At the time the specimens are tested, they shall be free of visible moisture or dampness.

7.4.3 *Speed of Testing*—Apply the load (up to one half of the expected maximum load) at any convenient rate, after which adjust the controls of the machine as required to give a uniform rate of travel of the moving head such that the remaining load is applied in not less than 1 nor more than 2 min. The results of the first specimen shall not be discarded so long as the actual loading time for the second half of the actual load is greater than 30 s.

NOTE 11—The allowance for a loading rate outside of 1 to 2 min for the first specimen acknowledges that the expected load may be different than the actual maximum load. The load rate for the remaining two specimens should be adjusted based on the first specimen results.

7.4.4 *Maximum Load*—Record the maximum compressive load in pounds [newtons] as P_{max} .

 C140/C140M – 18

consulted for the recommended coupon sample location for a given unit configuration.

A3.4.3 Testing—Cap and test specimens in accordance with 7.3 and 7.4.

A3.5 Absorption Testing

A3.5.1 Apparatus—Absorption testing apparatus shall comply with 8.1.

A3.5.2 Test Specimens—Specimens shall be full-size or reduced-size specimens in accordance with 8.2.

A3.5.3 Testing—Perform absorption tests in accordance with 8.3.

A3.6 Calculations

A3.6.1 Calculate absorption, density, net area, and net area compressive strength in accordance with Section 9.

A3.7 Report

A3.7.1 Test reports shall include all of the information in 10.2 and the following:

A3.7.1.1 The average width and height to the nearest 0.1 in. [2.5 mm] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.2 The front length to the nearest 0.1 in. [2.5 mm] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.3 The rear length to the nearest 0.1 in. [2.5 mm] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.4 The net area to the nearest 0.1 in.² [50 mm²] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.5 The maximum load separately for each specimen and as the average for the three specimens tested. Record the load as indicated to the nearest 10 lb [50 N] or the minimum resolution of the test machine as used during testing, whichever is greater.

A3.7.1.6 The net area compressive strength to the nearest 10 psi [0.1 MPa] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.7 The immersed, saturated, and oven dry weights (w_i , w_s , and w_d) to the nearest 0.1 lb [0.05 kg] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.8 The absorption to the nearest 0.1 lb/ft³ [1 kg/m³] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.9 The density to the nearest 0.1 lb/ft³ [1 kg/m³] separately for each specimen and as the average for the three specimens tested.

A3.7.1.10 The size and configuration of the specimens tested for compressive strength and absorption.

A4. TEST PROCEDURES FOR CONCRETE INTERLOCKING PAVING UNITS

A4.1 Scope

A4.1.1 This annex includes testing requirements that are particular for concrete interlocking paving units that are manufactured for compliance with the following unit specifications: C936/C936M.

A4.2 Measurement of Dimensions

A4.2.1 For each full-sized unit sampled for compressive strength testing, measure and record the following using a caliper readable and accurate to 0.002 in. [0.1 mm]:

(1) Width (W) at mid-length across the top and bottom bearing surfaces. Average the two recorded values to determine the width of the specimen.

(2) Thickness (T) at mid-length on each side. Average the two recorded values to determine the thickness of the specimen.

(3) Length (L) at mid-width across the top and bottom bearing surfaces. Average the two recorded values to determine the length of the specimen.

A4.2.1.1 Disregard spacer tabs when performing length and width measurements.

A4.2.1.2 The width (W) is the smaller average lateral dimension and the length (L) is the larger average lateral dimension.

A4.2.2 For pavers with chamfers, disregard the chamfer and measure thickness from the bottom surface to the top surface of the specimen along the portion of the top surface without the chamfer. See Fig. A4.1.

A4.3 Compressive Strength Testing

A4.3.1 Test Specimens—Test full size units that comply with all the requirements of A4.3.1.2. If full size units do not comply with all of the requirements of A4.3.1.2, then cut a rectangular full-height specimen from the units by reducing the width or length or both to meet all of the requirements of A4.3.1.2. If the smoothness or the aspect ratio required in A4.3.1.2 cannot be achieved with a full-height specimen, cut the specimen height to achieve the required smoothness and aspect ratio. If saw-cutting is required to achieve specimen size or configuration requirements in A4.3.1.2, follow the procedures in 7.2.4.

A4.3.1.1 For any cuts that reduce the thickness of the pavers, cut off the top of the paver and discard. Verify the accuracy of cut by measuring and recording as T_c the thickness of the cut specimen at mid-length of each side. Discard any specimen if the difference in T_c at the two different points is greater than 0.08 in. [2.0 mm].



FIG. A4.1 Measuring Thickness of Paver with Chamfer (Section view from end of paver)

A4.3.1.2 Compression specimens shall (1) have a cross-section about any principal axis that is a rectangle; (2) have a face area with a length no greater than 2.1 times the width; (3) have no grooves, chamfers, or dummy joints on the top face, except those intentionally manufactured on the edges of the specimen; (4) have no texture on the top surface where the difference in height between the highest and lowest point across the surface face is greater than 0.06 in. [1.5 mm] except for chamfers intentionally manufactured on the edges of the specimen; and (5) have an aspect ratio (thickness divided by width of the compression specimen, T_s / W_s) of 0.58 to 1.20.

A4.3.1.3 If saw-cutting is required to achieve specimen size and configuration requirements, measure and record the following to the nearest 0.002 in. [0.1 mm] for each specimen:

(1) Width (W_s) across the top and bottom surfaces at mid-length.

(2) Thickness (T_s) at mid-length of each side.

(3) Length (L_s) across the top and bottom surfaces at mid-width.

When full-size specimens are tested in compression, consider T_s , W_s , and L_s to be T , W , and L , respectively, as measured in A4.2.1.

A4.3.2 Capping—Cap test specimens in accordance with Practice C1552 except as modified below.

A4.3.2.1 Use high strength gypsum cement capping material only.

A4.3.2.2 The average cap thickness for each unit shall not exceed 0.06 in. [1.5 mm].

A4.3.2.3 Determine the average thickness of the cap as follows: after capping both sides of the specimen, measure and record the thickness of the capped specimen to the nearest 0.002 in. [0.1 mm] at the same two points where thickness of the uncapped specimen was measured in accordance with either (1) A4.2.1 if the pavers were not cut to reduce thickness or (2) A4.3.1.1 if the pavers were cut to reduce thickness. Calculate the difference in thickness for each point and divide by 2 to determine the calculated cap thickness at each point. Calculate the average cap thickness for the whole specimen by taking the average of the calculated cap thickness at each of the two points.

NOTE A4.1—An important factor in producing high-quality gypsum caps is to use a water-to-cement ratio that yields a capping material that is fluid enough to spread while being viscous enough to allow the paver to be pushed into it forming a consistent thin cap.

A4.3.3 Testing—Test specimens in accordance with 7.4.

A4.4 Absorption Testing

A4.4.1 Apparatus—Absorption testing apparatus shall comply with 8.1 except as modified in A4.4.1.1 and A4.4.1.2.

A4.4.1.1 The balance used shall be readable and accurate to 0.05 % of the smallest specimen tested.

A4.4.1.2 Record the immersed, saturated, and oven dry weights (w_i , w_s , and w_d) to the accuracy required in Table A4.1.

A4.4.2 Test Specimens—Specimens shall be full-size or reduced-size specimens in accordance with 8.2.

A4.4.3 Testing—Perform absorption tests in accordance with 8.3.

A4.5 Calculations

A4.5.1 Calculate the absorption and density in accordance with Section 9.

A4.5.2 Calculate net area compressive strength of the specimen as follows:

$$\text{Net Area } (A_n) \text{ in.}^2 [\text{mm}^2] = L_s \times W_s \quad (\text{A4.1})$$

$$\text{Aspect Ratio } (R_a) = T_s / W_s \quad (\text{A4.2})$$

$$\text{Aspect Ratio Factor } (F_a) = (-0.374 / R_a) + 1.611 \quad (\text{A4.3})$$

$$\text{Net Area Compressive Strength, psi [MPa]} = (P_{max} / A_n) \times F_a \quad (\text{A4.4})$$

where:

- A_n = average net area of specimen, in.² [mm²],
- L_s = average length of the final test specimen, in. [mm],
- W_s = average width of the final test specimen, in. [mm],
- R_a = aspect ratio,
- T_s = average uncapped thickness of the final test specimen, in. [mm],
- F_a = aspect ratio factor (see Note A4.2), and
- P_{max} = maximum compressive load, lb [N].

NOTE A4.2—The aspect ratio factors are normalized so that a common

TABLE A4.1 Required Accuracy for Recording and Reporting Specimen Weights

Absorption Specimen	Required Accuracy
Less than 10 lb [4 kg]	0.002 lb [0.001 kg]
10 to 20 lb [4 to 10 kg]	0.005 lb [0.002 kg]
Greater than 20 lb [10 kg]	0.01 lb [0.005 kg]

C140/C140M – 18

2.36-in. [60-mm] thick rectangular 3.86×7.80 in. [98×198 mm] paver with an aspect ratio of 0.612 has an aspect ratio factor of 1.00. Based on Eq A4.3, the aspect ratio factors for rectangular 3.86×7.80 in. [98×198 mm] pavers of various thicknesses are shown in the following table:

Thickness, in. [mm]	Aspect Ratio (R_a)	Aspect Ratio Factor (F_a)
2.36 [60]	0.612	1.00
2.76 [70]	0.714	1.09
3.15 [80]	0.816	1.15
3.54 [90]	0.918	1.20
3.94 [100]	1.020	1.24
4.33 [110]	1.122	1.28
4.72 [120]	1.224	1.31

A4.6 Report

A4.6.1 Test reports shall include all of the information in Section 10.2 and the following:

A4.6.1.1 The average width, W , thickness, T , and length, L , to the nearest 0.002 in. [0.1 mm] separately for each full-sized, sampled unit and as the average for the three units tested.

A4.6.1.2 The dimensions of the compression specimens (W_s , T_s , and L_s), to the nearest 0.002 in. [0.1 mm], if different from the full-size units, including the difference in T_c value across the face of the paver if the specimen was cut to reduce thickness.

A4.6.1.3 The net area to the nearest 0.1 in.² [50 mm²] separately for each compression specimen and as the average for the three specimens tested.

A4.6.1.4 The average cap thickness to the nearest 0.002 in. [0.1 mm] for each compression specimen and as the average for the set of three specimens tested.

A4.6.1.5 The maximum load separately for each specimen and as the average for the three specimens tested. Record the load as indicated to the nearest 10 lb [50 N] or the minimum resolution of the test machine as used during testing, whichever is greater.

A4.6.1.6 The aspect ratio, R_a , and aspect ratio factor, F_a , for each compressive strength test specimen.

A4.6.1.7 The net area compressive strength to the nearest 10 psi [0.1 MPa] separately for each specimen and as the average for three specimens tested.

A4.6.1.8 The immersed, saturated, and oven dry weights (w_i , w_s , and w_d) to the accuracy required in Table A4.1 separately for each specimen and as an average for the three specimens tested.

A4.6.1.9 The absorption results to the nearest 0.1 % and density results to the nearest 0.1 lb/ft³ [1 kg/m³] separately for each unit and as the average for the three specimens tested. If absorption tests are performed on specimens other than full-size units, report the reason for testing reduced-size units.

A4.6.1.10 Two sample test reports showing examples of reports that meet all of the requirements of this section are shown in the nonmandatory Appendix X2.

A5. TEST PROCEDURES FOR CONCRETE GRID PAVING UNITS

A5.1 Scope

A5.1.1 This annex includes testing requirements that are particular for concrete grid paving units that are manufactured for compliance with the following unit specifications: C1319.

A5.2 Sampling

A5.2.1 *Sampling*—A minimum of six specimens shall be selected for each test set.

A5.3 Measurement of Dimensions

A5.3.1 For each unit, measure and record the following to the nearest division required to be reported (see Fig. A5.1).

(1) Width (W) across the top and bottom bearing surfaces at the maximum width of the unit. Average the two recorded values to determine the width of the specimen.

(2) Thickness (T) at mid-length of each face. Average the two recorded values to determine the thickness of the specimen.

(3) Length (L) across the top and bottom bearing surfaces at the maximum length of the unit. Average the two recorded values to determine the length of the specimen.

NOTE A5.1—Fig. A5.1 shows a representative example of how to properly measure and obtain specimens from a common unit shape. There are many other shapes and sizes of grid paving units available which may require different procedures for measuring and obtaining specimens. Suppliers should be consulted for recommended specimen sampling procedures.

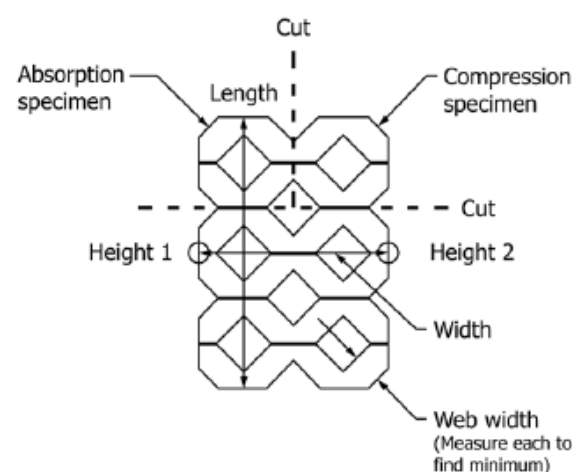


FIG. A5.1 Typical Grid Paver Configuration

A5.3.2 For each unit, measure the width of each web at the thinnest point. Record the minimum value measured. For the web with the minimum thickness, measure and record two additional web readings. The two additional readings shall be at the maximum width of the web and at mid-thickness of the web. Measure and record all web width measurements to the

 C140/C140M – 18

nearest division required to be reported. Disregard grooves, scores, and similar details in the measurements.

A5.4 Compressive Strength Testing

A5.4.1 Test Specimens—Three units shall be tested for compressive strength. Specimens shall be full-sized units or reduced-size units as modified in A5.4.1.1 or A5.4.1.2.

A5.4.1.1 When compression testing full-sized units that are too large for the test machine's bearing block and platens or are beyond the load capacity of the test machine, saw-cut the units to properly size them to conform to the capabilities of the testing machine. The resulting specimen shall be symmetrical, have no projections or irregular features, and shall be a fully enclosed cell or cells with a full bearing surface. The compressive strength of the segment shall be considered to be the compressive strength of the whole unit.

A5.4.1.2 If it is not possible to obtain a specimen that is symmetrical with no projections or irregular features and a fully enclosed cell or cells, the specimen shall be a coupon cut from the unit. The compressive strength of the coupon shall be considered to be the compressive strength of the whole unit. Saw-cutting shall be performed in accordance with 7.2.4 and 7.2.5. The coupon shall conform with the following:

- (1) Targeted coupon height shall not be less than the minimum height of the webs.
- (2) Targeted aspect ratio (height divided by width, H_s/W_s) of 2.0 before capping.
- (3) Targeted length to width ratio (L_s/W_s) of 4.0.
- (4) Actual coupon dimensions shall not differ by more than 0.12 in. [3 mm] from targeted dimensions.
- (5) Coupons shall be solid and not contain voids.

NOTE A5.2—An example of a unit that will require coupon testing would be one that has depressions in some of the webs that prevents obtaining a fully enclosed cell with a full bearing surface.

A5.4.1.3 If a coupon complying with to A1.3.1.3 is used for compressive strength testing, measure the coupons in accordance with A1.3.2.

A5.4.2 Coupon Measurement—Coupon measurements shall be performed to the nearest 0.01 in. [0.25 mm] using a measurement device readable and accurate to 0.01 in. [0.25 mm]. Measurements shall be taken as follows:

A5.4.2.1 Width—Measure and record the width of the coupon (W_s) across the top and bottom surfaces at mid-length. Average the two recorded values to determine the width of the coupon.

A5.4.2.2 Height—Measure and record the height of the coupon (H_s) at mid-length on each face. Average the two recorded values to determine the height of the coupon.

A5.4.2.3 Length—Measure and record the length of the coupon (L_s) at mid-height of each face. Average the two recorded values to determine the length of the coupon.

A5.4.3 Testing—Cap and test specimens in accordance with 7.3 and 7.4.

A5.5 Absorption Testing

A5.5.1 Apparatus—Absorption testing apparatus shall comply with 8.1.

A5.5.2 Test Specimens—Specimens shall be full-size or reduced-size specimens in accordance with 8.2 except as modified by A5.5.2.1.

A5.5.2.1 When compression specimens are other than full-size units, absorption testing shall be performed on specimens saw-cut from full-size units with the same configuration as the reduced-size units used for compression testing.

A5.5.3 Testing—Perform absorption tests in accordance with 8.3.

A5.6 Full Size Net Area Testing

A5.6.1 Three full size units shall be tested for net area.

A5.6.2 Determine the net cross-sectional area of full-size units by performing absorption testing on full-size units in accordance with 8.3.

A5.7 Calculations

A5.7.1 Calculate absorption, density, net area, and net area compressive strength in accordance with Section 9. For determination of net area, absorption, and density, use data collected from testing in accordance with A5.5.1.

A5.7.2 Calculate the full-size net area ($A_{n,full}$) in accordance with Section 9 using the data collected from the testing in accordance with A5.6.

A5.7.3 Calculate the percent solid as follows:

$$\text{Percent solid} = ((A_{n,full})/L \times W) \times 100 \quad (\text{A5.1})$$

where:

$A_{n,full}$ = full-size net area, in.² [mm²] (A5.7.2)
 L = full-size unit length, in. [mm], and
 W = full-size unit width, in. [mm].

A5.8 Report

A5.8.1 Test reports shall include all of the information in Sections 10.2, 10.3, and the following:

A5.8.1.1 The minimum web width and average web width to the nearest 0.01 in. [0.25 mm] of each specimen as determined by A5.3.1 The average web width is calculated from the three readings of the web with the minimum width.

A5.8.1.2 The full-size net area to the nearest 0.1 in.² [50 mm²] as the average of the set of three specimens as determined by A5.7.2.

A5.8.1.3 The average percent solid for the set of three units to the nearest 0.1 % as determined by A5.7.3.



C140/C140M – 18

ASTM C140-12a Test Report Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units

Job No: 12-107
Report Date: 9/18/2012

Client: Big Paver Plant
Address: 111 Paver Drive
Anytown, USA 12345

Testing Agency: Accurate Testing Laboratory
Address: 123 Main Street
Anytown, USA 12345

Unit Specification: ASTM C936/C936M-11

Sampling Party: Big Paver Plant

Unit Description: Concrete Pavers
80 mm Holland

Date Samples Received: 9/4/2012

Specified Thickness (mm): 80

ASTM C140
Required for
Compressive
Strength
Specimen

Summary of Test Results

Test Results	ASTM C936		Compressive Strength			
	Required	Actual		Specimen	Actual	
Net Area Compressive Strength:	8000 min	8480	psi	Length/Width (L_x/W_x):	2.1 max	2.02
Absorption:	5 max	4.7	%	Minimum Aspect Ratio (R_a):	0.60 min	0.813
Density (Oven Dry Condition):	****	130.6	pcf	Maximum Aspect Ratio (R_a):	1.20 max	0.827
				Average Cap Thickness:	0.060 max	0.034 in.
				Thickness Variation (T_v) Across Cut:	Not Cut	Not Cut in.

Individual Unit Test Results

Full Size Unit Measurements

	Avg. Width (in.)	Avg. Thickness (in.)	Avg. Length (in.)	Sample Weight (lb)
Unit #1	3.852	3.184	7.784	7.360
Unit #2	3.860	3.140	7.768	7.406
Unit #3	3.852	3.172	7.788	7.294
Average	3.855	3.165	7.780	7.353

Compression Specimens

Date Tested: 9/6/2012

	Avg. Width (in.)	Avg. Thickness (in.)	Avg. Length (in.)	Variation in T_v Across Thickness-Reduced Specimen	After Capping Thickness (in.)	Average Cap Thickness (in.)	Aspect Ratio R_a	Aspect Ratio Factor F_a	Total Load P_{max} (lb)	Net Area A_n (in ²)	Net Area Compressive Strength (psi)
Unit #1	3.852	3.184	7.784	Not Cut	3.252	0.034	0.827	1.159	203720	29.98	7870
Unit #2	3.860	3.140	7.768	Not Cut	3.204	0.032	0.813	1.151	247700	29.98	9510
Unit #3	3.852	3.172	7.788	Not Cut	3.240	0.034	0.823	1.157	209050	30.00	8060
Average	3.855	3.165	7.780	---	3.232	0.033	0.821	1.156	220160	29.99	8480

Absorption Specimens

	Received Weight W_R (lb)	Immersed Weight W_I (lb)	SSD Weight W_S (lb)	Oven-Dry Weight W_D (lb)	Absorption (%)	Density (pcf)
Unit #4	7.274	4.082	7.532	7.195	4.7	130.1
Unit #5	7.380	4.138	7.598	7.271	4.5	131.1
Unit #6	7.442	4.224	7.754	7.392	4.9	130.7
Average	7.365	4.148	7.628	7.286	4.7	130.6

Signature
Laboratory Official

FIG. X2.1 Sample Test Report Form

Anexo 3. NORMA ICONTEC 2017

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA

NTC 2017

2018-05-23

**ADOQUINES DE CONCRETO PARA
PAVIMENTOS**

E: CONCRETE PAVING BLOCKS**CORRESPONDENCIA:**

DESCRIPTORES: unidad de concreto; adoquín; pavimento.

I.C.S.: 91.100.30

© ICONTEC 2019

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o utilizada en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopiado y microfilmación, sin permiso por escrito del editor.

Editada por ICONTEC, Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888

Tercera actualización
Prohibida su reproducción | Editada 2018-10-24

ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma establece los requisitos para adoquines de concreto y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines de concreto para: tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática (incluyendo patios de puertos y de terminales de carga, aeropuertos, terminales de transporte, estaciones de servicio, bodegas, entre otros), y cargas estáticas distribuidas (de almacenamiento a granel).

NOTA 1 Cuando se deseen características particulares en los adoquines, diferentes a las especificadas en esta norma, en lo referente a textura, acabado, color, menor grado de eflorescencia, mayor densidad, menor absorción, mayor resistencia a la flexotracción, entre otros, éstas se especifican por el comprador de manera separada, quien también consulta a los proveedores sobre la disponibilidad de adoquines de concreto con las características deseadas, antes de iniciar los diseños con dichos adoquines. De igual manera se procede cuando se requieran pavimentos de adoquines para cargas puntuales (estáticas o dinámicas) tráfico de vehículos con llantas metálicas, orugas, llantas con cadenas o taches, u otros tipos de tráfico altamente abrasivo, que necesitan adoquines de concreto con características de calidad más altas que las establecidas en esta norma.

1.2 Esta norma no cubre las especificaciones para el diseño ni para la construcción de los pavimentos de adoquines de concreto.

1.3 Las notas y referencias explicativas, incluidas en el texto de esta norma, son de carácter informativo. Sólo las referencias explicativas que aparecen en las tablas se deben considerar como requisitos de esta norma.

1.4 Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (véase la NTC-ISO 80000-1).

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier corrección).

NTC 121, Especificación de desempeño para cemento hidráulico.

NTC 174, Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017 (Tercera actualización)

NTC 1299, Concretos. Aditivos químicos para concreto.

NTC 1362, Cemento hidráulico blanco.

NTC 3459, Concretos. Agua para la elaboración de concreto.

NTC 3493, Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas para el concreto.

NTC 3502, Ingeniería civil y arquitectura. Aditivos incorporadores de aire para concreto.

NTC 3760, Ingeniería civil y arquitectura. Concreto coloreado integralmente. Especificaciones para pigmentos.

NTC 4018, Ingeniería civil y arquitectura. Escoria de alto horno, granulada y molida para uso en concretos y morteros.

NTC 4024, Prefabricados de concreto. Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados.

NTC 4924, Prefabricados de concreto. Agregados livianos para unidades de mampostería de concreto.

NTC 5147, Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho.

NTC 6008, Terminología y clasificación para adoquines y losetas de concreto.

NTC-ISO 80000-1, Cantidades y unidades. Parte 1: Generalidades.

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se aplican los términos y definiciones de la NTC 6008 y los siguientes:

3.1 adoquín no biselado, prismático. Es el adoquín sin bisel (perfil inclinado) ni otra modificación en las aristas de la cara de desgaste (véase la Figura 1a).

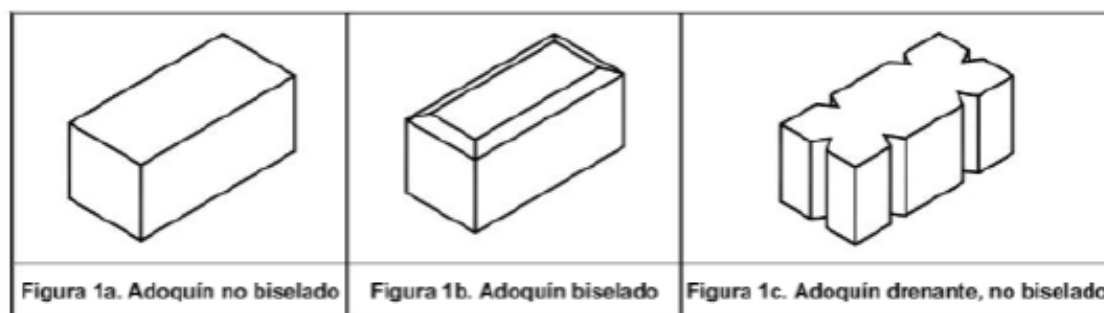


Figura 1. Denominación de algunos adoquines según su geometría para piezas no modificadas en obra

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017 (Tercera actualización)

4. REQUISITOS FÍSICOS

Véase el Anexo A (Normativo) que determina los símbolos y unidades de los términos usados en esta norma.

4.1 GEOMÉTRICOS
4.1.1 Dimensiones
4.1.1.1 Longitud

La longitud nominal (l_n) de los adoquines debe ser mayor o igual a 100 mm y menor o igual a 250 mm.

4.1.1.2 Ancho

El ancho nominal (a_n), de los adoquines debe ser mayor o igual a 100 mm.

NOTA 2 El ancho nominal (a_n) de un adoquín es igual a su ancho estándar (a_e) más el ancho de una junta estándar. Aunque en el numeral 4.1.1.2 se especifica un ancho nominal mínimo de 100 mm, éste sólo se da en unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines.

4.1.1.3 Espesor

El espesor estándar (e_e) de los adoquines debe ser mayor o igual a 40 mm para uso peatonal y mayor o igual a 60 mm para uso vehicular. Se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm así: 60 mm, 80 mm y, en algunos casos, 100 mm o más.

4.1.1.4 Junta estándar

El ancho de la junta estándar debe ser de 2 mm.

4.1.2 Relación entre las dimensiones

4.1.2.1 La relación entre la longitud nominal (l_n) y el ancho nominal (a_n) de los adoquines no debe ser mayor que 2,5. Este requisito no se aplica a las unidades complementarias o especiales.

4.1.2.2 La relación entre la longitud nominal (l_n) y el espesor estándar (e_e) de los adoquines no debe ser mayor de 5. Este requisito no se aplica a las unidades complementarias o especiales.

4.1.3 Tolerancias

4.1.3.1 Cada par de mediciones de la longitud real (l_r) y del ancho real (a_r) para cada espécimen de la muestra (tomadas sobre la cara de desgaste y sobre la cara de apoyo) no debe diferir entre sí en más de 1,5 mm.

4.1.3.2 La diferencia entre la longitud real (l_r) y longitud estándar (l_e) y entre el ancho real (a_r) y el ancho estándar (a_e) para cada espécimen de la muestra debe ser máximo de $\pm 1,5$ mm.

4.1.3.3 Cuando los adoquines tienen acabado plano o con junta falsa, cada una de las cuatro mediciones del espesor real (e_r), tomadas para cada espécimen de la muestra no deben diferir del espesor estándar (e_e) en más de 2 mm.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017 (Tercera actualización)

4.1.3.4 La diferencia (rango) entre la mayor y la menor de las cuatro mediciones del espesor real (er), tomadas para cada espécimen de la muestra no debe ser mayor de 2 mm.

4.1.3.5 En adoquines con acabado impreso o acabado arquitectónico (secundario), el productor debe indicar la variación adicional que se debe considerar para la tolerancia debida a dicho acabado tanto para la medición del espesor estándar (ee) como para la diferencia máxima entre cualquier par de mediciones.

4.1.4 Aristas

Para las aristas de la cara de desgaste de los adoquines no biselados, descritos en el numeral 3.1 de esta norma se deben aceptar desportilladuras con una dimensión tal que sus proyecciones sobre el plano horizontal (superficie de desgaste o de referencia) y sobre el plano vertical (paredes) no tengan más de 3 mm. Las desportilladuras mayores que las anteriores se deben considerar como defectos.

4.1.5 Bisel

4.1.5.1 Todos los adoquines que tengan bisel (curvo/recto) (véase la Figuras 1b) deben cumplir con los requisitos que se presentan a continuación:

4.1.5.1.1 El bisel debe tener igual forma o perfil (tamaño, inclinación o curvatura) y una geometría bien definida en todo su ancho y longitud.

4.1.5.1.2 Tanto la proyección horizontal (phb) como la proyección vertical (pvb) del perfil del bisel recto deben tener mínimo 3 mm y máximo 7 mm incluyendo la franja de escalonamiento (véase la Figura 2).

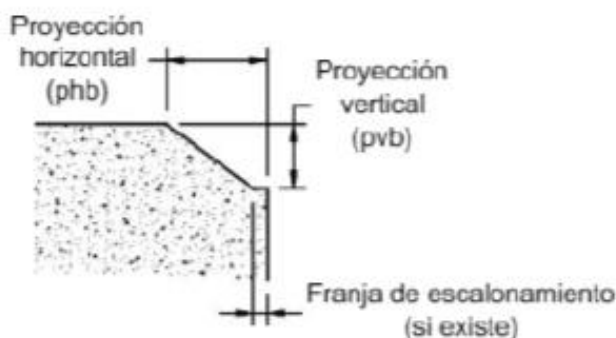


Figura 2. Bisel recto inclinado

4.1.5.4 La proyección horizontal del bisel (phb) curvo debe tener un mínimo de 4 mm y un máximo de 6 mm, incluyendo la franja de escalonamiento, (véase la Figura 3). La proyección vertical del bisel (pvb) curvo debe tener mínimo 3 mm y máximo 5 mm, (véase la Figura 3).

4.1.5.5 Para los biseles de la cara de desgaste de los adoquines, no se deben aceptar desportilladuras mayores a 3 mm.

NOTA 3 Para los adoquines especiales con superficie de desgaste con texturas no planas o geometrías variadas como acabados con forma de piedra, entre otros, el diseñador de la unidad definirá la forma del bisel o de modificar la arista.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017 (Tercera actualización)

6.3.4 Cálculos

6.3.4.1 El porcentaje de absorción de agua (Aa%) del total de la masa del espécimen se debe calcular para cada espécimen mediante la siguiente ecuación, con una aproximación de 0,1 %.

$$\text{Absorción (Aa \%, \%)} = \left[\frac{(Mh - Ms)}{Ms} \right] \times 100 \%$$

en donde

Mh = Masa saturada (húmeda) del espécimen, en g

Ms = Masa seca del espécimen, en g

6.4 RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MÓDULO DE ROTURA)**6.4.1 Especímenes de ensayo**

6.4.1.1 Los especímenes de la muestra se deben utilizar y deben ser unidades completas.

6.4.1.2 Una vez evaluadas la apariencia y las dimensiones, y encontrada la absorción de agua (Aa%) los especímenes se deben someter al ensayo de rotura por flexión con el fin de encontrar su resistencia a la flexotensión (módulo de rotura (M_r)). Si se puede continuar con el ensayo de rotura inmediatamente se obtenga la masa saturada (húmeda) (M_h), se puede obviar el proceso de saturación descrito en el numeral 6.4.1.3 y se puede proceder al ensayo descrito a partir del numeral 6.4.1.4.

6.4.1.3 Los especímenes deben permanecer saturados, por inmersión, durante las 24 h $\pm$ 2 h antes del ensayo, a una temperatura entre 15 °C y 27 °C. Luego se deben retirar del agua y se deben dejar escurrir durante 1 min colocándolos sobre una malla metálica con aberturas de mínimo, 9,5 mm. A continuación, se debe secar el agua superficial con un paño seco y se someten a ensayo.

6.4.1.4 Cada espécimen se debe llevar hasta la rotura por flexión, como una viga simplemente apoyada, cuyo eje debe coincidir con el eje mayor del rectángulo inscrito mediante la aplicación de una carga uniformemente distribuida a lo ancho del espécimen y sobre la proyección en la superficie de desgaste del eje menor del rectángulo inscrito.

6.4.2 Equipo

6.4.2.1 La máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a la flexotensión debe ser capaz de aplicar cargas de 20 kN.

6.4.2.2 Debe estar provista de un dispositivo para aplicación de carga por flexión dotado de un elemento superior para aplicación de carga y de dos apoyos. Estos tres elementos pueden ser cilindros de acero, de 12 mm $\pm$ 0,5 mm de diámetro o perfiles de acero de 5 mm $\pm$ 1 mm de ancho. Uno de los apoyos debe ser horizontal fijo y, en cuanto sea posible, el otro debe estar montado en una rótula de manera que no se induzca ninguna torsión por restricción en el movimiento del espécimen (puede ser un pivote que se incline sobre un eje alineado con el eje longitudinal del espécimen). El elemento superior del dispositivo debe tener una rótula que garantice que la carga se aplica axialmente sin inducir ningún esfuerzo de torsión en el espécimen. La longitud de los elementos de soporte y de aplicación de carga debe ser al menos igual al ancho del espécimen en el punto de contacto (véase la Figura 4).

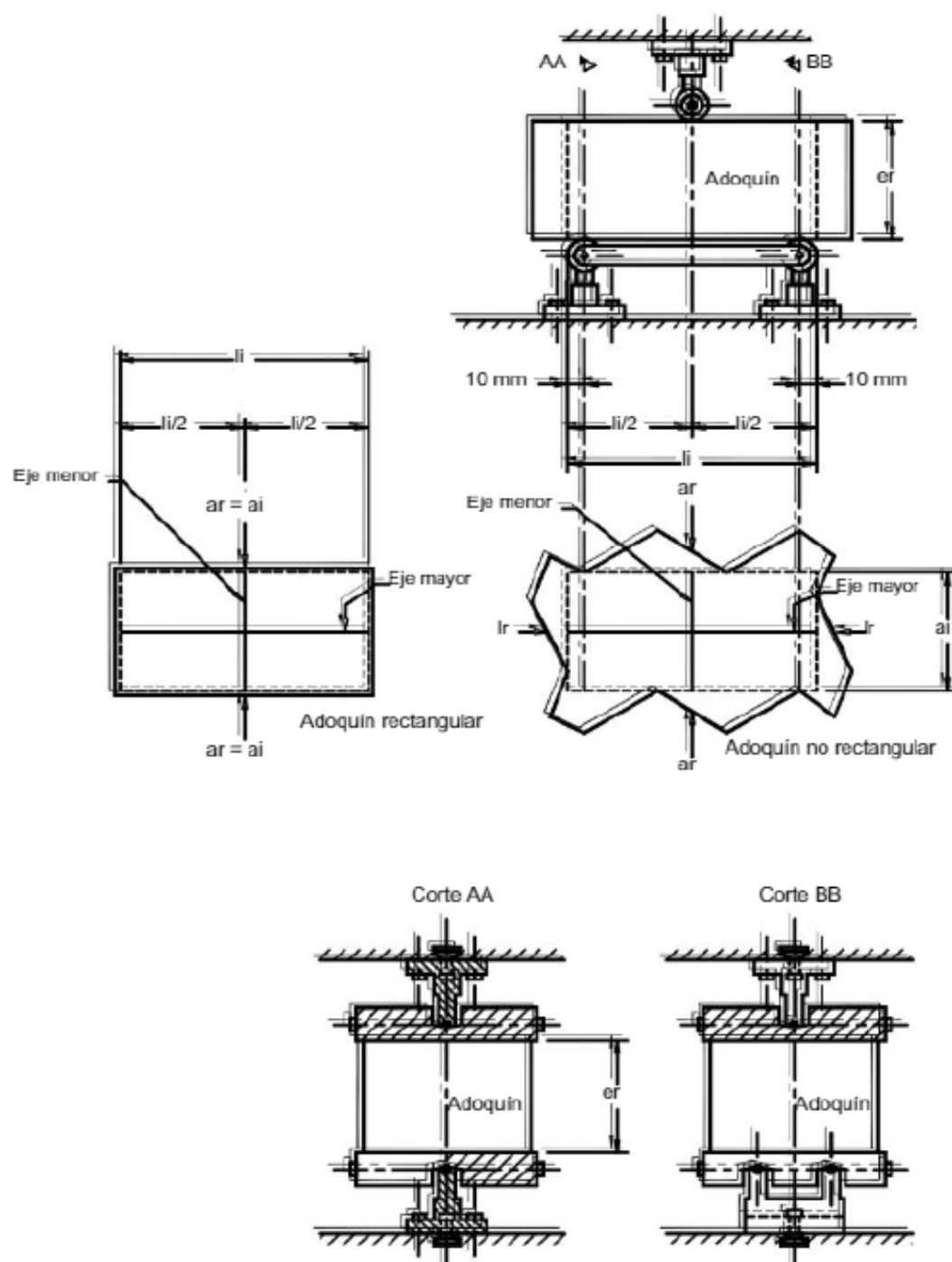


Figura 4. Esquema de la máquina de ensayo para la determinación de la resistencia a la flexotracción.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017 (Tercera actualización)

6.4.3 Procedimiento

6.4.3.1 Cada espécimen en estado saturado superficialmente seco se debe colocar en la máquina de ensayo con la superficie de apoyo hacia abajo, de tal manera que el elemento superior (de aplicación de carga) coincida con la proyección del eje menor del rectángulo inscrito sobre la cara de desgaste, y los elementos inferiores (de apoyo) coincidan con una línea paralela, 10 mm hacia adentro de los lados menores del rectángulo inscrito, sobre la cara de apoyo.

6.4.3.2 La carga se debe aplicar a una velocidad tal que produzca un aumento en el esfuerzo cercano a 0,5 MPa/s, o sea un tiempo de ejecución del ensayo de 10 s para 5 MPa.

6.4.4 Cálculo

6.4.4.1 Para cada adoquín se debe calcular el módulo de rotura (M_r), según la siguiente ecuación:

$$M_r = \frac{[3 \cdot C_{\max} \times (li - 20)]}{[(ar + ai) \cdot er^2]}$$

en donde

M_r	=	Módulo de rotura, N/mm ² , en MPa
$C_{\max}$	=	Carga máxima, de rotura, en N
li	=	Longitud del rectángulo inscrito, en mm
ar	=	Ancho real del espécimen, en mm
ai	=	Ancho del rectángulo inscrito, en mm
er	=	Espesor real (promedio) del espécimen, en mm.

6.4.4.2 El valor calculado para el módulo de rotura (M_r), en N/mm² se debe expresar en la unidad equivalente, MPa, con una exactitud de 0,1 MPa.

6.4.4.3 Se debe registrar el valor del módulo de rotura (M_r) de cada uno de los especímenes de la muestra y el módulo de rotura promedio (M_r) para la muestra.

6.5 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Este ensayo debe ser realizado conforme al procedimiento descrito en la NTC 5147.

6.6 INFORME

El informe de laboratorio debe contener al menos la siguiente información, en los temas pertinentes (véase el Anexo D (Informativo)).

6.6.1 Para cada espécimen

6.6.1.1 Identificación (proyecto, lote, muestra, espécimen).

6.6.1.2 Longitud del rectángulo inscrito (li), en mm.

6.6.1.3 Ancho del rectángulo inscrito (ai), en mm.

Anexo 4. Hojas de Campo

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NTE INEN 3040										
Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,75	202,72	202,15	202,06	202,21	202,28	201,74	202,13	202,62	202,02
Longitud 2 (mm)	202,69	202,44	202,09	202,07	202,15	202,20	201,73	202,17	202,79	202,16
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espeor 1 (mm)	78,45	78,32	78,74	79,17	78,69	80,47	78,32	78,11	80,50	78,74
Espeor 2 (mm)	78,39	78,06	78,95	79,24	79,32	79,96	78,15	77,96	80,23	79,30
Espeor 3 (mm)	78,82	77,64	78,59	79,74	79,56	79,74	78,26	78,34	80,58	78,84
Espeor 4 (mm)	78,29	77,79	79,66	78,83	79,40	77,75	78,22	80,29	79,36	
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	152310	173166	159174	170427	161401	146887	159763	177214	145465	139846
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,35	0,60	0,61	0,00	0,66	0,81	0,35	0,00	0,48	0,61
Concavidad (mm)	0,48	0,00	0,18	0,56	0,00	0,48	0,56	0,00	0,36	0,20
Concavidad (mm)	0,05	0,00	0,40	0,00	0,50	0,00	0,30	0,48	0,25	0,61
Concavidad (mm)	0,48	0,00	0,46	0,10	0,51	0,00	0,58	1,07	0,48	1,30

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NTE INEN 3040										
Probeta N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,54	202,69	202,93	202,31	201,63	202,20	202,82	202,01	203,39	202,68
Longitud 2 (mm)	202,41	202,73	202,89	202,27	201,51	202,16	202,72	202,05	203,42	202,70
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espeor 1 (mm)	77,95	78,02	77,78	77,68	78,34	77,75	79,06	80,58	80,14	78,38
Espeor 2 (mm)	78,09	77,96	77,81	77,46	78,65	77,73	78,77	80,61	80,07	78,22
Espeor 3 (mm)	77,89	77,59	78,15	78,13	78,29	77,68	78,66	80,23	79,59	78,02
Espeor 4 (mm)	77,80	77,58	77,89	77,69	78,32	77,36	78,72	80,50	79,63	78,30
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	154820	184927	162656	138204	149536	180635	142468	149428	146657	149631
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,36	0,36	0,28	0,76	0,00	0,48	0,13	0,20	0,20	0,23
Concavidad (mm)	0,25	0,13	0,20	0,20	0,58	0,00	0,13	0,31	0,20	0,20
Concavidad (mm)	0,31	0,25	0,25	1,17	0,00	0,23	0,36	0,31	0,25	0,25
Concavidad (mm)	0,43	0,28	0,43	1,32	0,43	0,61	0,13	0,36	0,00	0,23

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN										
NTE INEN 3040										
Probeta N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,34	202,55	202,53	198,55	202,51	202,67	202,70	202,24	201,86	202,65
Longitud 2 (mm)	202,40	202,43	202,61	198,70	202,56	202,68	202,71	202,18	201,90	202,70
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espesor 1 (mm)	79,92	79,01	78,61	79,12	77,98	77,90	78,77	80,03	78,48	80,27
Espesor 2 (mm)	79,85	78,84	78,00	79,55	77,72	77,98	78,70	80,15	78,40	80,29
Espesor 3 (mm)	79,54	78,81	77,86	79,21	77,65	77,92	78,35	80,06	78,06	80,19
Espesor 4 (mm)	79,61	78,62	78,46	79,12	77,69	78,18	78,22	80,11	78,16	80,21
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	133635	141939	133110	172052	161010	152432	140577	145036	151716	160179
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,48	0,43	0,89	0,23	0,23	0,25	0,31	0,10	0,48	0,23
Concavidad (mm)	0,20	0,33	0,94	0,23	0,23	0,48	0,25	0,23	0,48	0,48
Concavidad (mm)	0,48	0,43	0,89	0,31	0,23	0,25	0,48	0,23	0,48	0,48
Concavidad (mm)	0,35	0,58	0,31	0,23	0,36	0,25	0,48	0,23	0,00	0,10

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN										
ICONTEC 2017										
Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3690	3590	3690	3640	3720	3690	3550	3690	3690	3670
Ancho 1 (mm)	102,65	101,89	102,75	102,91	103,53	102,69	102,38	102,83	102,13	101,94
Ancho 2 (mm)	102,77	102,37	102,48	102,72	103,39	102,60	102,28	102,39	101,91	102,12
Longitud 1 (mm)	204,29	202,14	202,79	202,29	201,00	201,30	202,21	203,12	202,08	202,80
Longitud 2 (mm)	204,76	202,23	202,83	202,21	201,07	200,99	202,24	203,20	202,12	202,76
ESPESOR										
Espesor 1 (mm)	78,22	78,64	79,17	78,32	79,40	79,42	77,75	78,03	79,58	78,94
Espesor 2 (mm)	78,65	78,49	79,23	78,57	79,86	79,23	77,32	77,82	78,97	78,99
Espesor 3 (mm)	78,68	79,30	79,65	78,79	79,44	79,00	78,10	77,99	79,61	78,43
Espesor 4 (mm)	78,38	79,20	79,72	78,90	79,40	79,24	78,00	78,10	78,83	78,25
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)										
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,43	0,00	0,61	0,64	0,89	0,36	0,31	0,20	0,76	0,76
Concavidad (mm)	0,00	0,36	0,89	0,13	0,76	0,76	0,76	0,43	0,36	0,23
Concavidad (mm)	0,38	0,76	0,61	0,81	0,36	0,56	0,36	0,20	0,56	0,89
Concavidad (mm)	0,66	0,89	0,23	0,89	1,27	0,33	1,02	0,26	0,89	0,76

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN ICONTEC 2017										
Probeta N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3680	3700	3610	3660	3680	3530	3590	3530	3570	3560
Ancho 1 (mm)	102,64	102,52	102,65	102,92	101,82	101,09	101,47	102,32	101,95	101,27
Ancho 2 (mm)	103,26	101,84	102,74	102,39	101,96	100,77	101,99	102,53	102,21	101,45
Longitud 1 (mm)	203,12	202,36	201,29	203,44	202,71	202,60	201,68	200,50	202,14	201,13
Longitud 2 (mm)	203,09	202,30	201,00	203,44	202,82	202,72	201,72	200,39	202,21	201,18
ESPESOR										
Espesor 1 (mm)	78,31	80,06	79,22	78,69	78,86	78,22	79,29	78,57	78,32	7790
Espesor 2 (mm)	78,44	79,80	79,15	79,17	79,06	78,81	79,76	78,66	78,60	77,73
Espesor 3 (mm)	78,20	79,73	79,19	79,52	78,85	78,89	79,23	78,25	78,42	78,27
Espesor 4 (mm)	78,33	79,26	78,88	78,22	78,90	79,36	79,45	78,32	78,68	78,01
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	24571	20560	20789	20850	21780	21432	22569	21452	21980	20998
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,58	0,23	0,05	1,02	0,76	0,81	0,31	0,00	0,46	0,81
Concavidad (mm)	0,66	0,76	0,31	0,89	0,46	0,89	0,64	0,43	0,41	0,61
Concavidad (mm)	0,30	0,48	0,43	1,12	0,76	0,81	0,20	0,66	0,41	0,81
Concavidad (mm)	0,58	0,30	0,31	1,02	0,89	0,48	0,31	0,13	0,23	0,43

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN ICONTEC 2017										
Probeta N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3590	3550	3570	3570	3570	3580	3540	3540	3620	3590
Ancho 1 (mm)	101,26	101,04	100,64	101,66	101,00	100,87	101,20	101,28	101,46	100,90
Ancho 2 (mm)	101,13	101,56	100,98	101,74	101,39	100,77	101,00	101,10	100,89	100,97
Longitud 1 (mm)	201,72	202,00	201,34	200,39	201,63	200,76	200,97	201,46	201,35	201,37
Longitud 2 (mm)	201,80	202,07	201,21	200,77	201,24	200,80	200,89	201,40	201,39	201,46
ESPESOR										
Espesor 1 (mm)	78,33	78,46	78,34	78,73	77,72	78,45	79,08	78,80	80,43	78,42
Espesor 2 (mm)	77,96	78,40	78,52	79,17	77,79	78,57	78,70	79,21	80,26	78,79
Espesor 3 (mm)	78,34	78,74	78,39	79,23	77,50	78,63	79,16	79,27	80,42	78,49
Espesor 4 (mm)	77,89	78,31	78,07	78,62	77,57	78,39	79,00	78,86	80,10	78,74
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	22056	21899	21105	20560	21876	23061	21450	22015	21856	20842
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,43	0,23	0,25	0,13	0,10	0,36	0,48	0,76	0,23	0,36
Concavidad (mm)	0,23	0,71	0,46	0,71	0,23	0,23	0,36	0,58	0,10	0,23
Concavidad (mm)	0,61	0,41	0,66	0,71	0,10	0,36	0,76	0,76	0,23	0,76
Concavidad (mm)	0,43	0,23	0,46	0,25	0,23	0,48	0,10	0,23	0,10	0,36

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN ASTM C140

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3580	3740	3610	3650	3690	3690	3710	3610	3640	3680
Ancho 1 (mm)	102,66	103,16	102,32	103,13	102,47	102,47	102,33	102,31	102,61	102,95
Ancho 2 (mm)	102,79	103,00	102,66	103,32	102,81	102,81	102,81	102,31	102,99	103,22
Longitud 1 (mm)	201,69	204,17	202,25	202,24	202,44	202,44	202,92	203,51	202,68	202,40
Longitud 2 (mm)	201,81	203,81	201,79	202,87	202,44	202,44	203,00	203,06	202,74	202,72
ESPESOR										
Espeor 1 (mm)	77,49	78,88	80,00	77,54	78,81	79,58	80,84	79,02	79,70	79,39
Espeor 2 (mm)	77,69	78,64	79,35	77,80	79,02	79,31	80,66	78,72	79,50	78,44
Espeor 3 (mm)	77,43	78,66	79,48	77,37	78,24	79,22	80,58	78,80	78,62	78,26
Espeor 4 (mm)	77,40	78,36	79,96	77,38	79,24	79,17	80,46	78,36	78,72	79,03
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (kN)	1172,60	1208,20	1300,50	1159,40	1215,30	1173,70	1123,60	1235,80	1178,20	1327,20
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,71	0,40	0,35	0,64	0,30	0,89	0,36	0,48	0,48	0,48
Concavidad (mm)	0,88	0,30	0,05	0,48	0,25	1,14	0,56	0,36	0,61	1,07
Concavidad (mm)	0,56	0,30	0,00	0,25	0,25	0,66	0,89	0,56	0,89	0,36
Concavidad (mm)	0,61	0,25	0,00	0,25	0,56	0,36	0,56	0,83	1,50	1,30

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN ASTM C140

Probeta N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3500	3630	3680	3640	3620	3620	3670	3490	3830	3780
Ancho 1 (mm)	102,23	103,33	102,57	102,82	102,56	102,42	102,80	101,37	105,66	103,61
Ancho 2 (mm)	102,16	103,14	102,41	103,06	102,71	102,42	102,00	101,20	105,93	103,71
Longitud 1 (mm)	202,84	202,82	202,17	202,18	203,63	202,65	203,37	202,27	204,80	205,26
Longitud 2 (mm)	202,84	202,87	202,10	202,60	203,61	202,55	203,31	202,31	204,71	205,20
ESPESOR										
Espeor 1 (mm)	77,60	79,13	78,36	79,26	80,07	77,90	78,52	79,66	79,55	79,56
Espeor 2 (mm)	77,81	79,19	78,29	79,50	79,80	78,10	78,20	78,87	79,36	79,54
Espeor 3 (mm)	76,95	78,81	78,73	79,45	79,68	77,50	78,51	78,63	79,27	79,66
Espeor 4 (mm)	76,96	79,04	78,29	79,60	79,59	77,77	78,31	79,51	79,38	79,00
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (kN)	1193,20	1298,10	1285,70	1172,60	1097,20	1151,30	1262,10	1137,70	1257,40	1228,50
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,25	1,38	0,89	0,00	0,81	1,02	0,00	1,12	0,20	1,21
Concavidad (mm)	0,66	0,33	0,53	0,89	0,23	1,10	0,13	0,33	0,81	0,00
Concavidad (mm)	1,14	0,25	0,39	0,89	0,76	1,02	0,30	1,02	0,56	0,58
Concavidad (mm)	0,81	0,25	0,76	0,25	0,89	0,43	0,56	1,09	0,15	0,76

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN ASTM C140

Probeta N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3780	3810	3670	3650	3750	3600	3620	3530	3640	3650
Ancho 1 (mm)	103,65	105,89	101,07	100,96	104,83	101,63	102,30	101,56	103,50	102,10
Ancho 2 (mm)	104,00	105,89	101,25	101,23	104,35	102,50	102,91	101,01	103,63	102,40
Longitud 1 (mm)	203,36	205,83	202,09	202,29	203,76	202,80	202,67	202,43	202,36	200,17
Longitud 2 (mm)	203,30	205,79	202,00	202,36	203,70	202,73	202,76	202,53	202,53	200,25
ESPESOR										
Espesor 1 (mm)	78,70	79,00	80,00	79,68	78,41	78,79	78,78	77,92	78,27	78,05
Espesor 2 (mm)	78,68	79,20	80,08	80,66	78,58	79,20	78,03	77,13	78,57	77,73
Espesor 3 (mm)	78,79	78,85	79,56	80,51	78,48	78,76	78,40	77,27	78,31	77,62
Espesor 4 (mm)	78,57	78,84	79,49	79,70	78,47	79,04	77,97	78,07	77,93	77,37
CARGA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (kN)	1275,30	1300,60	1181,00	1220,50	1197,70	1182,00	1155,60	1248,50	1258,20	1195,60
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,36	1,47	0,81	0,13	0,25	0,48	0,89	0,63	0,71	0,43
Concavidad (mm)	0,05	0,20	1,19	1,32	0,30	0,31	1,04	0,64	0,89	0,89
Concavidad (mm)	0,15	1,12	0,89	1,32	0,33	0,48	0,61	1,04	0,48	0,43
Concavidad (mm)	0,43	1,47	1,19	1,47	0,30	0,63	0,48	0,48	0,48	0,36

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN NTE INEN 3040										
Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3620	3640	3710	3760	3670	3650	3630	3660	3690	3700
Ancho 1 (mm)	102,56	102,98	103,06	102,27	102,86	103,00	102,93	102,74	103,35	102,77
Ancho 2 (mm)	102,16	102,93	103,32	103,42	102,82	103,22	102,45	102,78	103,06	103,10
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,75	202,72	202,15	202,06	202,21	202,28	201,74	202,13	202,62	202,02
Longitud 2 (mm)	202,69	202,49	202,09	202,07	202,15	202,20	201,73	202,17	202,79	202,10
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espesor 1 (mm)	78,45	78,32	78,74	79,17	78,69	80,47	78,32	78,11	80,50	78,74
Espesor 2 (mm)	78,39	78,06	78,95	79,24	79,32	79,96	78,15	77,96	80,33	79,30
Espesor 3 (mm)	78,82	77,64	78,59	79,74	79,56	79,74	78,26	78,34	80,58	78,84
Espesor 4 (mm)	78,29	77,79	78,79	79,66	78,83	79,40	77,75	78,22	80,29	79,36
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	152710	173166	159174	170427	161401	176387	159763	177214	145465	139846
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,35	0,60	0,61	0,00	0,66	0,81	0,35	0,00	0,48	0,61
Concavidad (mm)	0,48	0,00	0,13	0,56	0,00	0,48	0,56	0,00	0,36	0,20
Concavidad (mm)	0,05	0,00	0,40	0,00	0,50	0,00	0,30	0,48	0,25	0,61
Concavidad (mm)	0,48	0,00	0,46	0,10	0,51	0,00	0,58	1,07	0,48	1,30

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN NTE INEN 3040										
Probeta N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3610	3650	3650	3520	3620	3610	3640	3700	3760	3610
Ancho 1 (mm)	102,88	103,00	102,64	102,84	102,24	102,61	102,25	102,61	103,81	102,06
Ancho 2 (mm)	102,72	103,05	102,12	102,29	103,11	102,38	102,32	102,58	103,42	102,46
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,54	202,69	202,93	202,31	201,63	202,20	202,82	202,01	203,39	202,68
Longitud 2 (mm)	202,41	202,73	202,89	202,27	201,51	202,16	202,72	202,05	203,42	202,70
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espesor 1 (mm)	77,95	78,02	77,78	77,68	78,34	77,75	79,06	80,58	80,14	78,38
Espesor 2 (mm)	78,09	77,96	77,81	77,46	78,65	77,73	78,77	80,68	80,07	78,22
Espesor 3 (mm)	77,89	77,59	78,15	78,13	78,29	77,68	78,66	80,27	79,59	78,02
Espesor 4 (mm)	77,80	77,58	77,89	77,69	78,32	77,36	78,72	80,50	79,63	78,30
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	154820	184927	162676	138204	149536	180635	142468	149428	146657	149631
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,36	0,36	0,28	0,76	0,00	0,48	0,13	0,20	0,20	0,23
Concavidad (mm)	0,25	0,13	0,20	0,20	0,58	0,00	0,13	0,31	0,20	0,20
Concavidad (mm)	0,31	0,25	0,25	1,17	0,00	0,23	0,36	0,31	0,25	0,25
Concavidad (mm)	0,43	0,28	0,43	1,32	0,43	0,61	0,13	0,36	0,00	0,23

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN NTE INEN 3040										
Probeta N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Descripción	Adoquin hexagonal biselado									
Fecha de Fabricación (día/mes/año)	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días	+28días
Fecha de Preparación (día/mes/año)	22/11/2024	22/11/2025	22/11/2026	22/11/2027	22/11/2028	22/11/2029	22/11/2030	22/11/2031	22/11/2032	22/11/2033
Masa (gr)	3690	3630	3620	3650	3520	3600	3660	3600	3520	3640
Ancho 1 (mm)	102,56	103,00	101,54	103,73	100,90	102,99	102,46	101,12	101,44	102,44
Ancho 2 (mm)	102,10	103,14	102,32	103,62	100,79	102,03	102,59	101,62	101,50	102,16
LONGITUD DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Longitud 1 (mm)	202,34	202,55	202,53	198,55	202,151	202,67	202,70	202,24	201,86	202,65
Longitud 2 (mm)	202,40	202,43	202,61	198,70	202,56	202,68	202,71	202,18	201,90	202,70
ESPESOR DE SECCIÓN DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Espesor 1 (mm)	79,97	79,01	78,61	79,42	77,98	77,90	78,77	80,03	78,48	80,27
Espesor 2 (mm)	79,85	78,84	78,00	79,55	77,72	77,98	78,70	80,15	78,40	80,29
Espesor 3 (mm)	79,54	78,81	77,86	79,21	77,65	77,92	78,35	80,06	78,06	80,49
Espesor 4 (mm)	79,61	78,62	78,46	79,12	77,69	78,18	78,22	80,11	78,16	80,21
CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA										
Fecha de Ensayo (día/mes/año)	23/11/2024	23/11/2025	23/11/2026	23/11/2027	23/11/2028	23/11/2029	23/11/2030	23/11/2031	23/11/2032	23/11/2033
Carga (N)	133635	141939	133110	172052	161010	152432	140577	145036	151716	160179
PLANEIDAD Y CURVATURA										
Concavidad (mm)	0,48	0,43	0,89	0,23	0,23	0,25	0,31	0,10	0,48	0,23
Concavidad (mm)	0,20	0,33	0,94	0,23	0,23	0,48	0,25	0,23	0,48	0,48
Concavidad (mm)	0,48	0,43	0,89	0,31	0,23	0,25	0,48	0,23	0,48	0,48
Concavidad (mm)	0,35	0,58	0,31	0,23	0,36	0,25	0,48	0,23	0,00	0,10