



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

métodos &
materiales

Publicación Anual • Volumen 9 • Diciembre 2019 • ISSN electrónico: 2215-4558

Desgaste superficial de adoquines: implementación y ajustes en la normativa ecuatoriana.

Concrete paving blocks abrasion resistance: ecuadorian standard application and modification

Guillermo R. Realpe R. M.Sc. Ing.

Profesor Principal Escuela de Ingeniería Civil
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
grealper@puce.edu.ec

Fecha de recepción: 7 agosto 2019 / Fecha de aprobación: 1 marzo 2020

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

PERIÓDICA

 revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales

 lanamme.ucr.ac.cr

 metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

Desgaste superficial de adoquines: implementación y ajustes en la normativa ecuatoriana.

Concrete paving blocks abrasion resistance: ecuadorian standard application and modification

Guillermo R. Realpe R. M.Sc. Ing.

Profesor Principal Escuela de Ingeniería Civil
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
grealper@puce.edu.ec

Fecha de recepción: 7 agosto 2019 / Fecha de aprobación: 1 marzo 2020

RESUMEN

El control de calidad de los adoquines en el Ecuador ha permanecido invariable desde 1987, utilizando como criterio de calidad y durabilidad el valor de la resistencia a la compresión del bloque bajo el concepto de indicador global. Supone este indicador que al cumplir la especificación de resistencia, cubrirá exigencias tal como el desgaste superficial, por tanto la expectativas de la vida útil de la capa de rodadura. Sin embargo, en los últimos años se ha verificado de manera general un deterioro temprano de las superficies de los adoquines a pesar del cumplimiento de los requerimientos de compresión establecidos en la norma ecuatoriana. En estas condiciones la Universidad, la industria de la construcción y el Instituto de Normalización Ecuatoriana decidieron dar origen a una nueva norma de control, en la que se desglosa el indicador en varios parámetros físicos y mecánicos, empleando como documento base la norma europea EN 1338. Entre los parámetros, la cuantificación y valoración del desgaste superficial se constituyó en el de mayor interés, tanto por el desconocimiento de la capacidad de desgaste superficial de la mayor parte de la producción en el país, así como el método de ensayo a utilizarse. El presente artículo, sobre la base de un tradicional análisis estadístico de 516 ensayos de desgaste superficial por medio del método de la banda ancha (EN 1338) realizados en el laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador entre los años 2010 a 2015, verificó el comportamiento de distribución normal simétrico en los dos lotes en el que fueron clasificados los datos; uno correspondientes a fábricas que mantienen procesos de control de calidad y otro a fábricas sin control. Además, cuantificó el valor de la huella característico, según el método de ensayo de desgaste en el período de análisis. Por medio de la información obtenida se ha justificado la necesidad del control del desgaste superficial, así como la recomendación de establecer una especificación para el Ecuador, diferente a la establecida en la norma europea.

PALABRAS CLAVES: adoquín, hormigón, desgaste superficial, método de la banda ancha.

ABSTRACT

The quality control of concrete paving blocks in Ecuador has remained unchanged since 1987, using as a criterion of quality and durability the value of the compressive strength of the block under the concept of global indicator. This indicator assumes that when the axial load carrying capacity specification is met, it will cover requirements such as abrasion resistance, therefore the expectations of the paving surface design life. However, in recent years an early deterioration of the paving brick surfaces has been verified in general despite compliance with the axial load carrying capacity requirements established in the Ecuadorian standard. Under these conditions, the University, the construction industry and the Ecuadorian Standardization Institute (INEN) decided to adapt a new control standard in which the indicator of acceptance is broken down into several physical and mechanical parameters, using the European standard EN 1338 as a reference document. Among the parameters, the quantification and assessment of abrasion resistance became of greater interest, both because of the lack of abrasion resistance of most of the production in the country, as well as the test method to be used. The present article, based on a traditional statistical analysis of 516 abrasion resistance tests by means of the wide wheel abrasion test method (EN 1338) performed at the Construction Materials laboratory of the Pontifical Catholic University of Ecuador (PUCE) between 2010 and 2015, verified the symmetrical normal distribution behavior of the two lots in which the data were classified; one corresponding to plants that maintain quality control processes and another to plants without control in addition, quantified the characteristic tyre track value according to the abrasion test in the analysis period. Through the information obtained, the need for abrasion control has been justified, as well as the recommendation to establish a specification for Ecuador, different from that established in the European standard

KEYWORDS: paving blocks, concrete, abrasion, wide wheel abrasion test

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de permanente crecimiento del uso del paquete estructural vial, que incluye como capa de rodadura, al bloque prismático prefabricado de hormigón de cemento hidráulico (adoquín), señalada en artículos técnicos, (Bullen, 1992), (Jamshidi, y otros, 2019), no ha sido diferente para la realidad ecuatoriana. A partir de finales de la década de los setentas e inicios de los ochenta, el pavimento con adoquines ha cubierto en el área urbana, un rango amplio de necesidades, tales como; el peatonal, estacionamientos, calles residenciales, caminos secundarios y calles principales (INEN, NTE 1488. Adoquines. Requisitos, 1987). Ejemplo de este proceso son vías principales de Quito y Guayaquil construidas en parte, con este tipo de pavimento (Fig. .1-Fig.2), así como también, en pavimentos de alta exigencia como son los puertos marítimos (Fig.3).



Figura 1. Avenida Amazonas Quito-Ecuador



Figura 2. Avenida 9 de Octubre. Guayaquil-Ecuador



Figura 3. Puerto Trinitaria Guayaquil-Ecuador

El aumento en el requerimiento de este tipo de pavimento se encuentra en discordancia con procesos de evaluación del comportamiento de la estructura en el tiempo. En investigaciones realizadas en Universidades del País, se ha señalado únicamente, como patología común en los últimos años, el desgaste superficial prematuro de la capa de rodadura, (Chaluiza, 2012), fenómeno no reportado en los inicios del uso de este pavimento. La causa de este deterioro que afecta a la vida útil del elemento, sin que exista la justificación comprobada, ha sido atribuida a la calidad de los adoquines.

En estos treinta años, el marco regulatorio de control del adoquín, establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana, permaneció invariable. En estas normas, que tuvieron como base de estudio especificaciones norteamericanas y recomendaciones mexicanas, (INEN, NTE 1485 Adoquines. Determinación de la Resistencia a la Compresión, 1987), predomina el criterio de un indicador global o único de calidad a través del parámetro de resistencia a la compresión (Bullen, 1992). La denominación de global, en concepto, supone que cubre requerimientos no solo de resistencia mecánica sino también de resistencia al desgaste superficial; esto es, que mientras mayor sea la resistencia a la compresión, mayor será la capacidad de resistencia al desmembramiento de sus componentes superficiales, ante la acción de fuerzas como el frenado, arranque, giros, aceleración, desaceleración, (Jamshidi, y otros, 2019), concepto que aparentemente no cubre a la amplia definición de durabilidad (Bullen, 1992). La relación entre el esfuerzo de compresión del bloque total, con el desgaste superficial es puesta en duda en el caso de los adoquines, (Ghafoori & Sukandar, 1995) y sustentada en fenómenos asociados a inapropiados procesos de curado, carbonatación, (Humpola, Some Aspect of CBP Quality, 1996), (Humpola, Bullen, & Knapton, Quick Quality Control of Concrete Block Pavers in Australia, 1996).

Sin embargo, al elaborar la norma ecuatoriana y fijar los requerimientos mínimos del indicador global, la relación de resistencia mecánica y resistencia al desgaste superficial se supondría no fue considerada. Se fijaron especificaciones de resistencias a la compresión inferiores a las recomendadas por las normas norteamericanas y europeas, bajo el criterio de que al estar el Ecuador en una zona geográfica donde no se experimenta fenómenos de congelamiento como a las que sí están sometidos los países que disponen de las cuatro estaciones, no se requería de tan alta resistencia mecánica. Este último criterio, de forma coincidente en Australia, fue en su momento reportada por Shackel & Xiaoping, (Shackel & Xiaoping, 1992).

A pesar de las consideraciones antes señaladas, no existe un estudio que reporte y demuestre desgaste prematuro en las primeras vías construidas con adoquín bajo la vigencia de la normativa, tampoco se reporta comportamientos sobresalientes. Lo que sí es evidente, son los acontecimientos ocurridos a partir de la década de los noventa, expuestos en varias investigaciones Universitarias del País (Chaluiza, 2012) (Ortega & Realpe, 1992) (Artega & Valdez, 2005), en relación con variables que intervienen en la fabricación de un adoquín tales como; la evolución del tipo de cemento fabricado en el país, iniciando con cemento tipo I bajo especificaciones ASTM C 150 (INEN, NTE 152 Cemento Portland. Requisitos, 2012), una etapa de transición con un cemento parcialmente compuesto denominado tipo IE, luego un cemento compuesto tipo IP bajo norma ASTM C 595 (INEN, NTE 490 Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011) y actualmente, cementos por desempeño bajo norma ASTM C 1157 (INEN, NTE 2380 Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos, 2011). La particularidad de estos últimos tres tipos de cemento es la inclusión de puzolanas de origen volcánico y sus respectivos cambios en los procesos de fraguado (Metha & Monteiro, 2014). En la propia fabricación del adoquín se observó así mismo, la tendencia a la disminución del tamaño máximo del árido, reducción de las áreas expuestas y decremento de los espesores. Un fenómeno bien aprovechado por los fabricantes es la optimización en los procesos de vibración de la mezcla del hormigón, logrando conseguir mayores resistencias a la compresión manteniendo la relación agua/cemento (Ortega & Realpe, 1992)

Estos acontecimientos en el marco del comprobado desgaste superficial prematuro reportado en años recientes, determinó que el Comité Técnico de Hormigones Áridos y Morteros del INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización (año 2017), emprendiera el proyecto de actualización de la normativa ecuatoriana para los adoquines. El relevante cambio en esta actualización corresponde a la discretización del criterio del

indicador global en varias propiedades físicas y mecánicas a través de distintos ensayos de laboratorio como; la resistencia a la tracción diametral en lugar de la compresión, la resistencia al desgaste superficial por el método banda ancha, la determinación de la capacidad de absorción, la determinación de la capacidad al resbalamiento. Procedimientos y especificaciones establecidos en la norma EN 1338 (European Standard EN 1338, 2006) la cual se constituyó en documento base de estudio y adopción/adaptación como norma ecuatoriana INEN.

En este contexto, el actual artículo presenta la justificación para la aceptación y/o propuesta de modificación de los requerimientos mínimos de la norma europea, en relación con desgaste superficial, para ser incluidos en la nueva norma ecuatoriana. El estudio se basa en el análisis de la información recopilada en ensayos de medida del desgaste por medio del método de la banda ancha, ejecutados en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador durante un lapso de 5 años antes de la aprobación de la nueva norma INEN. Resultados que presentarán la capacidad de resistencia al desgaste en gran parte de las fabricas en Ecuador (nunca antes medida y evaluada), bajo la norma EN 1338, en muestras que han sido fabricadas para cumplir la norma INEN 1485 y de esta manera cualificar el impacto que podría suponer para las fábricas el cumplimiento de la exigencia europea o la necesidad de imponer un estándar menos exigente.

La fijación de la especificación para el Ecuador, asume el criterio recomendado por la norma EN 1338 como paragón, y únicamente considera los resultados obtenidos gracias a la aplicación del método de ensayo en el laboratorio y no contempla relación alguna respecto a la vida útil del elemento, así como también supone que existe la estabilidad estructural garantizada por la mínima rotación y desplazamiento del bloque (Wuanguang, y otros, 2018), por tanto, no señala especificaciones o recomendaciones respecto de estas últimas variables que pueden causar deterioro prematuro en el adoquín.

2. ENSAYO DE DESGASTE MÉTODO DE LA BANDA ANCHA

La medida de la resistencia al desgaste superficial por medio del método de la banda ancha para adoquines fue desarrollado a partir de un método europeo de medida del desgaste en cerámicos (Dowson, 1996). El programa de investigación (1993 a 1995) que involucró a varios países de Europa, se generó con el propósito de ajustar la repetitividad y precisión del método y posterior implementación como norma europea.

La fiabilidad del ensayo fue probada nuevamente en un posterior estudio que planteaba como propósito el establecimiento de un método universal que sea útil para bloques de hormigón y cerámica bajo criterios señalados por el CEN, Comité técnico de normalización Europeo (Petit, 2003). Además, en la misma investigación se advierte de la simplicidad y bajos costos del método. Bajo estas consideraciones, la norma ecuatoriana adoptó el método de ensayo de la banda ancha como mecanismo para determinar la resistencia al desgaste superficial.

La medida del desgaste sobre la superficie expuesta a las cargas de sollicitación del adoquín es determinada por la longitud de cuerda o huella que se genera al desgastar la superficie de contacto por la acción en conjunto del paso en flujo constante de arena normalizada (corindón) y una rueda de acero de material y dimensiones normalizada (diámetro de la rueda 200 mm, ancho de la rueda 70 mm), que gira a una velocidad constante de 75 revoluciones por minuto durante un minuto (European Standard EN 1338, 2006). La disposición del equipo y un esquema de la medida de la huella pueden ser vistas en la fig. N° 4 y N° 5 respectivamente.



Figura 4. Equipo Método de la banda ancha. (Laboratorio De Resistencia de Materiales PUCE, 2017)

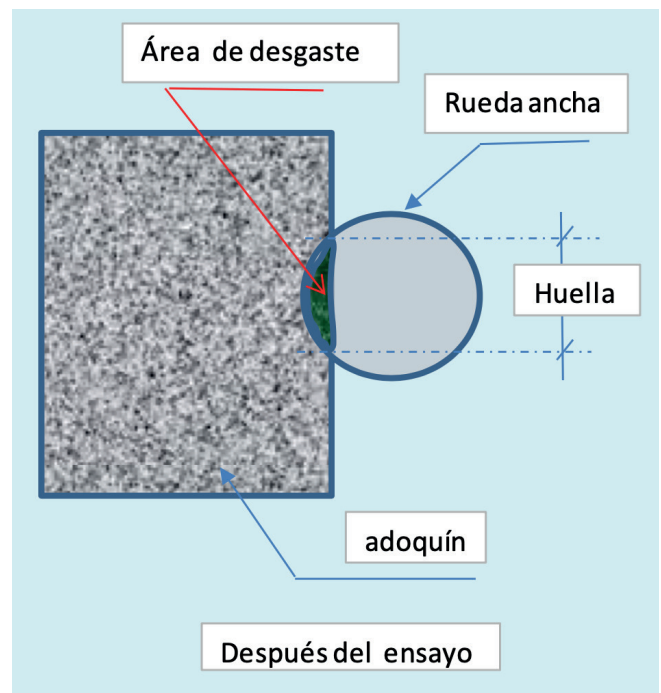


Figura 5. Esquema de la medida de la huella

La especificación europea fija como valor máximo de huella 23 mm y 20 mm en casos de mayor exigencia. El parámetro comparativo y de calibración del equipo es una huella de 20 mm para un espécimen de mármol normalizado.

3. PROGRAMA DE ENSAYOS

El laboratorio Universitario de Resistencia de Materiales de la PUCE en cumplimiento de un plan de investigación sobre la medida de desgaste de los adoquines adquirió en el año 2003 el equipo de desgaste de la banda ancha. Una vez calibrado, el proceso fue utilizado en investigaciones de varias universidades de Quito, (Artega & Valdez, 2005), (Caiza & Chipugsi, 2018), (Hidalgo & Poveda, 2013), así también, se presentó como oferta del servicio de control a la industria y proyectos de pavimentos con adoquines al país. Durante el período entre el 2009 al 2016 fueron ejecutados 516 ensayos de tracción diametral y desgaste por el método de la banda ancha, bajo la aplicación estricta de la norma EN 1338 en muestras provenientes de diferentes ciudades del Ecuador. Los especímenes fueron fabricados para el cumplimiento únicamente de la norma INEN 1485, es decir resistencias a la compresión características no menores de 30 MPa. En ningún caso el fabricante previó algún ajuste para el cumplimiento con la norma EN 1338 y por tanto, del desgaste superficial.

Los resultados de estos ensayos se presentan en las siguientes Tablas, agrupados según el año de ensayo. Los resultados para propósitos del presente estudio se han denominado como lote N° 1, Tabla N° 1, siendo característica del mismo,

la pertenencia al grupo de fábricas que no tienen implantado un proceso de control de calidad, con equipo de fabricación nacional y que son la mayoría en el Ecuador.

Tabla 1. Lote N° 1 Resultados 2010-2015, ensayo método de la banda ancha EN 1338

AÑO 2010									
Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)
1	37	11	28	21	31	31	35	41	29
2	26	12	30	22	31	32	26	42	27
3	33	13	27	23	37	33	24	43	27
4	33	14	28	24	36	34	26	44	28
5	32	15	39	25	35	35	23	45	27
6	36	16	37	26	23	36	25	46	28
7	29	17	36	27	30	37	25	47	29
8	30	18	39	28	31	38	23	48	30
9	18	19	34	29	31	39	27	49	29
10	28	20	32	30	24	40	29	50	29
AÑO 2011									
1	27	16	22	31	22	46	28	61	28
2	25	17	28	32	23	47	28	62	24
3	26	18	29	33	23	48	28	63	24
4	28	19	28	34	24	49	27	64	29
5	30	20	28	35	23	50	23	65	31
6	31	21	31	36	24	51	25	66	30
7	29	22	30	37	27	52	20	67	31
8	29	23	28	38	26	53	18	68	30
9	20	24	29	39	29	54	22	69	31
10	24	25	28	40	27	55	24	70	31
11	28	26	28	41	25	56	23	71	31
12	24	27	26	42	26	57	23	72	31
13	19	28	27	43	31	58	24	73	26
14	20	29	24	44	28	59	25	74	24
15	21	30	24	45	29	60	27	75	---
AÑO 2012									
1	29	13	22	25	26	37	37	49	29
2	30	14	28	26	32	38	34	50	26
3	28	15	27	27	27	39	27	51	28
4	30	16	31	28	32	40	28	52	29
5	26	17	29	29	23	41	27	53	25
6	26	18	31	30	22	42	33	54	26
7	28	19	28	31	24	43	24	55	30
8	26	20	29	32	27	44	24	56	26
9	25	21	30	33	24	45	28	57	28
10	26	22	28	34	34	46	24	58	29
11	21	23	31	35	33	47	26	59	27
12	24	24	27	36	37	48	25	60	29

AÑO 2013									
Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)
1	30	4	33	7	28	10	26	---	---
2	28	5	26	8	27	11	28	---	---
3	29	6	28	9	24	12	27	---	---
AÑO 2014									
1	26	4	26	7	30	10	29	---	---
2	25	5	27	8	29	11	29	---	---
3	28	6	28	9	28	12	28	---	---
AÑO 2015									
1	32	14	31	27	24	40	27	53	25
2	31	15	29	28	23	41	28	54	25
3	32	16	30	29	22	42	35	55	25
4	31	17	24	30	23	43	33	56	24
5	31	18	24	31	29	44	24	57	25
6	27	19	23	32	30	45	25	58	25
7	26	20	22	33	28	46	25	59	33
8	26	21	23	34	29	47	24	60	35
9	27	22	23	35	30	48	24	61	31
10	27	23	24	36	31	49	23	62	32
11	32	24	24	37	31	50	25	63	35
12	32	25	23	38	26	51	25	64	---
13	33	26	23	39	28	52	24	65	---

Un segundo lote, se presenta en la Tabla N° 2, siendo característica del mismo, la pertenencia a grupos de fábricas que poseen un sistema de control calidad, con equipos de fabricación extranjera y que en términos generales, el producto, tiene un costo mayor a los del lote N° 1. Se intenta

conocer la diferencia del comportamiento de estos productos, ante los nuevos ensayos, que han sido fabricados para cumplir con la norma INEN 1485 y que no han sufrido alguna modificación para cumplir con la norma europea, en similares condiciones al del grupo N° 1.

Tabla 2. Lote N° 2 Resultados 2010-2015, ensayo método de la banda ancha EN 1338

AÑO 2010									
Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)
1	21	12	28	23	28	34	29	45	27
2	28	13	28	24	27	35	28	46	27
3	28	14	30	25	25	36	25	47	29
4	27	15	28	26	26	37	29	48	28
5	29	16	27	27	23	38	29	49	30
6	29	17	30	28	27	39	28	50	28
7	29	18	29	29	28	40	26	51	29
8	30	19	27	30	28	41	29	52	---
9	29	20	29	31	28	42	25	53	---
10	27	21	28	32	29	43	29	54	---
11	27	22	27	33	29	44	28	55	---
AÑO 2011									
1	26	17	25	33	25	49	30	65	27
2	26	18	25	34	23	50	31	66	25
3	24	19	25	35	25	51	29	67	24
4	27	20	27	36	24	52	28	68	20
5	26	21	25	37	27	53	29	69	23
6	27	22	26	38	23	54	30	70	22
7	25	23	26	39	28	55	29	71	20
8	25	24	25	40	26	56	31	72	22
9	25	25	25	41	27	57	23	73	26
10	27	26	26	42	28	58	22	74	26
11	25	27	24	43	24	59	25	75	26
12	26	28	22	44	26	60	24	76	30
13	26	29	24	45	27	61	24	77	30
14	25	30	22	46	26	62	24	78	---
15	25	31	23	47	30	63	28	79	---
16	26	32	24	48	29	64	26	80	---
AÑO 2012									
1	27	4	25	7	23	10	23	13	25
2	26	5	28	8	30	11	25	14	23
3	30	6	26	9	25	12	29	15	23
AÑO 2013									
1	28	2	28	---	---	---	---	---	---

AÑO 2015									
Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)	Espécimen N°	Huella (mm)
1	30	21	31	41	22	61	25	81	19
2	29	22	30	42	31	62	26	82	21
3	29	23	30	43	23	63	26	83	22
4	29	24	31	44	20	64	27	84	20
5	30	25	28	45	21	65	27	85	25
6	27	26	30	46	20	66	27	86	25
7	26	27	31	47	18	67	27	87	24
8	26	28	29	48	18	68	28	88	21
9	23	29	28	49	18	69	29	89	20
10	32	30	34	50	18	70	29	90	22
11	31	31	31	51	23	71	30	91	31
12	29	32	31	52	23	72	28	92	27
13	31	33	31	53	23	73	28	93	28
14	31	34	24	54	23	74	27	94	30
15	32	35	24	55	23	75	27	95	28
16	31	36	24	56	23	76	19	96	29
17	31	37	24	57	24	77	18	97	29
18	32	38	24	58	24	78	19	98	24
19	32	39	27	59	23	79	19	99	28
20	24	40	21	60	24	80	18	100	28

De la evaluación y análisis estadístico de los resultados de los dos lotes se comprueba, el ajuste a un comportamiento de distribución normal, ver Figura 6 y 7.

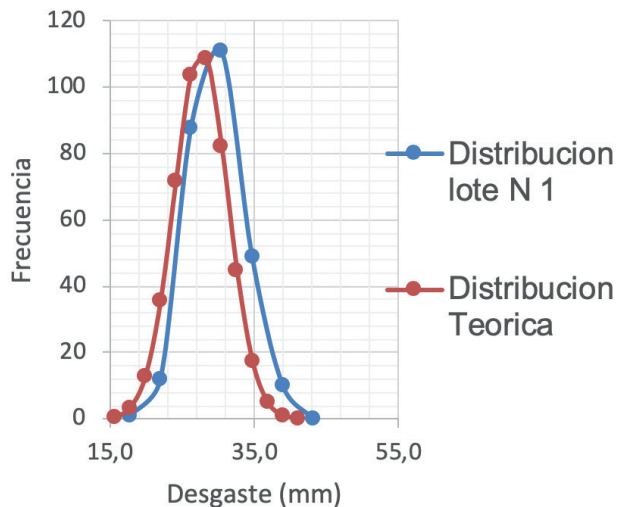


Figura 6. Representación gráfica de la distribución de frecuencias Lote N° 1.

Tabla 3. Resumen de parámetros estadísticos Lote N° 1

Lote N° 1	
Número de datos	271
Máximo (mm)	38,9
Mínimo (mm)	17,7
Promedio (X_2) (mm)	27,5
Desviación estándar	3,72

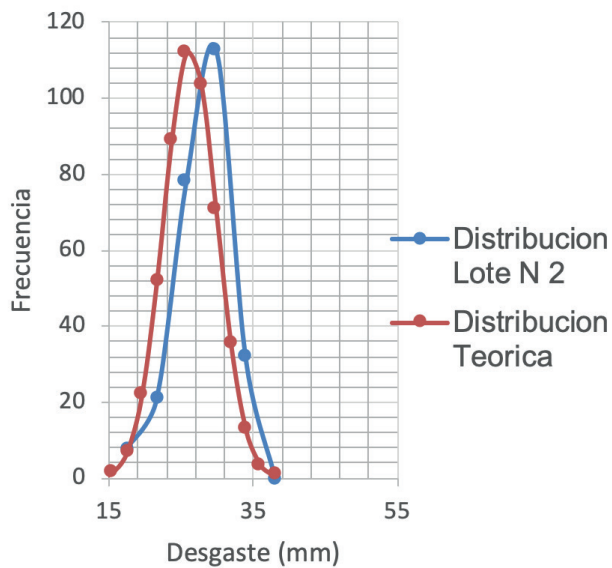


Figura 7. Representación gráfica de la distribución de frecuencias Lote N° 2.

Tabla 4. Resumen de parámetros estadísticos Lote N° 2

Lote N° 2	
Número de datos	245
Máximo (mm)	33,9
Mínimo (mm)	17,5
Promedio (X_1) (mm)	26,2
Desviación estándar	3,71

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

- Teniendo la necesidad de conocer el orden cuantitativo de la capacidad de desgaste según la norma europea que disponen los adoquines fabricados en la mayor parte del Ecuador, así como el aprovechamiento de la gran cantidad de información del LMC-PUCE; se ha comprobado la idoneidad de los datos obtenidos en los ensayos ejecutados sobre especímenes en grupos de 10 y que se convierten en muestreos dentro de estos cinco años, gracias al análisis de frecuencias del conjunto de todos los adoquines, al generar un comportamiento de distribución normal simétrica en los dos grandes lotes analizados, ver Figura 6 y 7
- Del análisis comparativo entre las medidas del desgaste superficial, obtenidos en el ensayo según el método de la banda ancha norma EN 1338, de los lotes uno y dos (según el cual se compara productos de fábricas que disponen planes de control de calidad con fábricas

que no cuentan con estos procedimientos), se evidencia por la prueba de hipótesis que existe diferencia entre los dos lotes, a saber;

Se establece, como Indicador de la hipótesis ($x_2 - x_1$), que corresponde a la diferencia de las medias de los dos lotes.

Conociendo, que:

$$x_1 \rightarrow N(u_1, \frac{\sigma_1^2}{245}) \text{ y } x_2 \rightarrow N(u_2, \frac{\sigma_2^2}{271})$$

Esto es, que x_1 y x_2 corresponden a una distribución normal de media poblacional u_1 y u_2 , con sus respectivas varianzas.

- Los dos lotes, para este análisis comparativo, son independientes por tanto la varianza es igual a la suma de las varianzas de cada lote;

$V(x_2 - x_1)$ = suma de las varianzas = $V_1 + V_2$, para el caso en estudio se tiene:

$$\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2} \rightarrow \frac{3,71^2}{245} + \frac{3,72^2}{271} \rightarrow 0,1072$$

Se define, por tanto, que la diferencia de las medias (indicador de hipótesis), de los dos lotes corresponden a una distribución normal de media poblacional $u_2 - u_1$ y la correspondiente desviación de los dos lotes:

$$x_2 - x_1 \rightarrow N(u_2 - u_1; \sqrt{0,1072})$$

En estas condiciones, considerando una significancia (α) del 5 %, se plantea las siguientes hipótesis:

Principal $H_0 \rightarrow u_1 = u_2$, es decir que las poblaciones no son diferentes.

Alternativa $H_1 \rightarrow u_2 - u_1 > 0$, es decir que las poblaciones son diferentes

Análisis: Para aceptar que la hipótesis H_0 es correcta, el valor de $x_2 - x_1$, obtenido de la distribución normal estandarizada para el 5% de error, debe ser mayor que 1,3 (diferencia de $x_2 - x_1$), es decir que se encuentre fuera del rango crítico. En el caso analizado se ha calculado que el valor de $x_2 - x_1$ es 0,539, por tanto: $0,539 < 1,3$, significa que está dentro del rango crítico. Se determina, por tanto, que la hipótesis H_1 es correcta.

$$P(Z \geq 1,645) = P(x_2 - x_1 \geq 1,645 \cdot \sqrt{0,1072}) = P(x_2 - x_1 \geq 0,539) = 0,05$$

La diferencia de los promedios de los dos lotes es:

$$x_2 - x_1 = 27,5 - 26,2 = 1,3$$

$0,539 < 1.3. \rightarrow H_1$ es correcta

El análisis puede ser ejecutado también, según el criterio de P-valor, a saber;

$$P(x_2 - x_1 \geq 1,3) = P(Z \geq \frac{1,3}{\sqrt{0,1072}}) = P(Z \geq 3,97) = 0,00 \rightarrow 0 \%$$

El P-valor, es la probabilidad de que se rechace H_0 ($x_2 = x_1$), al disponer en la muestra valores que sustentan H_1 , cuando H_0 es la hipótesis correcta. En el caso de estudio, la probabilidad de cometer ese error es nulo, por tanto, se acepta que x_2 y x_1 son diferentes.

Según estos análisis, existe una notoria diferencia estadística entre los valores de la media del desgaste superficial, medido a través del método de la banda ancha EN 1338, de las fábricas que disponen de un programa de control con aquellas que no lo tienen. Se pudiera deducir que la media del desgaste superficial, de los dos lotes, son indiferentes con la medida de la resistencia a la compresión bajo la cual los dos lotes han sido elaborados y supuestamente han cumplido con su exigencia. Se justificaría así mismo, la necesidad de discretizar el control, es decir, eliminando el indicador global o único (compresión). A pesar de la diferencia estadística probada entre las medias de los lotes, los resultados deja en evidencia la ninguna acción en la producción, direccionada a mejorar la capacidad del desgaste según el método de la banda ancha, premisa con que partió esta investigación.

- Del análisis estadístico realizado en 516 datos, obtenidos del ensayo de desgaste superficial según el método de la banda ancha de la norma EN 1338, recolectados en cinco años de monitoreo se ha determinado que el desgaste superficial característico, bajo una significancia del 5 % es de 33,6 mm. para el lote N° 1 y 32,3 mm para el lote N° 2.

Desgaste o huella característico = valor medio + (probabilidad σ) (cola derecha de la curva de distribución)*

Lote N° 1

Desgaste característico = $27,5 + 1,645 * 3,72 = 33,6$ mm.

Lote N° 2.

Desgaste característico = $26,2 + 1,645 * 3,71 = 32,3$ mm.

El desgaste superficial por el método de la banda ancha, determinado como representativo de los dos lotes investigados, son extremadamente mayores al especificado como mínimo en la norma europea de 23 mm. (20 mm para casos especiales). Esta condición de los adoquines puede justificar los señalamientos realizados en varios estudios, respecto al deterioro prematuro en obra de los elementos a pesar de

que éstos, cumplen con los requerimientos de resistencia a la compresión de la norma INEN 1485. Así mismo, impone la necesidad de realizar el control del desgaste superficial y de establecer una especificación para el Ecuador.

- La adopción de la especificación europea, referida al desgaste superficial por medio del método de la banda ancha, conduciría al incremento de los costos de producción debido a la necesaria reducción de los niveles de relación agua/material cementicio así como, la implementación de nueva y/o modernización de tecnología generando, la posibilidad de la desaparición de la empresas, especialmente aquellas que no tiene sistemas de control o fabrican de manera artesanal, que son la mayoría. En esta situación, analizada y debatida en el seno del comité técnico del INEN, sustentado en los resultados del presente estudio se decidió aceptar la propuesta de realizar el control de desgaste bajo el procedimiento del método de la banda ancha y generar una etapa de transición menos agresiva estableciendo un valor característico no mayor de 25 mm. con una significancia del 10 % bajo el criterio de probabilidad t de Student para un grado de libertad de 10, como representativo de lotes de 20.000 unidades o menor.

Resistencia al desgaste o huella = desgaste promedio + ($s * 1,37$).

Siendo(s)=desviación estándar de la muestra.

Número de muestras: 10

Se considera que, luego de poner en práctica la especificación y de la pertinente verificación de la eficacia y eficiencia mediante investigación, podrá ser necesario el ajuste del límite de desgaste a niveles más exigentes, si fuera el caso. Esta etapa de transición, además permitiría la familiarización de la industria con este nuevo control, el desarrollo planificado de nuevas dosificaciones, la implementación tecnológica de adoquines bicapa, y el ajuste propio del mercado.

5. CONCLUSIONES.

Sobre la base de los abundantes datos disponibles en el Laboratorio Universitario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador entre los años 2010 a 2015 correspondientes al control de una gran cantidad de fábricas en el Ecuador, del análisis estadístico, se ha comprobado la distribución normal simétrica que poseen los valores de medida del desgaste superficial a través del método de ensayo de la banda ancha EN 1338.

Se ha determinado que el valor característico de la huella o desgaste superficial en la gran mayoría de fábricas en el Ecuador en ese periodo de investigación, previo a la publicación de la nueva norma ecuatoriana, es de 33,6 mm., para adoquines originarios de fábricas sin control de calidad, mientras que adoquines provenientes de fábricas que cuentan con control de calidad es de 32,3

Debido a la gran diferencia del valor de huella predominante en los adoquines ecuatorianos respecto a los especificados en la norma europea se justifica la necesidad de establecer un parámetro de control menos exigente, dentro de un periodo de transición para evitar un fuerte impacto tanto en la variación de costos como en la necesidad de la implementación de nueva tecnología.

Se prevé la necesidad de la continuidad de la investigación con el propósito de comprobar la eficiencia y eficacia de la especificación a través del monitoreo en vías experimentales y el ajuste requerido con la implementación de otras variables del paquete estructural en la vida útil del adoquinado.

6. AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial al Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUCE a los Ingenieros y personal técnico que participó en la implementación del Método de ensayo de Desgaste Superficial y a todo el personal que apoyó en el seguimiento durante los 5 años.

7. REFERENCIAS

- Artega, M., & Valdez, D. (2005). *Desgaste de Adoquines de Hormigón*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tesis de grado.
- Bullen, F. (1992). The Variation in Durability of Concrete Segment Paving Units. *Proc. 4th International Conference on Concrete Block Paving*, 219-228.
- Caiza, M., & Chipugsi, R. (2018). *Influencia de las partículas de caucho en el desgaste de adoquines de hormigón*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Tesis de grado.
- Chaluzza, A. (2012). *Relaciones de Compresión y tensión en adoquines fabricados con materiales procedentes de la Canatera de Pesillo, ubicado en el cantón Cayambe Provincia de Pichincha*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador Tesis de Grado.
- Dowson, A. (1996). The Development of the Abrasion Test for Concrete Paving. *Proc. 5th International Conference on Concrete Block Pavement*, 571-578.
- European Standard EN 1338. (2006). EN 1338 Concrete Paving blocks-Requirements and test Methods. 1-20.
- Ghaffori, N., & Sukandar, M. (1995). Abrasion Resistance of Concrete Block Pavers. *ACI Material Journal*, Vol 92, 25-36.
- Hidalgo, D., & Poveda, R. (2013). *Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Tesis de Grado.
- Humpola, B. (1996). Some Aspect of CBP Quality. *The Fifth International Conference on Concrete Block Paving*, 103-113.
- Humpola, B., Bullen, F., & Knapton, J. (1996). Quick Quality Control of Concrete Block Pavers in Australia. *The Fifth International Conference on Concrete Block Paving*, 55-64.
- INEN. (1987). NTE 1485 Adoquines. Determinación de la Resistencia a la Compresión. 1-5.
- INEN. (1987). NTE 1488. Adoquines. Requisitos. *NTE INEN 1488*, 1-4.
- INEN. (2011). NTE 2380 Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito, Ecuador.
- INEN. (2011). NTE 490 Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos. Quito, Ecuador.
- INEN. (2012). NTE 152 Cemento Portland. Requisitos. 1-6.
- Jamshidi, A., Kurumisawa, K., White, G., Tatsuo, N., Toshifumi, I., Toyoharu, N., & Jize, M. (2019). State of the art of interlocking Concrete Block Pavement technology in Japan as a post modern Pavement. *Constructuion and Building Materials*, 715-750.

- ☞ Metha, K. P., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete Microstructure, Properties, and Materials*. New York: Mc Grow Hill Education.
- ☞ Murakami, K., Suda, S., & Ezumi, N. (1998). Study of Wear Resistant Pavement on High Strength Concrete Paviment Block. *2th International Workshop on Concrete Block Paving Cartagena de Indias Colombia*, 261-263.
- ☞ Ortega , L., & Realpe, G. (1992). *Uso del cemento Portland IE en la fabricación de adoquines*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tesis de grado.
- ☞ Petit, G. (2003). Abrasion Test Methods for Paving Units. *Proc. 7th International Conference on Concrete Block Pavement*, 1-11.
- ☞ Shackel, B., & Xiaoping, S. (1992). The abrasioni testing of concrete pavers. *Proc.4th international conference on Concrete block pavement*, 229-238.
- ☞ Wuaguang, L., Dongkyu, K., SungWoo, R., Han, H., Ying-En, G., & Yoon Ho, C. (2018). Evaluation of Load Dissipation Behavior of Concrete Block Pavements with Various Block Shapes and Construction Patterns. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002113