

**Calibración de la máquina  
de resistencia a la  
abrasión de adoquines,  
para su funcionamiento en  
el laboratorio del CIVCO,  
según Norma Nacional**



# Abstract

The graduation project is divided into 3 main parts, the machine calibration abrasion resistance of paving stones CIVCO lab, based on the technical specifications of the standard INTE 06-02-15-06. The wear of pavement concrete block is made by means of abrasion, comparing CIVCO lab results with the results of Holcim. For future accreditation of testing and the team performed a technical instruction.

The test for resistance to abrasion is to place a stone for a body wear through abrasion exerted by a flow of sand that passes tangentially through the cobblestone surface and the lateral side of a metal disc that presses against it, all this is done under controlled conditions. This generates a footprint in the shape of the curved surface of the metal disc.

As part of the calibration of the machine abrasion resistance of paving stones, must be verified flux density of abrasive material, this must be constant. For calibration of the reference material, you need the constant flow of abrasive material and place the appropriate counterweight, to produce a footprint of  $20 \pm 1$  mm.

Samples were divided by size and color, there were 10 samples for each type. Basic statistics were applied to the results of all tests and drawing a comparison with data from Holcim, all resulting lengths are within the range indicated by the standard (INTE 06-02-15-06).

The length of the trace of wear shows a variation with respect to the amount of aggregates that are in cobblestone in the place where the imprint is made.

Keywords: Pavement concrete block durability, quartz sand, marble block, length of wear, pavement concrete block.

# Resumen

El proyecto de graduación se divide en tres partes. La calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO se basa en las especificaciones técnicas de la norma INTE 06-02-15-06. El desgaste de adoquines ocurre por medio de la abrasión, una comparación de resultados del laboratorio del CIVCO con los resultados de Holcim. Para una futura acreditación de la prueba y del equipo se aplicó un registro técnico y un instructivo técnico.

El ensayo de resistencia a la abrasión consiste en colocar un aduquín para obtener un desgaste por medio de la abrasión que ejerce un flujo de arena; este pasa tangencialmente entre la superficie del aduquín y la cara lateral de un disco metálico, que ejerce presión contra ella. Todo este proceso se cumple bajo condiciones controladas, lo cual genera una huella con la forma de la superficie curva del disco metálico. Como parte de la calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines, se debe verificar la densidad del flujo del material abrasivo; este debe ser constante. Para la calibración del material de referencia, se necesita el flujo del material abrasivo constante y colocar el contrapeso adecuado, para que se produzca una huella de  $20 \pm 0,5$  mm.

Se dividieron las muestras por tamaño y por color y se recopilaron diez muestras por cada tipo. Se aplicó estadística básica para los resultados de todas las pruebas efectuadas y, mediante una comparación con los datos de Holcim, todas las longitudes resultantes están dentro del rango que indica la norma (INTE 06-02-15-06).

La longitud de desgaste de la huella presenta una variación con respecto a la cantidad de agregados que se encuentran en el aduquín en el lugar donde se registra la huella.

Palabras claves: abrasión de adoquines, arena de cuarzo, bloque de mármol, longitud de desgaste, adoquines de concreto.

**Calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines, para su funcionamiento en el laboratorio del CIVCO, según Norma Nacional**

# **Calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines, para su funcionamiento en el laboratorio del CIVCO, según Norma Nacional**

YEILIN JIMÉNEZ VENEGAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	6
Ensayo abrasión a doquines .....	2
Máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del CIVCO .....	2
Conceptos básicos de estadística .....	2
Metodología .....	3
Resultados .....	9
Análisis de resultados .....	27
Conclusiones .....	32
Recomendaciones.....	32
Apéndices .....	34
Anexos .....	82
Referencias.....	72

# Prefacio

Actualmente en nuestro país solo se encuentran dos máquinas disponibles para la aplicación de las pruebas de resistencia a la abrasión de adoquines. Una está en uso en la empresa Holcim de Costa Rica y la otra en el laboratorio del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO).

La máquina que se encuentra en el laboratorio del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) se mantuvo en desuso porque el material de referencia (bloque de Mármol) se encontraba quebrado y se debía tratar de arreglar en una marmolería. Otra opción que se debe tomar en cuenta es la fabricación de la pieza, con base en las especificaciones técnicas de la norma INTE 06-02-15-06. Además a esta máquina se le debe ajustar el flujo del material abrasivo que debe ser constante. Al material de referencia se le debe aplicar la huella con el flujo constante para ajustar el sistema de contrapeso. El personal de la empresa Holcim brindó capacitación para la calibración de dicha máquina.

La calibración de la máquina es fundamental por sus ventajas económicas y ambientales; la mayoría de las carreteras en Costa Rica son de asfalto, en la actualidad, el precio del petróleo es muy alto y nuestro país carece de fuentes para crearlo. Lo anterior sumado a que las reservas mundiales de petróleo se están agotando; por ello la necesidad de implementar nuevos sistemas de estructuras de pavimentos; uno de ellos es el adoquín de concreto, con el que se pueden modular aceras, parques, plazas, pavimentos para tráfico vehicular liviano y pesado.

Los adoquines ofrecen algunas ventajas como las siguientes:

- Presenta un sistema modular de fácil instalación y no requiere maquinaria pesada.

- No exige mano de obra calificada y los materiales se consiguen fácilmente; además, no consume derivados del petróleo.
- El mantenimiento es muy sencillo; solo se requiere limpiar la vegetación que pueda aparecer.
- Propicia la infiltración de buena parte del agua de lluvia; por tanto, ayuda a disminuir inundaciones.

La finalidad de este proyecto es calibrar y poner a funcionar la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO, con el fin de poder brindar el servicio a empresas que se dedican a la fabricación de adoquines. Adicionalmente, se deben buscar opciones para arreglar el material de calibración o encontrar una marmolería donde se pueda diseñar la pieza según las especificaciones de la norma INTE 06-02-15-06.

Agradezco en primer término a Dios por permitirme culminar este anhelo. Igualmente a mi abuelita y a mis padres quienes siempre confiaron en mí. Al Ingeniero Mauricio Araya Rodríguez por su constante apoyo en la elaboración de este proyecto. Al técnico Eduardo Arce por toda la ayuda brindada en el trabajo del laboratorio. A mi compañero y amigo Francisco Brenes y a mis amigas Sofía García y Cristina González por todo el estímulo que me brindaron durante el estudio de la carrera de Ingeniería en Construcción. También a todas las personas que, de una u otra manera, colaboraron para alcanzar la elaboración de este proyecto. A mis dos abuelitos, que están en el cielo, les dedico este trabajo.

# Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como objetivo principal la calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO. Se basa en la norma nacional INTE 06-02-15-06 y algunas normas internacionales ASTM para analizar las características del material abrasivo (arena de cuarzo).

Dicho proyecto es de gran utilidad para la Escuela de Ingeniería en Construcción, puesto que, una vez finalizado, la máquina que se encuentra en el laboratorio del CIVCO estará habilitada para brindar el servicio a empresas que se dedican a la fabricación de adoquines; además con ello se tendrá un parámetro de comparación de resultados de las pruebas en el laboratorio del CIVCO y las pruebas en Holcim, con el fin de cerciorarse de que la máquina realice, con el flujo constante, una huella que cumpla con las especificaciones que se indican en la norma (INTE 06-02-15-06).

Los objetivos específicos a desarrollar procuran buscar fuentes de materiales alternativos necesarios para la prueba como arena sílice y bloque de mármol, análisis comparativos de pruebas en Holcim con pruebas desarrolladas en el laboratorio del CIVCO y elaborar toda la documentación necesaria para una futura acreditación de la prueba y calibración del equipo.

El ensayo de resistencia a la abrasión de adoquines se utiliza varios aparatos para determinar la resistencia a la abrasión de adoquines.

Los componentes principales son los siguientes:

- Disco metálico ancho.
- Espécimen de ensayo.
- Tolva superior para almacenamiento del material abrasivo.
- Válvula de control y regulación del flujo del material abrasivo.

- Carro portaespecímenes.
- Sujetador para los especímenes de ensayo
- Contrapeso.
- Tolva inferior para la regulación del flujo del material abrasivo.
- Tolva para la recolección del material abrasivo ya utilizado.
- Arena de cuarzo.

Estos componentes se pueden ver en la Figura 1 Partes de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines.



Figura 1. Partes de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines.

Algunas herramientas adicionales que se utilizan en el ensayo de resistencia a la abrasión de adoquines son:

- Lupa
- Fuente de luz
- Regla metálica
- Vernier con divisiones de un mínimo de 0,1 mm o digital.

Para el funcionamiento de la máquina, se consultó al personal de la empresa Holcim a fin de que visiten el laboratorio del CIVCO para que observen el estado de dicha máquina y así poder brindar la respectiva capacitación.

Para la calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO, se debe ejecutar el siguiente procedimiento:

El material de referencia (bloque de mármol) actualmente se encuentra quebrado, por lo que se debe de buscar alguna marmolería donde se pueda arreglar o fabricar la pieza, con base en las especificaciones técnicas de la norma INTE 06-02-15-06. Una vez lista la pieza se procede a ajustar el sistema de contrapeso; para el caso de la máquina del laboratorio del CIVCO, se colocó todo el peso para obtener una huella con una longitud de  $20 \pm 0,5$  mm

Al material abrasivo (arena de cuarzo) se le efectuaron varias pruebas como cálculo del peso unitario según la norma ASTM C 29 - 97, la gravedad específica y absorción de finos según norma ASTM C 128 - 04 y granulometría según norma ASTM C 136-05.

La primera parte de la calibración consistió en ajustar el flujo del material abrasivo de la máquina, en vista de que dicho caudal debe ser constante. Para ello se debe pasar libremente arena de cuarzo por entre las tolvas durante un minuto. Luego se pesa y, con base en el peso unitario, se calcula el flujo, el cual debe ser de 2,5 l/min.

Una vez ajustado el flujo del material abrasivo, se debe hacer lo mismo con el contrapeso del sistema y con esto se puede calcular el valor de calibración. Lo indicado se logra aumentando el peso y ejecutando la huella en dicho material de referencia hasta obtener una huella entre  $20 \pm 0,5$  mm.

Luego de la calibración del material de referencia, se debe verificar la ortogonalidad de los soportes del espécimen de ensayo, del carro portaespecimen y del sistema de desplazamiento; luego se comprueba que los sistemas antes mencionados se puedan desplazar con facilidad.

Antes de utilizar el espécimen de muestra se deben de revisar algunas características determinantes para la obtención de la huella. Como la pieza tiene que ser una unidad completa, podrían ser nuevos o extraídos del pavimento existente; también la cara que se coloca a desgaste debe ser plana y que no contenga texturas rugosas; de lo contrario, se debe de pulir la superficie; además el espécimen debe estar limpio y seco. El área de desgaste se debe marcar para facilitar la medida de la huella.

Para efectuar el ensayo, se debe llenar la tolva superior o de almacenamiento con el material abrasivo; dicho material debe permanecer en estado seco. Se debe colocar un recipiente vacío bajo el disco metálico para recoger el material abrasivo utilizado. Luego se retira el portaespecimen para colocar y fijar el espécimen de ensayo en el carro y se separa del disco a una distancia de 15 mm, aproximadamente. El espécimen se coloca en contacto con el disco metálico, se abre la válvula de control y se distribuye el flujo; simultáneamente se enciende el motor, a la vez que el disco metálico da 75 revoluciones en  $60 \pm 3$  s.

Después de las 75 revoluciones se detiene el disco metálico y se suspende el flujo del material del material abrasivo.

Cuando se haya producido la huella en el espécimen, este se debe de colocar debajo de la lupa, con el fin de facilitar la medición de la huella. Luego se trazan líneas en los extremos de la huella E1 y E2, luego se trazan las horizontales, después dejan se trazan las líneas mm hacia adentro de cada extremo y se trazan las líneas CD y EF y en el punto medio de la distancia de dichas líneas se traza la línea AB. Por último, para medir el desgaste de la huella se deben colocar las puntas del calibrador en los extremos internos de la huella línea AB.

Para determinar si la huella se acepta, se debe medir la diferencia entre la línea media y la línea de los extremos; si esta diferencia es menor a 1 mm la huella se acepta.



Para el resultado de la huella se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_h = AB + (20,0 - V_c)$$

Donde:

$I_h$  = Longitud de la huella resultante (mm)

AB = Longitud de la huella medida en el punto medio (mm)

$V_c$  = Valor de calibración (mm)

En la Figura 2 se muestra el método y las dimensiones para lograr la huella al espécimen de ensayo.

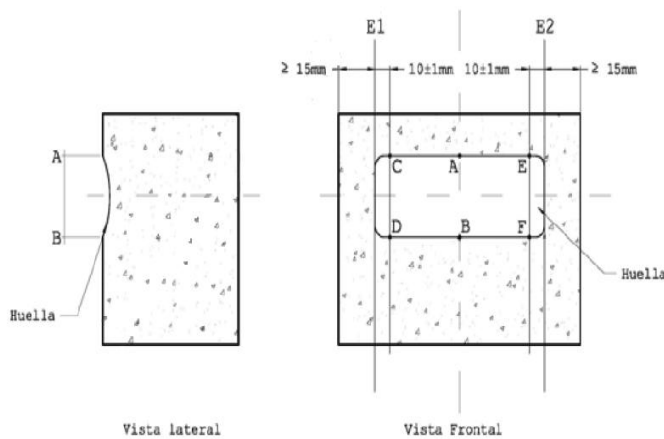


Figura 2: Método y dimensiones para la realización de la huella sobre el espécimen de ensayo.

Como parte de los resultados se analizaron las características de las piezas de mármol que se tenían como muestra; se les determinó su peso unitario, volumen de las piezas y con ello la densidad en estado seco de las piezas. Luego se les aplicó la prueba de porcentaje de absorción y se colocaron las piezas en un estereoscopio para observar el diámetro de los cristales. La densidad en estado seco que más se acerca a la pieza original es la pieza número tres. La norma indica que la pieza debe tener una densidad aproximada de 2.600,00 kg/m<sup>3</sup> y la pieza número tres tiene una densidad de 2.650,31 kg/m<sup>3</sup>. El porcentaje de absorción de la pieza original es de 0,11% mientras que la pieza número tres es de 0,12%. Al revisar las piezas, la pieza que contiene los cristales parecidos a la original es la número tres.

En el cuadro 1 se muestra la densidad en estado seco de las piezas de mármol.

<b>CUADRO 1. Densidad estado seco de las piezas de mármol</b>	
<b>Pieza</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	2.422,40
2	2.670,78
3	2.650,31
Colombiana	2.552,45

En el cuadro 2 se muestra el porcentaje de absorción de las piezas de mármol.

<b>CUADRO 2. Porcentaje absorción de las piezas de mármol.</b>	
<b>Pieza</b>	<b>% absorción</b>
1	0,52
2	0,22
3	0,12
Colombiana	0,11

En la figura 3 se muestra la pieza de muestra N.º 3 colocada en el estereoscopio, la cual se parece más a la pieza original.

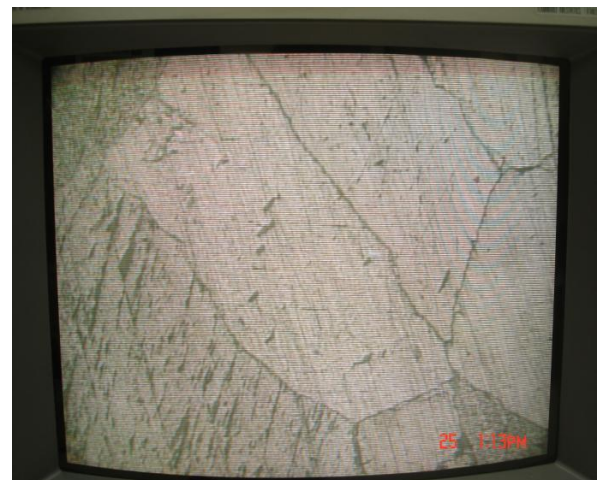


Figura 3. Muestra N.º 3 visualizada en el estereoscopio.

En la figura 4 se muestra la pieza original colocada en el esteroscopio.



*Figura 4.* Pieza original visualizada en el esteroscopio.

Para las pruebas del trazado del contorno de la huella, se separaron las muestras por tamaño y por color. A estas se les aplicó estadística básica como media, moda, desviación estándar y varianza.

La máquina del laboratorio del CIVCO se encuentra lista para proceder a pruebas de abrasión a los adoquines. Es fundamental que, cuando se trabaje con ella, se cuente con un técnico debidamente capacitado.

Del análisis de resultados se concluyó que los adoquines de color amarillo presentan poca demanda en el mercado. Con los datos de Holcim a lo largo del año 2009, se ensayaron con ese color entre 2 y 4 muestras, lo cual, para la comparación de resultados, los datos generados no son representativos.

Cuando se aplican las pruebas se requiere que los técnicos utilicen equipo de seguridad como mascarillas y gafas, debido a que el material abrasivo está compuesto por óxido de sílice, el cual resulta dañino para la salud.

# Introducción

La calibración, en general, de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO es el objetivo general del siguiente documento, puesto que permite recomendarlo como material de referencia para la realización de la prueba y así cumplir con las especificaciones de la norma INTE 06-02-15-06.

La verificación y la instalación del equipo adicional que se utiliza para las pruebas se hace mediante capacitaciones que brindará el personal de la empresa Holcim, por ejemplo, la calibración del flujo del material abrasivo, el cual debe ser constante y también la calibración del material de referencia que, en este caso, es la bloque de mármol.

Entre los objetivos específicos que se plantean desarrollar resaltan:

- Buscar fuentes de materiales alternativos necesarios para la prueba como la arena sílice y el bloque de mármol.
- Trabajar en conjunto con la empresa Holcim para la calibración de dicha máquina y la comparación de ambas máquinas.
- Aplicar análisis comparativos de ensayos en Holcim con ensayos ejecutados en el laboratorio del CIVCO.
- Elaborar la documentación necesaria para una futura acreditación de la prueba de resistencia a la abrasión de adoquines en el laboratorio del CIVCO, según norma INTE 06-02-15-06.
- Elaborar la documentación necesaria para la calibración del equipo utilizado en la prueba de resistencia a la abrasión de adoquines en el laboratorio del CIVCO, según norma INTE 06-02-15-06.

El ensayo se debe cumplir tomando en cuenta aspectos como la densidad y la cantidad de flujo del material abrasivo que debe pasar por las tolvas. Este debe ser constante, y disponer de un material de referencia con las características que indica la norma INTE 06-02-15-06. También se puede utilizar un material de referencia alternativo que contenga una adecuada correlación entre ambos materiales.

En cuanto al espécimen de muestra (adoquín de concreto), se recomienda aplicarle varias pruebas como la resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión y la absorción de agua. Estas pruebas son útiles en razón de que se trata de parámetros para garantizar la resistencia, según los requisitos de fabricación; es posible que estos especímenes se puedan utilizar para modular aceras, plazas, parques, pavimentos para tráfico vehicular liviano y pesado.

La implementación de la máquina es necesaria porque ofrece varias ventajas económicas y ambientales; la gran mayoría de las carreteras de nuestro país son de asfalto y en la actualidad el precio del petróleo es muy alto y de poca calidad. Además, en este ámbito se carece de fuentes para producirlo, a lo cual se le suma que las reservas de petróleo se están agotando. Por ello se debe buscar nuevos sistemas de estructuras de pavimentos y una de las soluciones sería construirlas con adoquines.

Muchas empresas que se dedican a la fabricación de adoquines se muestran interesadas en que el laboratorio del CIVCO cuente con la máquina lista para brindar dicho servicio y así poder garantizar su calidad.

Nota. Todos los cuadros en este trabajo fueron creados mediante el programa MS Excel 2007.

# Ensayo de abrasión a adoquines

## Generalidades

El ensayo establece el procedimiento para la medición en el laboratorio del desgaste de adoquines; utiliza un disco metálico ancho y arena que sirve de material abrasivo; dicho ensayo se efectúa bajo condiciones normalizadas.

El ensayo consiste en colocar un adoquín para desgastarlo por medio de la abrasión que ejerce un flujo de arena constante; este pasa tangencialmente por la superficie del adoquín y la cara lateral de un disco metálico, la cual ejerce presión contra ella. Todo este procedimiento se somete a condiciones controladas. Se genera una huella con la forma de la superficie curva del disco metálico, donde el ancho de ésta no debe ser mayor de 23 mm; el disco debe completar 75 revoluciones en  $60 \pm 3$  s.

### Espécimen de ensayo (adoquín de concreto)

Las materias primas básicas que componen los adoquines de concreto son cemento y agregados, los cuales se someten a pruebas periódicas para garantizar que cumplan con la norma ASTM C 33 y ASTM C 29. Intervienen algunos métodos como gravedad específica y absorción de finos, análisis granulométrico de los agregados y peso unitario.

Los adoquines de concreto son sometidos a pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días, con una resistencia de  $330 \text{ kg/cm}^2$ ; estas pruebas se ajustan estrictamente las especificaciones de la norma ASTM C 140.

A los adoquines se les aplican varios ensayos como la flexión o módulo de ruptura, resistencia a la abrasión, la absorción y resistencia a la compresión; estas pruebas se desarrollan todos los días para luego colocar dichos adoquines, en la zona de curado. Luego de este período son probados de nuevo para garantizar que, cumplan con las especificaciones de fabricación.

Se fabrican de diferentes formas, tamaños y colores. Los adoquines de uso más frecuente son los rectangulares y de color gris, por lo cual su preferencia depende del uso que se les dará. Cuando se requiere de un color en especial, a estos se les adiciona un pigmento de óxidos minerales a la mezcla de concreto.

### Arena Sílice (arena de cuarzo)

Esta arena está compuesta por granitos de cuarzo; este mineral es de gran pureza, pues proviene de una roca intrusiva, ofrece una forma angular y es de color blanco cremoso; asimismo, un porcentaje de absorción de agua muy cercano a 0%.

Se usa principalmente para manufacturas de vidrio. Se utiliza en morteros, mezclas de hormigón, agregados inertes en pozos de geotermia de alta temperatura, fabricaciones de ferroaleaciones y piezas de fundición y como material filtrante en plantas de tratamiento y purificación.

Cuando se utiliza el material abrasivo que conforma un lote, se debe mezclar previamente a la toma de la muestra para comprobar su granulometría. Conviene recalcar que el material abrasivo solo se debe utilizar una vez.

También se puede utilizar otro tipo de arena, siempre que se cumpla con lo que indica la norma ASTM C29.

Este material debe ser arena de cuarzo con la siguiente granulometría (en el cuadro 3 se muestra la granulometría de la arena que indica la norma INTE 06-02-15-06).

<b>CUADRO 3. Granulometría Arena de cuarzo que indica la norma INTE 06-02-15-06</b>	
<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje pasa</b>
No. 20 (850 µm)	100 - 100
No. 30 (600 µm)	95 - 100
No. 40 (425 µm)	50 - 60
No. 50 (300 µm)	10 - 20
No. 60 (250 µm)	02 - 10
No. 80 (180 µm)	0 - 4

La arena de cuarzo adquirida en Coris de Cartago, en Grupo Vidriero Centroamericano, no cumple con la granulometría que se indica en la norma; por tanto, se deben ajustar las condiciones de la máquina para que, con este tipo de arena, se produzca una huella con una medida menor a 23 mm.

En el cuadro 4 se muestra la granulometría aplicada a la arena de cuarzo adquirida en Coris de Cartago.

<b>CUADRO 4. Granulometría de Arena de cuarzo, adquirida en Coris de Cartago</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>(%) pasando</b>	<b>Especificaciones</b>
No. 20 (850 µm)	56,30	100-100
No. 30 (600 µm)	7,85	95-100
No. 40 (425 µm)	0,72	50-60
No. 50 (300 µm)	0,27	10- 20
No.70 (212 µm)	0,19	2- 10
Charola	0,04	0-4

# Máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del CIVCO

La máquina de resistencia a la abrasión de adoquines que se encuentra en el laboratorio del CIVCO, es una donación del ICCYC, que se importó de Bogotá DC, Colombia.

Tiene un costo de \$ 3500 y su fabricante es DIRIMPEX LTDA, contiene las siguientes características: potencia de 0,5 Hp, velocidad de motor de 1020 rpm, velocidad de salida de 75 rpm, peso de máquina 60 kg.

La máquina de resistencia a la abrasión de adoquines consta de varios aparatos fundamentales que son:

- Disco metálico ancho
- Espécimen de ensayo
- Tolva superior para almacenamiento del material abrasivo
- Válvula de control del flujo del material abrasivo
- Carro portaespecímenes
- Sujetador para los especímenes
- Contrapeso
- Tolva inferior para la regulación del flujo del material abrasivo
- Tolva para la recolección del material abrasivo ya utilizado
- Material abrasivo (arena de cuarzo)

Herramientas adicionales que se utilizan en el ensayo de resistencia a la abrasión de adoquines:

- Lupa
- Fuente de luz
- Regla metálica
- Vernier con divisiones de un mínimo de 0,1 mm

## Disco metálico ancho

El disco metálico debe ser de acero A36 (que cumpla con la norma ASTM A36), tratado con una dureza Brinell de  $200 \text{ HB} \pm 20 \text{ HB}$ . Su diámetro debe ser de  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  y con un espesor de  $70 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . El disco debe girar 75 revoluciones en  $60 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$ , tanto en estado libre como durante la ejecución del ensayo; por lo tanto el sistema de manejo del disco debe tener la potencia adecuada.

La figura 5 muestra dicho disco.



Figura 5. Disco metálico ancho

## Tolva superior

Esta tolva debe almacenar el material abrasivo, el cual debe alimentar otra tolva de menor tamaño. La tolva, por lo general, tiene forma cilíndrica, cerrada en la parte inferior; debe contar al menos con una válvula que regule el flujo que alimenta la tolva inferior.

La figura 6 muestra la tolva superior.



Figura 6. Tolva superior (almacenamiento de arena)

La figura 7 muestra la tolva inferior y la figura 8 las dimensiones de la tolva inferior.

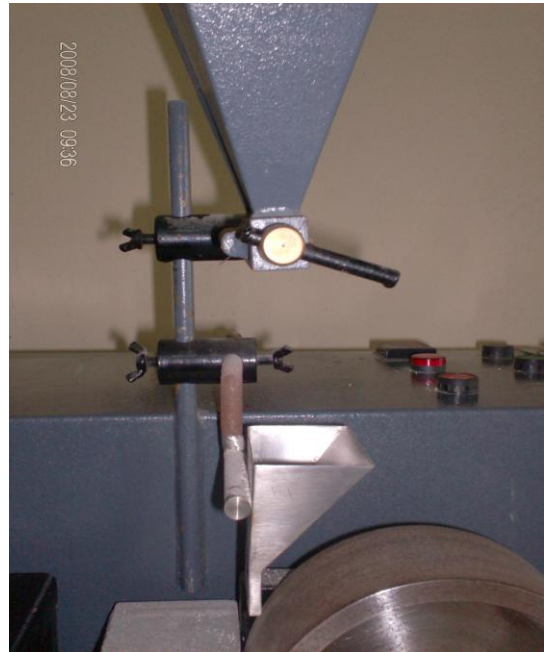


Figura 7. Tolva inferior (control y distribución del flujo)

## Tolva inferior

Esta tolva se utiliza para el control y la distribución del flujo; debe tener forma de cuña. La sección debe ser un triángulo rectángulo, con su extremo más agudo dispuesto hacia abajo.

Debe ser abierta por la cara superior, el cuerpo de esta tolva debe tener uno de sus lados inclinado y el otro debe ser vertical. Adicionalmente, a modo de prolongación del extremo inferior, debe tener una boquilla de salida con una ranura cuyas dimensiones inferiores sean: longitud  $45 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , ancho  $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  y profundidad  $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ .

El ancho total de la tolva de control y distribución del flujo, en dirección paralela al eje del disco de abrasión, debe ser, al menos, de 65 mm.

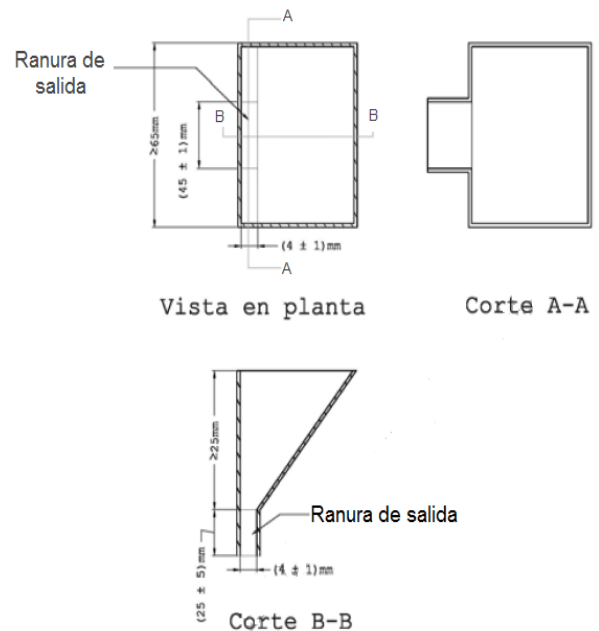


Figura 8. Forma y dimensiones de la tolva inferior

## Carro portaespécimen

El carro portaespécimen debe ser rígido e ir montado sobre un sistema de rieles y rodamiento, que garantice su libre desplazamiento, bajo la acción del contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco metálico.

Debe poseer un sistema para la fijación del espécimen, que permite sujetarlo, nivelarlo y alinearlos, con el fin de que la superficie a ser ensayada sea lo más paralela posible al plano tangente del disco de abrasión en el punto de contacto entre dicha superficie y el disco metálico.

La figura 9 muestra el sistema de alineamiento y nivelación del espécimen de ensayo.

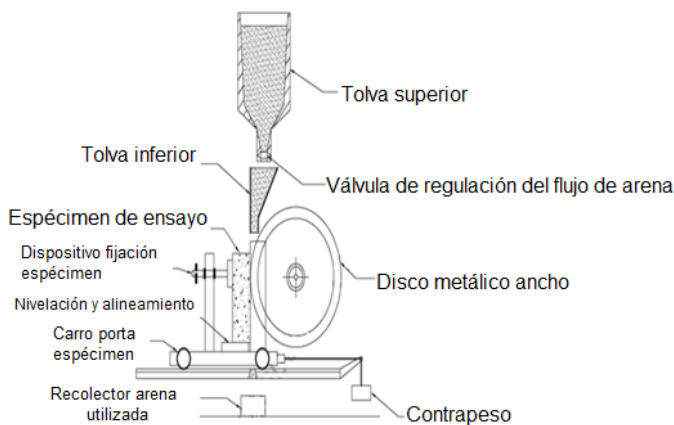


Figura 9. Sistema de alineamiento y nivelación del espécimen de ensayo.

## Flujo del material abrasivo

El flujo que se almacena en la tolva superior y que pasa por la otra tolva inferior de control y distribución del flujo, debe ser constante, presentar un caudal mínimo de 2,5 l/min. El nivel mínimo del material abrasivo en dicha tolva debe ser al menos de 25 mm, medidos por encima del nivel superior de la ranura.

La distancia de la caída, entre la ranura de la tolva de control y distribución del flujo y el plano horizontal que coincide con el del eje del disco metálico debe ser  $100 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ .

El plano de caída del flujo de material abrasivo debe estar entre 1 mm y 5 mm a partir del plano del espécimen y hacia el centro del disco de abrasión.

La figura 10 muestra el flujo constante del material abrasivo.



Figura 10. Flujo constante del material abrasivo

## Material de referencia (bloque de mármol)

El material de referencia deberá ser en forma de tableta con un espesor mínimo de 20 mm, cuyas superficies, que se van a emplear para la calibración, se deben pulir previamente, con un esmeril de grano 100/120.

Este material debe presentar las siguientes características: mármol de estructura masiva, no foliada o débilmente foliada, sin discontinuidades (venas o fracturas), de grano medio equigranular, con cristales de 2 mm a 3 mm de diámetro, de color gris claro medio, compuesto 100 % por calcita (recristalizada, con textura cristaloblástica – granoblástica y con una densidad aproximadamente de  $2600 \text{ kg/m}^3$ ).



La figura 11 muestra el material de referencia (bloque de mármol).



*Figura 11.* Material de referencia (bloque de mármol)

# Conceptos básicos estadísticos

## Media (x)

La media aritmética es la medida de posición más usada y conocida. Se le conoce como promedio.

La media aritmética de un conjunto de datos es el resultado que se obtiene al dividir la suma de esos valores entre el número de ellos.

$$\text{Media aritmética} = \frac{\text{Suma de valores}}{\text{Número de valores}}$$

## Moda (Mo)

Esta medida de posición se asocia con el valor más común, más típico o que ocurre con más frecuencia en un conjunto de datos. Más concretamente, se define como el valor al cual corresponde la mayor frecuencia.

## Desviación estándar

La desviación estándar nos indica cuánto se alejan, en promedio, las observaciones de la media aritmética del conjunto. Es la medida de dispersión más usada en estadística, tanto en aspectos descriptivos como analíticos.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

## Varianza

Es una constante que representa una medida de dispersión media de una variable aleatoria X, respecto a su valor medio o esperado. Puede interpretarse como una medida de variabilidad de la variable<sup>1</sup>

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

---

<sup>1</sup> Gómez Barrantes Miguel, Elementos de Estadística Descriptiva, 2005.

# Metodología

La metodología adoptada para la obtención de los resultados deseados se basó en trabajo de investigación y en trabajo de laboratorio.

Los pasos a seguir en la calibración y verificación del buen funcionamiento de los equipos se realiza en el laboratorio del CIVCO, laboratorio de microscopía electrónica del ITCR y UCR. Se describen a continuación.

- **Arreglar el material de referencia (bloque de mármol)**

- El laboratorio del CIVCO tiene 3 piezas de mármol las cuales se encontraban quebradas. Por lo tanto, se pretendió que las piezas se puedan arreglar y luego pulirlas para aplicarles la huella nuevamente. También se debió buscar en alguna marmolería donde se pudiera fabricar la pieza basándose en las especificaciones de la norma INTE 06-02-15-06; o buscar un material de referencia alternativo, con lo cual se debe establecer una adecuada correlación entre ambos materiales. Esta debe estar debidamente documentada para su verificación por parte de quien ordena la prueba.
- El material de referencia debe ser en forma de tabletas con un espesor mínimo de 20 mm, cuyas superficies se deben pulir, previamente; con un esmeril de grano 100/200.

- **Calibrar el material de referencia (bloque de mármol)**

- Para la calibración del bloque de mármol, primero se debió asegurar que el flujo del material abrasivo sea constante, luego se realiza la huella en dicho material colocándole al sistema el contrapeso adecuado para así poder producir una huella con la medida de  $20 \pm 0,5$  mm.

- **Realizar pruebas al material de referencia (bloque de mármol).**

- Se cuentan 3 piezas de mármol diferentes para realizarle pruebas como peso unitario, porcentaje de absorción y densidad en estado seco. Los resultados de estas pruebas se deben comparar con las pruebas realizadas a la pieza original, para así poder obtener opciones cuando se requiera fabricar una pieza nueva.

- **Realizar pruebas al material abrasivo (arena de cuarzo).**

- Al material abrasivo (arena de cuarzo) que se utiliza para este tipo de pruebas se le debió ejecutar la granulometría, la cual se debe comparar con la que se indica en la norma INTE 06-02-15-06.

- Si dicha arena no cumple se debe ajustar la máquina para que en el material de referencia y en el espécimen de ensayo (adoquín de concreto), se produzca la huella con las medidas adecuadas que se indican en la norma INTE 06-02-15-06.
  - Además se debió contar con pruebas como la Gravedad Específica y absorción de finos según ASTM C128 – 04, Peso Unitario del material según ASTM C29 / C 29 M – 97.
- **Verificar la densidad y flujo del material abrasivo (arena de cuarzo)**
    - El material abrasivo se debe dejar pasar libremente a través de las tolvas por un período de 60 s  $\pm$  1 s y se recoge el material por debajo del disco metálico en un recipiente con al menos 3 litros de capacidad.
    - Luego se pesa el recipiente con el material abrasivo y, con base en el peso unitario suelto, se debe de calcular el flujo del material abrasivo, el cual debe ser, al menos, de 2,5 l/min.
  - **Calibrar la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines:**
    - La máquina se debe calibrar cada vez que se hayan producido 300 huellas o cada seis meses. En este caso lo que pase primero, también se debe hacer la calibración cuando se tenga un operario nuevo o cuando se disponga de un lote de material abrasivo o un nuevo disco metálico.
    - Se debe verificar la ortogonalidad de los soportes del espécimen, del carro portaespécimen, y el sistema de desplazamiento. También se debe verificar que el sistema de contrapeso y el carro porta espécimen se desplacen libremente y con facilidad.
- Sobre el material de calibración se deben producir tantas huellas como sea necesario; esto se hace ajustando el contrapeso hasta lograr que el disco metálico, después de 75 revoluciones en 60 s  $\pm$  3 s, produzca una huella con una longitud de 20 mm  $\pm$  0,5 mm en dicho material.
- **Preparar el espécimen de ensayo (adoquín):**
    - Este debe ser una unidad completa; pueden ser nuevos o extraídos de un piso o pavimento existente. En el caso de los adoquines cuadrados 20x20 cm y los adoquines Santa Cruz, se les debió cortar un rectángulo con el fin de que se pudiera colocar en la máquina y realizar la huella en el centro de la pieza.
    - La cara superior (cara de desgaste) debe tener una dimensión mínima de 100 mm por 70 mm.
    - La cara superior (cara de desgaste) esta debe ser plana, con una tolerancia de  $\pm$  1mm en dos direcciones perpendiculares.
    - Si la cara superior presenta una textura rugosa o está por fuera de las tolerancias descritas, se debe de pulir, hasta alcanzar la tolerancia requerida.
    - El espécimen debe estar limpio y seco. Su superficie se debe limpiar con una brocha justo antes del ensayo. También se debe manchar el área de ensayo con un tinte superficial delgado, con el fin de facilitar la determinación de la huella.
    - El espécimen se debe de fijar firmemente al carro portaespécimen y además se debe verificar su alineación y la libertad de desplazamiento del carro.
  - **Realización del ensayo de resistencia a la abrasión de adoquines:**
    - La tolva de almacenamiento se debe llenar con el material abrasivo previamente calibrado, en estado seco.

- Se debe colocar un recipiente vacío bajo el disco metálico, para recoger el material abrasivo que fue utilizado en el ensayo.
  - Se debe retirar el portaespécimen para colocar y fijar el espécimen en el carro, separándolo del disco metálico, de tal manera que se produzca la huella con una distancia mínima de cualquier borde de 15 mm.
  - Se debe colocar el espécimen en contacto con el disco metálico, se abre la válvula de control y se distribuye el flujo y simultáneamente se enciende el motor, de tal manera que el disco metálico complete 75 revoluciones en  $60 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$ . Luego de las 75 revoluciones del disco, se debe suspender el flujo del material abrasivo y se debe detener el disco.
- **Realizar el trazado del contorno de la huella de desgaste:**
    - Se debe colocar el espécimen debajo de una lupa grande y preferiblemente con luz para facilitar la medición de la huella de desgaste.
    - Se deben trazar líneas en los extremos de la huella con un lápiz de diámetro de 0,5 mm. Se debe trazar una línea paralela en el punto medio de la distancia entre las líneas de los extremos (extremos internos de la huella).
    - Para determinar la longitud de la huella del desgaste, se deben colocar las puntas del calibrador en los extremos de los puntos medios de la huella (extremos internos de la huella); se debe registrar la medición con una aproximación de 0,1 mm.
  - **Determinar si la huella se acepta o se rechaza:**
    - Si la diferencia medida entre la línea media y las líneas de los extremos es menor que 1 mm, la huella se acepta. Cuando se está calibrando la máquina, se acepta una diferencia de 0,5 mm.
- **Determinar el resultado del ensayo:**
    - Para los resultados se deben tomar en cuenta la longitud de la huella, medida en el trazado del contorno de la huella de desgaste, corregida por un factor de calibración.
    - El resultado que se debe presentar con una aproximación de 0,5 mm debe ser la suma de la huella medida en el punto medio y la diferencia entre 20,00 mm y el valor de calibración.
- Longitud resultante de la huella de desgaste:
- $$l_h = AB + (20,0 - V_c)$$
- Donde:
- $l_h$  = Longitud de la huella resultante (mm)  
 AB = Longitud de la huella medida en el punto medio (mm)  
 $V_c$  = Valor de calibración (mm)
- Nota:
- En el material de referencia (bloque de mármol), se debió producir una huella con una longitud de  $20 \pm 0,5$  mm. Para este caso el valor de calibración es de 19,60 mm.
- Cuando el valor de calibración es mayor a 20,00 mm; se produce una disminución de la longitud de la huella, pero en ningún caso podrá dar un valor negativo.

# Resultados

## Características del material de referencia (bloque de mármol).

Para este análisis se tienen 3 tipos diferentes de muestras de mármol y la pieza de mármol original, a las cuales se recomienda realizarles varias pruebas como peso unitario seco, volumen de las piezas y densidad en estado seco.

### Peso Unitario

El peso unitario seco de las piezas, se muestra en el cuadro 5.

<b>CUADRO 5. Peso unitario seco de piezas de mármol</b>		
<b>Pieza</b>	<b>Peso Unitario (g)</b>	<b>Peso Unitario (kg)</b>
1	251,54	0,25154
2	508,74	0,50874
3	584,35	0,58435
Colombiana	1016,40	1,0164

### Volumen de las piezas

El volumen de las piezas, se muestra en el cuadro 6.

<b>CUADRO 6. Volumen de piezas de mármol</b>		
<b>Pieza</b>	<b>Volumen (cm3)</b>	<b>Volumen (m3)</b>
1	103,839	0,000103839
2	190,483	0,000190483
3	220,483	0,000220483
Colombiana	398,21	0,000398205

### Densidad en estado seco de las piezas

La densidad en estado seco de las piezas, se muestra en el cuadro 7.

<b>CUADRO 7. Densidad estado seco piezas de mármol</b>	
<b>Pieza</b>	<b>Densidad (kg/m3)</b>
1	2.422,40
2	2.670,78
3	2.650,31
Colombiana	2.552,45

## Porcentaje de absorción de las piezas de mármol

El porcentaje de absorción de las piezas, se muestra en el cuadro 8.

CUADRO 8. Porcentaje absorción de las piezas de mármol	
Pieza	% absorción
1	0,52
2	0,22
3	0,12
Colombiana	0,11

## Análisis de las piezas

Para conocer el tamaño de los cristales que contenían las piezas de mármol, estas se colocaron en un esteroscopio, para visualizar cuál de las 3 muestras se asemeja más a las características del material de referencia (bloque de mármol).

La figura 12 muestra las piezas de mármol a visualizar en el esteroscopio.

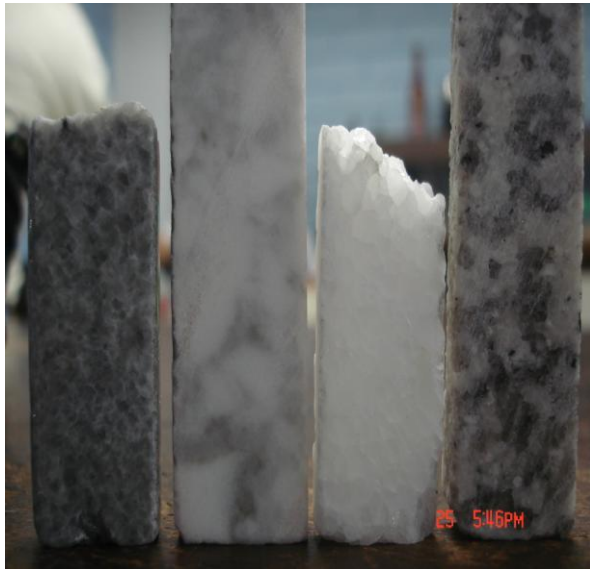


Figura 12. Muestras de mármol a visualizar en el esteroscopio

La figura 13 muestra la pieza 1 a visualizar en el esteroscopio.



Figura 13. Muestra N.º 1 a visualizar en el esteroscopio.

La figura 14 muestra la pieza 1 visualizada en el esteroscopio.



Figura 14. Muestra N.º 1 visualizada en el esteroscopio

La figura 15 muestra la pieza 2 a visualizar en el esteroscopio.



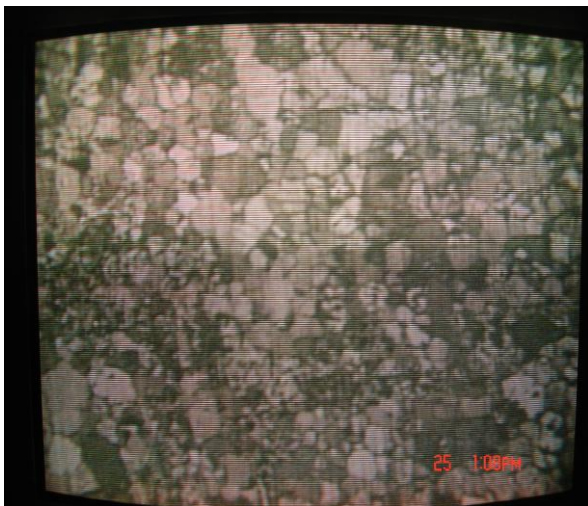
*Figura 15.* Muestra N.º 2 a visualizar en el esteroscopio

La figura 17 muestra la pieza 3 a visualizar en el esteroscopio.



*Figura 17.* Muestra N.º 3 a visualizar en el esteroscopio

La figura 16 muestra la pieza 2 visualizada en el esteroscopio



*Figura 16.* Muestra N.º 2 visualizada en el esteroscopio

La figura 18 muestra la pieza 3 visualizada en el esteroscopio



*Figura 18.* Muestra N.º 3 visualizada en el esteroscopio



La figura 19 muestra la pieza original (patrón) a visualizar en el esteroscopio.



*Figura 19.* Muestra la pieza original (patrón) a visualizar en el esteroscopio.

La figura 20 muestra la pieza original (patrón) visualizada en el esteroscopio



*Figura 20.* Muestra la pieza original (patrón) visualizada en el esteroscopio.

# Características del material abrasivo (arena de cuarzo)

Para conocer las características del material abrasivo que se utiliza en este tipo de pruebas, se realizaron varias pruebas; entre ellas la gravedad específica bruta, peso unitario y granulometría.

La arena de cuarzo que se utiliza para este tipo de pruebas es la -20+40.

## Gravedad específica bruta

La gravedad específica bruta presenta los siguientes resultados, que se muestran en el cuadro 9.

<b>CUADRO 9. Gravedad específica bruta arena de cuarzo</b>	
Ws	465,75 g
W arena sss	477,37 g
W pic + Agua a 22 ° C	675,35 g
W pic + Arena + Agua	955,2 g
Gravedad específica bruta	2,36

## Porcentaje de absorción

El porcentaje de absorción presenta los siguientes resultados, que se muestra en el cuadro 10.

<b>CUADRO 10. Porcentaje de absorción arena de cuarzo</b>	
Ws	465,75 g
W arena sss	477,37 g
W pic + Agua a 22 ° C	675,35 g
W pic + Arena + Agua	955,2 g
Porcentaje de absorción	2,49 %

## Peso Unitario

El peso unitario presenta los siguientes resultados, que se muestran en el cuadro 11.

<b>CUADRO 11. Peso unitario arena de cuarzo</b>	
Peso muestra + recipiente	6.406,00 g
Peso recipiente	2.631,00 g
Volumen recipiente	2.819,00 cm <sup>3</sup>
Peso Unitario	1,34 g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario	1.340,00 kg/m <sup>3</sup>

## Granulometría realizada arena de cuarzo

La granulometría presenta los siguientes resultados, que se ofrecen en el cuadro 12.

<b>CUADRO 12. Granulometría de arena de cuarzo</b>		
Tamiz	(%) pas	Especificaciones INTE 06-02-15-06
N.º 20 (850 µm)	56,30	100-100
N.º 30 (600 µm)	7,85	95-100
N.º 40 (425 µm)	0,72	50-60
N.º 50 (300 µm)	0,27	10- 20
N.º 70 (212 µm)	0,19	2- 10
Charola	0,04	0-4

## Granulometría realizada a la arena de cuarzo reciclada

La granulometría realizada a la arena de cuarzo reciclada presenta los siguientes resultados, que se muestran en el cuadro 13.

<b>CUADRO 13. Granulometría de arena de cuarzo reciclada</b>		
<b>Malla (N)</b>	<b>% pas</b>	<b>Especificaciones INTE 06-02-15-06</b>
N.º 20 (850 µm)	74.55	100-100
N.º 30 (600 µm)	14.18	95-100
N.º 40 (425 µm)	4.59	50-60
N.º 50 (300 µm)	2.51	10- 20
N.º 70 (212 µm)	1.00	2- 10
Charola	0.03	0-4

# Trazado del contorno de la huella de desgaste.

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 8x10x20 cm, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 14.

<b>CUADRO 14. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)
<b>Gris 8X10X20 cm</b>	1	22,27	22,29	0,02	acepta	22,27	19,60	22,67
	2	21,61	21,63	0,02	acepta	21,61	19,60	22,01
	3	22,69	22,76	0,07	acepta	22,69	19,60	23,09
	4	20,44	20,50	0,06	acepta	20,44	19,60	20,84
	5	23,05	23,04	0,01	acepta	23,05	19,60	23,45
	6	21,74	21,71	0,03	acepta	21,74	19,60	22,14
	7	22,21	22,19	0,02	acepta	22,21	19,60	22,61
	8	19,90	19,95	0,05	acepta	19,90	19,60	20,30
	9	20,70	20,68	0,02	acepta	20,70	19,60	21,10
	10	22,72	22,68	0,04	acepta	22,72	19,60	23,12
<b>Media</b>		<b>21,73</b>	<b>21,74</b>	<b>0,03</b>		<b>21,73</b>		<b>22,13</b>
<b>Moda</b>		-	-	<b>0,02</b>		-		-
<b>Desviación estándar</b>		<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	<b>0,02</b>		<b>1,07</b>		<b>1,07</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>19,90</b>	<b>19,95</b>	<b>0,01</b>		<b>19,90</b>		<b>20,30</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>23,05</b>	<b>23,04</b>	<b>0,07</b>		<b>23,05</b>		<b>23,45</b>
<b>Varianza</b>		<b>1,14</b>	<b>1,11</b>	<b>0,00</b>		<b>1,14</b>		<b>1,14</b>

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 8x10x20 cm, color amarillo, se presenta a continuación en el cuadro 15.

<b>CUADRO 15. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Amarillo 8X10X20 cm</b>	1	21,99	21,88	0,11	acepta	21,99	19,60	22,39
	2	20,22	20,15	0,07	acepta	20,22	19,60	20,62
	3	20,53	20,59	0,06	acepta	20,53	19,60	20,93
	4	19,60	19,55	0,05	acepta	19,60	19,60	20,00
	5	19,60	19,60	0,00	acepta	19,60	19,60	20,00
	6	19,83	19,60	0,23	acepta	19,83	19,60	20,23
	7	19,87	19,84	0,03	acepta	19,87	19,60	20,27
	8	22,42	22,39	0,03	acepta	22,42	19,60	22,82
	9	22,68	22,67	0,01	acepta	22,68	19,60	23,08
	10	22,26	22,17	0,09	acepta	22,26	19,60	22,66
<b>Media</b>		<b>20,90</b>	<b>20,84</b>	<b>0,07</b>		<b>20,90</b>		<b>21,30</b>
<b>Moda</b>		<b>19,60</b>	<b>19,60</b>	<b>0,03</b>		<b>19,60</b>		<b>20,00</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>1,28</b>	<b>1,29</b>	<b>0,07</b>		<b>1,28</b>		<b>1,28</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>19,60</b>	<b>19,55</b>	<b>0,00</b>		<b>19,60</b>		<b>20,00</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,68</b>	<b>22,67</b>	<b>0,23</b>		<b>22,68</b>		<b>23,08</b>
<b>Varianza</b>		<b>1,63</b>	<b>1,65</b>	<b>0,00</b>		<b>1,63</b>		<b>1,63</b>

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 8x10x20 cm, color rojo, se presenta a continuación en el cuadro 16.

<b>CUADRO 16. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Rojo 8X10X20 cm</b>	1	21,68	21,56	0,12	acepta	21,68	19,60	22,08
	2	20,09	19,95	0,14	acepta	20,09	19,60	20,49
	3	21,36	21,42	0,06	acepta	21,36	19,60	21,76
	4	21,33	21,35	0,02	acepta	21,33	19,60	21,73
	5	20,19	20,10	0,09	acepta	20,19	19,60	20,59
	6	22,48	22,46	0,02	acepta	22,48	19,60	22,88
	7	21,40	21,42	0,02	acepta	21,40	19,60	21,80
	8	20,67	20,67	0,00	acepta	20,67	19,60	21,07
	9	19,60	19,68	0,08	acepta	19,60	19,60	20,00
	10	21,30	21,37	0,07	acepta	21,30	19,60	21,70
<b>Media</b>		<b>21,01</b>	<b>21,00</b>	<b>0,06</b>		<b>21,01</b>		<b>21,41</b>
<b>Moda</b>		-	<b>21,42</b>	<b>0,02</b>		-		-
<b>Desviación estándar</b>		<b>0,86</b>	<b>0,87</b>	<b>0,05</b>		<b>0,86</b>		<b>0,86</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>19,60</b>	<b>19,68</b>	<b>0,00</b>		<b>19,60</b>		<b>20,00</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,48</b>	<b>22,46</b>	<b>0,14</b>		<b>22,48</b>		<b>22,88</b>
<b>Varianza</b>		<b>0,74</b>	<b>0,76</b>	<b>0,00</b>		<b>0,74</b>		<b>0,74</b>

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 6x10x20 cm, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 17.

<b>CUADRO 17. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Gris 6X10X20 cm</b>	1	22,17	22,17	0,00	acepta	22,17	19,60	22,57
	2	20,54	20,54	0,00	acepta	20,54	19,60	20,94
	3	21,31	21,28	0,03	acepta	21,31	19,60	21,71
	4	19,73	19,72	0,01	acepta	19,73	19,60	20,13
	5	19,61	19,70	0,09	acepta	19,61	19,60	20,01
	6	19,47	19,47	0,00	acepta	19,47	19,60	19,87
	7	19,03	19,03	0,00	acepta	19,03	19,60	19,43
	8	19,25	19,24	0,01	acepta	19,25	19,60	19,65
	9	20,28	20,29	0,01	acepta	20,28	19,60	20,68
	10	21,75	21,75	0,00	acepta	21,75	19,60	22,15
<b>Media</b>		<b>20,31</b>	<b>20,32</b>	<b>0,01</b>		<b>20,31</b>		<b>20,71</b>
<b>Moda</b>		-	-	<b>0,00</b>		-		-
<b>Desviación estándar</b>		<b>1,10</b>	<b>1,09</b>	<b>0,03</b>		<b>1,10</b>		<b>1,10</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>19,03</b>	<b>19,03</b>	<b>0,00</b>		<b>19,03</b>		<b>19,43</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,17</b>	<b>22,17</b>	<b>0,09</b>		<b>22,17</b>		<b>22,57</b>
<b>Varianza</b>		<b>1,21</b>	<b>1,19</b>	<b>0,00</b>		<b>1,21</b>		<b>1,21</b>

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 6x10x20 cm, color amarillo, se presenta a continuación en el cuadro 18.

<b>CUADRO 18. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Amarillo 6X10X20 cm</b>	1	22,12	22,12	0,00	acepta	22,12	19,60	22,52
	2	21,40	21,48	0,08	acepta	21,40	19,60	21,80
	3	20,74	20,81	0,07	acepta	20,74	19,60	21,14
	4	19,26	19,26	0,00	acepta	19,26	19,60	19,66
	5	21,69	21,79	0,10	acepta	21,69	19,60	22,09
	6	20,75	20,71	0,04	acepta	20,75	19,60	21,15
	7	19,71	19,81	0,10	acepta	19,71	19,60	20,11
	8	19,48	19,48	0,00	acepta	19,48	19,60	19,88
	9	20,87	20,89	0,02	acepta	20,87	19,60	21,27
	10	21,02	20,95	0,07	acepta	21,02	19,60	21,42
<b>Media</b>		<b>20,70</b>	<b>20,73</b>	<b>0,05</b>		<b>20,70</b>		<b>21,10</b>
<b>Moda</b>		-	-	<b>0,00</b>		-		-
<b>Desviación estándar</b>		<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,04</b>		<b>0,95</b>		<b>0,95</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>19,26</b>	<b>19,26</b>	<b>0,00</b>		<b>19,26</b>		<b>19,66</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,12</b>	<b>22,12</b>	<b>0,10</b>		<b>22,12</b>		<b>22,52</b>
<b>Varianza</b>		<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	<b>0,00</b>		<b>0,91</b>		<b>0,91</b>



El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 6x10x20 cm, color rojo, se presenta a continuación en el cuadro 19.

<b>CUADRO 19. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Rojo 6X10X20 cm</b>	1	20,33	20,38	0,05	acepta	20,33	19,60	20,73
	2	20,04	20,09	0,05	acepta	20,04	19,60	20,44
	3	19,55	19,53	0,02	acepta	19,55	19,60	19,95
	4	21,64	21,66	0,02	acepta	21,64	19,60	22,04
	5	20,78	20,76	0,02	acepta	20,78	19,60	21,18
	6	22,00	22,00	0,00	acepta	22,00	19,60	22,40
	7	20,77	20,74	0,03	acepta	20,77	19,60	21,17
	8	20,56	20,51	0,05	acepta	20,56	19,60	20,96
	9	21,81	21,89	0,08	acepta	21,81	19,60	22,21
	10	21,21	21,21	0,00	acepta	21,21	19,60	21,61
<b>Media</b>		20,87	20,88	0,03		20,87		21,27
<b>Moda</b>		-	-	0,02		-		-
<b>Desviación estándar</b>		0,80	0,81	0,03		0,80		0,80
<b>Valor Mínimo</b>		19,55	19,53	0,00		19,55		19,95
<b>Valor Máximo</b>		22,00	22,00	0,08		22,00		22,40
<b>Varianza</b>		0,63	0,65	0,00		0,63		0,63

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines con medida 20x20 cm, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 20.

<b>CUADRO 20. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Cuadrado Gris 20X20 cm</b>	1	22,57	22,67	0,10	acepta	22,57	19,60	22,97
	2	22,27	22,27	0,00	acepta	22,27	19,60	22,67
	3	21,61	21,58	0,03	acepta	21,61	19,60	22,01
	4	20,65	20,65	0,00	acepta	20,65	19,60	21,05
	5	20,65	20,63	0,02	acepta	20,65	19,60	21,05
	6	20,28	20,27	0,01	acepta	20,28	19,60	20,68
	7	22,57	22,55	0,02	acepta	22,57	19,60	22,97
	8	20,26	20,25	0,01	acepta	20,26	19,60	20,66
	9	21,58	21,58	0,00	acepta	21,58	19,60	21,98
	10	22,36	22,27	0,09	acepta	22,36	19,60	22,76
<b>Media</b>		<b>21,48</b>	<b>21,47</b>	<b>0,03</b>		<b>21,48</b>		<b>21,88</b>
<b>Moda</b>		<b>22,57</b>	<b>22,27</b>	<b>0,00</b>		<b>22,57</b>		<b>22,97</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,04</b>		<b>0,95</b>		<b>0,95</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>20,26</b>	<b>20,25</b>	<b>0,00</b>		<b>20,26</b>		<b>20,66</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,57</b>	<b>22,67</b>	<b>0,10</b>		<b>22,57</b>		<b>22,97</b>
<b>Varianza</b>		<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	<b>0,00</b>		<b>0,90</b>		<b>0,90</b>

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines Santa Cruz, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 21.

<b>CUADRO 21. Resumen de longitud resultante de huella</b>								
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>								
	Número de ensayos	Longitud de desgaste (AB) (mm)	Ancho de la huella (mm)	Diferencia AB y ancho de huella (mm)	Acepta o rechaza huella	Longitud de huella medida (mm)	Valor de calibración (mm)	Longitud huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$
<b>Santa Cruz Gris</b>	1	22,87	22,85	0,02	acepta	22,87	19,60	23,27
	2	21,82	21,59	0,23	acepta	21,82	19,60	22,22
	3	20,23	20,02	0,21	acepta	20,23	19,60	20,63
	4	20,51	20,26	0,25	acepta	20,51	19,60	20,91
	5	19,73	19,66	0,07	acepta	19,73	19,60	20,13
	6	20,02	20,18	0,16	acepta	20,02	19,60	20,42
	7	20,70	20,70	0,00	acepta	20,70	19,60	21,10
	8	19,60	19,62	0,02	acepta	19,60	19,60	20,00
	9	20,30	20,29	0,01	acepta	20,30	19,60	20,70
	10	18,96	18,69	0,27	acepta	18,96	19,60	19,36
<b>Media</b>		<b>20,47</b>	<b>20,39</b>	<b>0,12</b>		<b>20,47</b>		<b>20,87</b>
<b>Moda</b>		-	-	<b>0,02</b>		-		-
<b>Desviación estándar</b>		<b>1,13</b>	<b>1,15</b>	<b>0,11</b>		<b>1,13</b>		<b>1,13</b>
<b>Valor Mínimo</b>		<b>18,96</b>	<b>18,69</b>	<b>0,00</b>		<b>18,96</b>		<b>19,36</b>
<b>Valor Máximo</b>		<b>22,87</b>	<b>22,85</b>	<b>0,27</b>		<b>22,87</b>		<b>23,27</b>
<b>Varianza</b>		<b>1,28</b>	<b>1,31</b>	<b>0,01</b>		<b>1,28</b>		<b>1,28</b>

# Comparación de los resultados en el laboratorio del CIVCO y los aplicados por la Empresa Holcim.

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines 8x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, se presenta a continuación en el cuadro 22.

<b>CUADRO 22. Resumen de longitud resultante de huella</b>						
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>						
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 8x10x20 cm color gris</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	22,13	-	1,06742	20,30	23,45	1,13938
Datos Holcim (mm)	22,02	22,66	0,89023	18,50	26,55	0,79251
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 8x10x20 cm color amarillo</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	21,30	20,00	1,27809	20,00	23,08	1,63351
Datos Holcim (mm)	22,25	-	0,66630	21,36	22,91	0,44396
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 8x10x20 cm color rojo</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	21,41	-	0,86239	20,00	22,88	0,74371
Datos Holcim (mm)	22,088	21,3	0,54837	21,3	22,74	0,30071

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines Santa Cruz, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 23.

<b>CUADRO 23. Resumen de longitud resultante de huella</b>						
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>						
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 6x10x20 color gris</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	20,71	-	1,09954	19,43	22,57	1,20898
Datos Holcim (mm)	21,94	22,33	1,00418	17,79	24,00	1,00838
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 6x10x20 color amarillo</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	21,104	-	0,95241	19,66	22,52	0,90709
Datos Holcim (mm)	21,94	22,33	1,00418	17,79	24,00	1,00838
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines medida 6x10x20 color rojo</b>						
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	21,27	-	0,79625	19,95	22,40	0,63401
Datos Holcim (mm)	21,74	22,55	1,0005	19,65	23,00	1,00092

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines Santa Cruz, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 24.

<b>CUADRO 24. Resumen de longitud resultante de huella</b>						
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>						
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines cuadrado 20x20 color gris</b>						
Longitud de huella resultante $I_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	21,88	22,97	0,95	20,66	22,97	0,90087
Datos Holcim (mm)	22,90	22,90	0,006	22,90	22,91	0,000033

El resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines Santa Cruz, color gris, se presenta a continuación en el cuadro 25.

<b>CUADRO 25. Resumen de longitud resultante de huella</b>						
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>						
	<b>Media</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Adoquines Santa Cruz color gris</b>						
Longitud de huella resultante $I_r = AB + (20,0 - V_c)$ (mm)	20,87	-	1,13	19,36	23,27	1,27894
Datos Holcim (mm)	21,99	21,99	0,86	20,44	22,98	0,73501

Instructivo técnico para determinar la resistencia a la abrasión de materiales de pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho. INTE 06-02-15-06.

Registro técnico para determinar la resistencia a la abrasión de materiales de pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho. INTE 06-02-15-06.



# Análisis de los resultados

## Calibración de la máquina

En el proyecto desarrollado, se trabajó en dos áreas: la parte de calibración y verificación de los ajustes de la máquina y la otra parte de las pruebas que se realizaron tanto a los especímenes de muestra como a la arena de cuarzo y al material de referencia.

Con respecto a la calibración de la máquina presentó mayor dificultad el hecho de conseguir donde arreglar el material de referencia, debido a que no en todas las marmolerías la podían arreglar.

Una vez ajustado el flujo del material abrasivo y arreglado el material de referencia, se colocó en la máquina para realizarle la huella, con el valor de calibración que debía estar entre  $20 \pm 0,5$  mm. En el caso de la máquina del laboratorio del CIVCO, este valor dio 19,60 mm, con lo cual está dentro del rango indicado por la norma INTE 06-02-15-06.

## Material de referencia (bloque de mármol)

A las tres muestras diferentes de mármol y la pieza original, se le realizaron pruebas como volumen, peso unitario, densidad en estado seco. Luego se colocaron las piezas en un esteroscopio, para una selección visual de una pieza que pudiera cumplir con las características que se indican en la norma INTE 06-02-15-06.

En el cuadro 7: Densidad en estado seco piezas de mármol y el cuadro 8: Porcentaje de absorción de las piezas, se puede observar que la pieza que más se asemeja a la pieza original es la pieza número tres, puesto que esta presenta una densidad en estado seco de  $2.650,31 \text{ kg/m}^3$  y lo que indica la norma es de  $2.600,00 \text{ kg/m}^3$ . El porcentaje de absorción da un valor de 0,12 % y el que da la pieza original es de 0,11 %.

Revisando la figura 18 y la figura 20, se puede observar que la pieza número tres visualmente tiene los cristales más parecidos a los de la pieza original o pieza Colombiana.

## Arena de cuarzo (arena sílice)

La arena de cuarzo adquirida en Coris de Cartago recibió varias pruebas como gravedad específica bruta, porcentaje de absorción y granulometría. Dicha granulometría se tuvo que comparar con la que indica la norma INTE 06-02-15-06.

En el cuadro 9 Gravedad específica bruta arena de cuarzo se puede observar que la gravedad da un valor de 2,36, lo cual nos indica que la arena está dentro del rango que se considera como arena normal puesto que el intervalo está entre 1,5 – 3.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Araya Rodríguez Mauricio, Control de calidad en concretos y morteros, pág. 54.

En el cuadro 10 Porcentaje de absorción arena de cuarzo, esta dio un valor de 2,49 % igualmente indica que este dato se sitúa dentro del rango considerado como arena normal. Dicho intervalo está entre 1 – 4.<sup>3</sup>

En el cuadro 11: Peso unitario arena de cuarzo, el valor de dicho peso es de 1340 kg/cm<sup>3</sup>, lo cual indica que este dato considera a esta arena como normal. Dicho rango en estado seco está entre 1100 – 1400 kg/cm<sup>3</sup>.<sup>4</sup>

En el cuadro 12: Granulometría arena de cuarzo, se puede observar que esta no cumple con la que se indica en la norma INTE 06-02-15-06, lo cual indica que la arena que se utiliza para este tipo de pruebas es gruesa. Se observa que gran parte del material se retiene en el tamiz N.º 20, donde por este tamiz corresponde pasar todo el material. Se recomienda ajustar el flujo con el material abrasivo que se consigue en nuestro país y colocarle todo el peso al sistema para que se produzca la huella deseada en el material de referencia y en el espécimen de ensayo.

En el cuadro 13: Granulometría arena de cuarzo reciclada (arena sílice), se puede observar que el material abrasivo pasando el tamiz N.º 20 y N.º 30 es de 74,55 y 14,18 % respectivamente, con lo cual se indica que el material abrasivo se trituro al pasar por la cara lateral del disco metálico y el espécimen de ensayo. Sin embargo este material no se puede utilizar porque la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines se calibro con las condiciones de la arena de cuarzo sin utilizar. Si se desea reutilizar este material, se debe ajustar el flujo de máquina con las características que presenta este material abrasivo para que se produzca una longitud de huella menor a 23 mm.

---

<sup>3</sup> Araya Rodríguez Mauricio, Control de calidad en concretos y morteros, pág. 54.

<sup>4</sup> Araya Rodríguez Mauricio, Control de calidad en concretos y morteros, pág. 54.

## Comparación de resultados del laboratorio del CIVCO con resultados de la Empresa Holcim

Se llevó a cabo una comparación de la longitud resultante de desgaste de la huella en el laboratorio de CIVCO con la lectura ejecutada en el laboratorio de Holcim.

La huella se registra en el centro de la pieza, en el caso de los que miden 8x10x20 cm y 6x10x20 cm se les debe colocar unas placas para que dicha huella se produjera en el centro del adoquín.

La máquina registra el tamaño de la huella de largo 65 mm y de ancho 20 mm aproximadamente

La longitud de desgaste de la huella varía con respecto a la cantidad de agregados que se encuentren en la pieza, en vista de que si la huella presenta agregados de mayor tamaño se va a presentar una huella de menor medida.

Las muestras se separaron por tamaño (8x10x20 cm, 6x10x20 cm, cuadrado 20x20 cm y Santa Cruz) y por color (gris, amarillo y rojo); para el análisis de comparación se utilizaron cálculos estadísticos, entre los que están la media, moda, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y varianza.

En el cuadro 14: Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 8x10x20 cm color gris y en el cuadro 22: Resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines 8x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, el valor de la media de las huellas en el laboratorio del CIVCO fue de 22,13 mm. En los datos aplicados por Holcim durante los primeros 10 meses del año 2009 la media fue de 22,09 mm. Como se puede mostrar, la diferencia es 0,11 mm entre ambas medidas, lo que la hace despreciable, puesto que el valor se encuentra dentro del rango que indica la norma INTE 06-02-15-06.

La diferencia entre valores mínimos y máximos se encuentra entre 1,8 y 3,1 mm; esta diferencia no es determinante por cuanto en el laboratorio del CIVCO se produjeron únicamente 10 muestras, mientras que los datos de obtenidos por Holcim contiene 279 huellas.

Esta diferencia se debe a que se tomaron muestras de de varios lotes de producción a lo largo del año 2009, lo que ocasionó una mayor variedad en los resultados, pero al ser la desviación estándar pequeña (0,17mm), indica que la diferencia entre los valores de las pruebas no es significativo; por lo tanto, están dentro del rango permitido.

En el cuadro 15: Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 8x10x20 cm color amarillo y en el cuadro 22: Resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines 8x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, el valor de la media de las huellas obtenidas en el laboratorio del CIVCO fue de 21,30 mm. En los datos de Holcim la media fue de 22,25 mm; como se puede mostrar la diferencia entre ambas medidas es 0,95 mm. Por tratarse de una diferencia pequeña se indica que la media está dentro del rango de la norma (INTE 06-02-15-06).

En el laboratorio del CIVCO se realizaron 10 muestras, mientras que los datos presentados por Holcim fueron de 4 medidas; la desviación estándar y la varianza que se obtengan de estos resultados no son representativos para este tipo de pruebas, lo cual se debe a que el color amarillo tiene poca demanda en el mercado.

En el cuadro 16. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 8x10x20 cm color rojo y en el cuadro 22: Resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines 8x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, el valor de la media da las huellas en el laboratorio del CIVCO fue 21,41 mm. En los datos logrados por Holcim la media fue de 22,09 mm; como se percibe la diferencia es de 0,68 mm entre ambas medidas, lo que indica que esta es despreciable puesto que se encuentra dentro del rango permitido por la norma (INTE 06-02-15-06).

En el laboratorio del CIVCO se realizaron 10 muestras; la empresa Holcim registró a lo largo del año 2009, 8 huellas para este tipo de adoquines; la diferencia entre las desviaciones estándar calculadas para cada grupo de datos es de 0,31 mm; al ser el error presentado tan pequeño no influye en el resultado de la prueba; por lo tanto se encuentran dentro del rango permitido.

En el cuadro 17. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 6x10x20 cm color gris y en el cuadro 23: Resumen de la longitud resultante del de la huella, para adoquines 6x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, el valor de la media de las huellas en el laboratorio del CIVCO fue de 20,71 mm; en los datos recopilados por Holcim la media fue de 21,94 mm, lo cual se debe a que se tomaron muestras de varios lotes de producción a lo largo del año 2009. Esto ocasionó una mayor variedad en los resultados; la diferencia es mayor a uno (1,23 mm), pero a pesar de esto los resultados se encuentran dentro del rango permitido por la norma (INTE 06-02-15-06), lo que al final la hace un valor no determinante como en los casos anteriores.

En el laboratorio del CIVCO se procedió a 10 muestras mientras que los datos de Holcim fueron de 252 huellas, lo cual se debe a que se tomaron muestras de varios lotes de producción durante los primeros 10 meses del año 2009; ello ocasionó mayor variedad de resultados, sin embargo se tiene una diferencia en las desviaciones estándar de 0,095 mm lo que nos indica que es pequeño el error ocasionado. Por lo tanto, las pruebas están dentro del rango permitido.

En el cuadro 18. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 6x10x20 cm color amarillo y en el cuadro 23: Resumen de la longitud resultante del de la huella, para adoquines 6x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, la diferencia de las medidas de las huellas aplicadas por ambos laboratorios fue de 0,84 mm, lo que la hace despreciable, puesto que el valor se encuentra dentro del rango que indica la norma (INTE 06-02-15-06).

En los datos proporcionados por la empresa Holcim se tuvieron solamente 2 medidas para este tipo de adoquines; por lo tanto la desviación estándar y la varianza, así como los valores máximos y mínimos que se obtengan de estos resultados no son representativos para este tipo de pruebas; por lo tanto no existe análisis comparativo al respecto. Esto se debe a que el adoquín de color amarillo, tiene poca demanda en el mercado, y por esto se producen muy pocos lotes a lo largo del año.

Pero para las muestras, en el laboratorio del CIVCO, es preciso destacar que la desviación estándar es de 0,95 mm, lo que implica que el margen de error de la máquina entre una medida y otra es tan pequeño que no afecta el resultado final.

En el cuadro 19. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines 6x10x20 cm color rojo y en el cuadro 23: Resumen de la longitud resultante del de la huella, para adoquines 6x10x20 cm, color gris, amarillo y rojo, el valor de la media de las huellas, en el laboratorio del CIVCO fue de 21,27 mm; en los datos de Holcim la media fue de 21,74 mm. Como se puede mostrar la diferencia fue de 0,47 mm entre ambas medidas, lo cual indica que es un valor dentro del rango que indica la norma INTE 06-02-15-06.

En el laboratorio del CIVCO se ejecutaron 10 muestras mientras que los datos de Holcim fueron de 20 medidas; la diferencia entre la desviación estándar es de 0,2045 mm, lo que indica que las pruebas están dentro del rango permitido.

En el cuadro 20. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines cuadrados 20x20 cm color gris y en el cuadro 24: Resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines cuadrados 20x20 cm color gris, el valor de la media de las huellas realizadas en el laboratorio del CIVCO fue de 21,88; en los datos considerados por Holcim, la media fue de 22,90 mm. Como se puede mostrar la diferencia de las medias es mayor a uno (1,02 mm), pero a pesar de esto, los resultados se encuentran dentro del rango permitido por la norma (INTE 06-02-15-06), lo cual se debe a que se tomaron muestras de varios lotes de producción a lo largo del año 2009; ello ocasionó una mayor variedad en los resultados.

En el laboratorio del CIVCO se realizaron 10 muestras mientras que los datos de Holcim tienen 3 medidas. La media, la desviación estándar y la varianza que se obtengan de estos resultados no son representativos para este tipo de pruebas, lo que se debe a que este tipo de adoquín tiene poca demanda en el mercado.

En el cuadro 21. Resumen de longitud resultante de desgaste de huella adoquines Santa Cruz color gris y en el cuadro 25: Resumen de la longitud resultante del desgaste de la huella, para adoquines Santa Cruz, color gris, el valor de la media de las huellas en el laboratorio del CIVCO fue de 20,87 mm. En los datos de Holcim la media fue de 21,92 mm; como se puede mostrar la diferencia es mayor a uno (1,12 mm), pero, a pesar de esto los resultados se encuentran dentro del rango permitido por la norma (INTE 06-02-15-06).

En el laboratorio del CIVCO se consideraron diez muestras mientras que los datos de Holcim tuvieron 7 medidas. Se trata de una diferencia pequeña, lo que indica que la medida está dentro del rango de la norma (INTE 06-02-15-06).

# Conclusiones

La máquina de resistencia a la abrasión de adoquines del laboratorio del CIVCO se encuentra lista para ejecutar pruebas a los diferentes tipos de adoquines. Se debe recalcar la necesidad de la asistencia de un técnico debidamente capacitado cuando se están realizando las pruebas.

Los adoquines de color amarillo presentan poca demanda en el mercado. La empresa Holcim, a lo largo del 2009, solo aplicó 4 huellas a los adoquines de 8x10x20 cm y 2 huellas a los adoquines de 6x10x20 cm; por tanto los datos que se generan no son representativos para este tipo de pruebas.

La longitud de desgaste de la huella muestra una variación con respecto a la cantidad de agregados que se presente en el espécimen de muestra en el lugar donde se realiza la huella; ello demuestra que si el espécimen de ensayo tiene agregados de mayor tamaño se va a generar una huella de menor longitud de desgaste.

Las empresas que fabrican adoquines y requieren de un color en especial utilizan un colorante en la mezcla, según los resultados obtenidos el pigmento añadido a la mezcla no alteran los resultados ya que los mismos se mantuvieron dentro del rango permitido.

La arena de cuarzo que se adquiere en nuestro país para este tipo de pruebas no cumple con la granulometría que se indica en la norma INTE 06-02-15-06. Se recomienda ajustar el flujo con el material abrasivo, para que se produzca la huella deseada tanto en el material de referencia como en el espécimen de ensayo.

La longitud de la huella tanto en el bloque de mármol como en el bloque de mármol depende del peso colocado al sistema, para el caso de la máquina del laboratorio se le debe colocar todo el peso.

Se presentó una limitante cuando se requirió ver los diámetros de las muestras de mármol en estudio, pues estos no se pudieron medir, por lo que la selección de la pieza se realizó visualmente.

Es preciso considerar que la máquina que se halla en el laboratorio del CIVCO, se debe calibrar cada 300 huellas o cada 6 meses, según lo que ocurra primero.

Sobre el material de referencia (bloque de mármol) se debe registrar una huella con una longitud de  $20 \pm 0,5$  mm, esta longitud de huella es el valor de calibración.

El instructivo técnico genera para el laboratorio del CIVCO una herramienta para realizar la prueba de resistencia a la abrasión de adoquines, donde se brinde una venta de servicio, ya que la misma no estaba funcionando.

El registro técnico es una manera simple y fácil para que el técnico del laboratorio del CIVCO a cargo de aplicar la prueba la realice de manera adecuada.

# Recomendaciones

Cuando se aplican las pruebas es necesario tomar en consideración que la máquina tenga el peso adecuado; en este caso se le debe colocar todo el contrapeso para que se produzca la huella deseada.

Conviene que la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines se maneje con mucho cuidado, debido a que el mínimo movimiento podría causar que el flujo del material abrasivo no sea constante, por lo que se tendría que verificar nuevamente el flujo del dicho material.

Cuando se procede a las pruebas es fundamental que el técnico utilice mascarillas y gafas de seguridad, debido a que el material abrasivo está compuesto de óxido de sílice lo cual es dañino para la salud.

Antes de realizar la prueba se requiere verificar que la tolva de almacenamiento contenga el material suficiente con el fin de cerciorarse de que la huella se registre en forma completa en el tiempo indicado. De lo contrario, esta última no queda bien trazada en el adoquín de concreto y habría que realizar la prueba nuevamente.

Se debe verificar que la válvula de regulación del flujo se corra hasta donde está indicado y al mismo instante encender el motor con el fin de evitar un desperdicio del material abrasivo.

Cada vez que se adquiera material abrasivo se deben aplicar las pruebas de gravedad específica bruta, peso unitario y granulometría con el fin de comparar las características de este, y cerciorarse de que se encuentre dentro de los rangos permitidos.

Es conveniente que solo un técnico realice las pruebas de resistencia a la abrasión de adoquines con el fin de que el valor de la prueba sea más real y tenga menos margen de error, de lo contrario por cada vez que el técnico la utilice se debe ajustar nuevamente el flujo del material abrasivo.

Se debe revisar la norma INTE 06-02-15-06, que está basada en una norma Colombiana a fin de adaptarla a la condiciones de nuestro país como el bloque de mármol y la arena de cuarzo.

El material de referencia (bloque de mármol) para futura realización de la pieza, se puede conseguir en la marmolería Guidi S.A, frente a subestación # 3 Cnfl, teléfono 2222-5524, San José, costa Rica.

El material abrasivo (arena de cuarzo), se puede conseguir en Grupo Vidriero Centroamericano, Coris de Cartago.

Es conveniente practicar un estudio microscópico o químico a las piezas de mármol de muestras a fin de obtener una caracterización completa y así poder escoger la pieza adecuada.

# Apéndices

## Apéndice 1

### Mediciones de volumen para tres tipos diferentes de muestras de piezas de mármol y la pieza original

<b>CUADRO 26. Datos obtenidos para el volumen de pieza 1</b>			
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>
<b>Mediciones (mm)</b>	18,97	70,88	74,11
	19,03	70,41	73,81
	18,94	70,24	73,89
	18,94	70,17	73,22
<b>Medida prom (mm)</b>	18,97	70,43	73,76
<b>Volumen</b>	<b>98537.24 mm<sup>3</sup></b>		

<b>CUADRO 29. Datos obtenidos para el volumen de pieza original</b>			
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>
<b>Mediciones (mm)</b>	18,81	100,68	200,70
	18,87	100,86	200,10
	18,81	100,62	200,02
	18,87	100,65	199,96
<b>Medida prom (mm)</b>	18,84	100,70	200,20
<b>Volumen</b>	<b>379816.98 mm<sup>3</sup></b>		

<b>CUADRO 27. Datos obtenidos para el volumen de pieza 2</b>			
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>
<b>Mediciones (mm)</b>	19,97	91,98	100,96
	20,54	91,95	100,74
	20,47	91,87	100,89
	19,88	92,05	100,59
<b>Medida prom (mm)</b>	20,22	91,96	100,80
<b>Volumen</b>	<b>187380.12 mm<sup>3</sup></b>		

<b>CUADRO 28. Datos obtenidos para el volumen de pieza 3</b>			
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>
<b>Mediciones (mm)</b>	18,57	83,36	140,89
	18,38	83,12	141,07
	18,46	82,76	141,10
	18,66	82,86	140,91
<b>Medida prom (mm)</b>	18,52	83,03	140,99
<b>Volumen</b>	<b>216764.05 mm<sup>3</sup></b>		



## Apéndice 2

Mediciones de longitud de la huella resultante para adoquines 8x10x20 cm, colores gris, amarillo y rojo

<b>CUADRO 30. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,27
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,29
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,29
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,27
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,67

<b>CUADRO 31. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	23,05
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	23,04
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	23,04
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	23,05
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	23,45

<b>CUADRO 32. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,69
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,76
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,76
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,69
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	23,09

<b>CUADRO 33. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,61
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,63
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,63
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	21,61
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,01

**CUADRO 34. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,44
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,50
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,50
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,06
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,44
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,84

**CUADRO 35. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,21
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,19
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,19
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	22,21
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,61

**CUADRO 36. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,74
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,71
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,71
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,74
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,14

**CUADRO 37. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,90
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,95
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,95
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,05
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	19,90
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,30

<b>CUADRO 38. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,70
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,68
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,68
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,70
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	21,10

<b>CUADRO 39. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,72
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,68
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,68
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,04
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,72
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	23,12

**CUADRO 40. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,22
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,15
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,15
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,22
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,62

**CUADRO 41. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,53
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,59
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,59
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,06
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,53
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,93

**CUADRO 42. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,99
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,88
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,88
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,11
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,99
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,39

**CUADRO 43. Longitud de la huella resultante  
adoquines 8x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,60
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	19,60
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,00

<b>CUADRO 44. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,87
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,84
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,84
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,87
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,27

<b>CUADRO 45. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,83
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,60
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,23
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	19,83
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,23

<b>CUADRO 46. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,68
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,67
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,67
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,68
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	23,08

<b>CUADRO 47. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,42
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,39
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,39
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	22,42
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,82

<b>CUADRO 48. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,26
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,17
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,17
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,09
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,26
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,66

<b>CUADRO 49. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,55
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,55
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,05
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	19,60
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,00

<b>CUADRO 50. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,68
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,56
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,56
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,12
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,68
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	22,08

<b>CUADRO 51. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,19
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,10
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,10
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,09
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,19
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	20,59

<b>CUADRO 52. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,36
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,42
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,42
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,06
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,36
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	21,76

<b>CUADRO 53. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,40
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,42
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,42
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	21,40
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	21,80

**CUADRO 54. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 rojo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,68
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,68
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,08
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,60
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	20,00

**CUADRO 55. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 rojo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,09
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,95
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,95
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,14
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,09
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	20,49

**CUADRO 56. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 rojo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,30
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,37
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,37
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,30
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	21,70

**CUADRO 57. Longitud de la huella resultante adochines 8x10x20 rojo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,33
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,35
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,35
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	21,33
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	21,73



<b>CUADRO 58. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,48
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,46
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,46
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,48
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,88

<b>CUADRO 59. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,67
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,67
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,67
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,67
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,07

## Apéndice 3

Mediciones de longitud de la huella resultante para adoquines 6x10x20 cm, colores gris, amarillo y rojo

<b>CUADRO 60. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,17
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,17
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,17
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,17
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,57

<b>CUADRO 61. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,54
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,54
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,54
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,54
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,94

<b>CUADRO 62. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,31
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,28
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,28
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,31
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,71

<b>CUADRO 63. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,73
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,72
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,72
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,73
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,13

**CUADRO 64. Longitud de la huella resultante adoqueines 6x10x20 cm, gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,61
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,70
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,70
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,09
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,61
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	20,01

**CUADRO 65. Longitud de la huella resultante adoqueines 6x10x20 cm, gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,47
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,47
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,47
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,47
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	19,87

**CUADRO 66. Longitud de la huella resultante adoqueines 6x10x20 cm, gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,03
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,03
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,03
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,03
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	19,43

**CUADRO 67. Longitud de la huella resultante adoqueines 6x10x20 cm, gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,25
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,24
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,24
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,25
Longitud de huella resultante $l_r = AB + (20,0 - V_c)$	19,65

<b>CUADRO 68. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,28
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,29
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,29
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,28
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,68

<b>CUADRO 69. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm, gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,75
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,75
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,75
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,75
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,15

**CUADRO 70. Longitud de la huella resultante  
adoquines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,12
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,12
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,12
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,12
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,52

**CUADRO 71. Longitud de la huella resultante  
adoquines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,26
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,26
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,26
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,26
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	19,66

**CUADRO 72. Longitud de la huella resultante  
adoquines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,74
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,81
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,81
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,74
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,14

**CUADRO 73. Longitud de la huella resultante  
adoquines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,40
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,48
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,48
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,08
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,40
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,80

**CUADRO 74. Longitud de la huella resultante adochines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,69
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,79
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,79
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,10
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,69
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,09

**CUADRO 75. Longitud de la huella resultante adochines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,48
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,48
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,48
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,48
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	19,88

**CUADRO 76. Longitud de la huella resultante adochines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,75
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,71
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,71
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,04
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,75
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,15

**CUADRO 77. Longitud de la huella resultante adochines 6x10x20 amarillo**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,02
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,95
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,95
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,02
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,42

<b>CUADRO 78. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,71
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,81
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,81
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,10
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,71
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)$	20,11

<b>CUADRO 79. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 amarillo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,87
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,89
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,89
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,87
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)$	21,27

<b>CUADRO 80. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,04
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,09
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,09
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,05
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,04
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,44

<b>CUADRO 81. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,21
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,21
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,21
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,21
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,61

<b>CUADRO 82. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,64
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,66
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,66
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,64
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,04

<b>CUADRO 83. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,56
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,51
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,51
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,05
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,56
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,96



<b>CUADRO 84. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,00
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,00
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,00
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,00
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,40

<b>CUADRO 85. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,77
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,74
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,74
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,77
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,17

<b>CUADRO 86. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,33
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,38
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,38
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,05
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,33
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,73

<b>CUADRO 87. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,81
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,89
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,89
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,08
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,81
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,21

<b>CUADRO 88. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,55
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,53
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,53
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,55
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	19,95

<b>CUADRO 89. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,78
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,76
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,76
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,78
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,18

## Apéndice 4

Mediciones de longitud de la huella resultante para adoquines 20x20 cm, color gris

<b>CUADRO 90. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,57
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,67
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,67
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,10
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,57
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,97

<b>CUADRO 91. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,61
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,58
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,58
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,03
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,61
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,01

<b>CUADRO 92. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,65
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,63
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,63
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,65
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,05

<b>CUADRO 93. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,26
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,25
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,25
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,26
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,66

Calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines, para su funcionamiento en el laboratorio del CIVCO. Según Norma Nacional

**CUADRO 94. Longitud de la huella resultante  
adoquines 20x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,57
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,55
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,55
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,57
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,97

**CUADRO 95. Longitud de la huella resultante  
adoquines 20x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,58
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,58
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,58
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,58
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,98

**CUADRO 96. Longitud de la huella resultante  
adoquines 20x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,28
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,27
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,27
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,28
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,68

**CUADRO 97. Longitud de la huella resultante  
adoquines 20x20 gris**

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,36
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,27
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,27
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,09
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,36
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,76

<b>CUADRO 98. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,27
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,27
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,27
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,27
Longitud de huella resultante $l_{f= AB+(20,0-V_c)}$	22,67

<b>CUADRO 99. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,65
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,65
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,65
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,65
Longitud de huella resultante $l_{f= AB+(20,0-V_c)}$	21,05

## Apéndice 5

Mediciones de longitud de la huella resultante para adoquines Santa Cruz, color gris

<b>CUADRO 100. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	22,87
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	22,85
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	22,85
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	22,87
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	23,27

<b>CUADRO 101. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,23
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,02
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,02
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,21
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,23
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,63

<b>CUADRO 102. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,73
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,66
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,66
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,07
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,73
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,13

<b>CUADRO 103. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,70
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,70
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,70
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,00
Acepta o rechaza la huella	Acepta
Longitud de la huella medida	20,70
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	21,10

Calibración de la máquina de resistencia a la abrasión de adoquines, para su funcionamiento en el laboratorio del CIVCO. Según Norma Nacional

<b>CUADRO 104. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,30
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,29
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,29
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,01
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,30
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,70

<b>CUADRO 105. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	21,82
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	21,59
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	21,59
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,23
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	21,82
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	22,22

<b>CUADRO 106. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,51
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,26
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,26
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,25
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,51
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,91

<b>CUADRO 107. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	20,02
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	20,18
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	20,18
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,16
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	20,02
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,42

<b>CUADRO 108. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	19,60
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	19,62
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	19,62
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,02
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	19,60
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	20,00

<b>CUADRO 109. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris</b>	
<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ADOQUINES</b>	
Valor de calibración	19,60
Longitud de desgaste de la huella (AB)	18,96
Ancho de la huella en los extremos (línea CD)	18,69
Ancho de la huella en los extremos (línea EF)	18,69
Diferencia medida AB y medida líneas CD y EF	0,27
Acepta o rechaza la huella	acepta
Longitud de la huella medida	18,96
Longitud de huella resultante $l_{r= AB+(20,0-V_c)}$	19,36



# Anexos

## Anexo 1

**Datos de longitud resultante de huella, suministrados por la empresa Holcim.**

**CUADRO 110. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 cm color gris**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>	<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
20,96	12-01-09	22,24	02-02-09
21,84	12-01-09	21,92	02-02-09
22,59	12-01-09	21,84	03-02-09
21,93	12-01-09	21,85	03-02-09
22,45	18-01-09	21,57	08-02-09
21,91	18-01-09	22,12	08-02-09
22,26	18-01-09	22,26	08-02-09
21,11	18-01-09	22,14	09-02-09
20,98	18-01-09	20,33	09-02-09
22,59	18-01-09	21,46	12-01-09
21,85	18-01-09	21,54	10-02-09
21,50	18-01-09	22,79	10-02-09
21,14	19-01-09	21,99	10-02-09
20,30	19-01-09	22,35	11-02-09
22,68	26-01-09	21,33	11-02-09
22,22	26-01-09	21,74	11-02-09
22,68	26-01-09	20,15	11-02-09
21,52	26-01-09	20,22	11-02-09
21,75	26-01-09	21,61	12-03-09
22,35	27-01-09	21,17	12-03-09
22,85	27-01-09	20,76	12-03-09
21,25	27-01-09	21,34	13-03-09
22,54	28-01-09	21,33	13-03-09
22,48	28-01-09	21,91	13-03-09
21,58	29-01-09	20,99	13-03-09
21,79	29-01-09	23,00	13-03-09
20,54	29-01-09	21,43	13-03-09
20,46	29-01-09	22,85	25-03-09
21,43	29-01-09	22,54	26-03-09
22,50	30-01-09	21,89	26-03-09
21,10	30-01-09	21,85	26-03-09
22,60	31-01-09	22,58	26-03-09

22,56	02-02-09	22,17	26-03-09
22,05	02-02-09	22,45	29-03-09
21,87	02-02-09	21,12	29-03-09
22,79	02-02-09	22,23	29-03-09
22,97	02-02-09	21,38	29-03-09
20,94	29-03-09	21,66	20-07-09
21,59	07-04-09	21,33	22-07-09
23,63	07-04-09	22,33	22-07-09
22,25	07-04-09	21,66	22-07-09
22,66	07-04-09	20,70	24-07-09
22,26	07-04-09	21,55	26-07-09
21,80	13-04-09	23,00	26-07-09
20,13	13-04-09	23,10	26-07-09
22,30	13-04-09	22,21	26-07-09
21,90	17-04-09	22,66	26-07-09
22,66	17-04-09	22,34	26-07-09
21,60	17-04-09	22,00	27-07-09
22,00	17-04-09	21,66	27-07-09
22,41	17-04-09	21,66	27-07-09
22,50	06-05-09	21,33	27-07-09
21,23	06-05-09	22,66	27-07-09
21,42	06-05-09	22,66	27-07-09
22,07	07-05-09	22,66	27-07-09
22,69	30-05-09	21,66	27-07-09
21,67	30-05-09	22,90	02-08-09
22,30	25-06-09	23,60	02-08-09
21,60	25-06-09	23,92	02-08-09
22,25	25-06-09	23,25	04-08-09
21,80	25-06-09	22,60	04-08-09
22,69	26-06-09	22,70	04-08-09
21,30	26-06-09	21,97	04-08-09
22,60	26-06-09	21,33	10-08-09
22,00	26-06-09	22,33	10-08-09
21,30	28-06-09	21,55	10-08-09
22,00	06-07-09	22,89	10-08-09
21,33	06-07-09	22,66	10-08-09
22,55	28-10-09	20,66	10-08-09
22,20	28-10-09	21,78	10-08-09
20,55	28-10-09	20,44	11-08-09

20,30	06-07-09	22,88	11-08-09
22,30	08-07-09	21,88	11-08-09
22,60	08-07-09	22,66	11-08-09
22,60	14-07-09	21,77	13-08-09
22,00	14-07-09	23,00	13-08-09
22,50	14-07-09	22,54	14-08-09
23,63	16-07-09	21,00	14-08-09
22,63	16-07-09	22,50	14-08-09
23,79	16-07-09	21,00	14-08-09
23,47	17-07-09	22,54	17-08-09
21,66	17-07-09	22,74	17-08-09
22,51	17-08-09	21,33	01-10-09
22,66	18-08-09	22,00	01-10-09
22,95	18-08-09	22,15	02-10-09
22,66	24-08-09	23,03	02-10-09
22,88	24-08-09	21,98	02-10-09
23,86	24-08-09	23,01	02-10-09
21,77	24-08-09	22,28	02-10-09
20,66	24-08-09	21,33	05-10-09
22,67	25-08-09	22,33	05-10-09
23,12	25-08-09	21,55	05-10-09
22,65	25-08-09	22,69	06-10-09
23,00	25-08-09	23,03	06-10-09
22,75	25-08-09	21,22	19-10-09
22,46	26-08-09	20,54	19-10-09
22,84	26-08-09	21,66	19-10-09
22,75	26-08-09	22,99	19-10-09
22,64	26-08-09	21,77	19-10-09
22,82	26-08-09	22,11	20-10-09
18,50	04-09-09	20,96	20-10-09
23,16	04-09-09	20,96	20-10-09
20,85	04-09-09	21,70	20-10-09
22,99	12-09-09	21,29	20-10-09
21,88	12-09-09	21,75	20-10-09
21,77	12-09-09	21,66	21-10-09
21,33	14-09-09	22,80	21-10-09
22,00	14-09-09	23,00	21-10-09
21,88	14-09-09	20,80	21-10-09
22,66	14-09-09	21,99	21-10-09

20,33	14-09-09	22,80	21-10-09
22,55	16-09-09	21,44	21-10-09
20,99	16-09-09	21,99	21-10-09
22,88	16-09-09	22,00	21-10-09
21,88	19-09-09	20,85	12-01-09
22,99	19-09-09	22,01	12-01-09
21,99	21-09-09	21,67	22-10-09
22,88	21-09-09	22,33	22-10-09
23,65	21-09-09	21,90	22-10-09
22,95	21-09-09	22,00	22-10-09
23,86	21-09-09	22,79	22-10-09
23,39	22-09-09	21,07	22-10-09
26,55	22-09-09	20,09	22-10-09
22,89	22-09-09	22,00	22-10-09
23,58	01-10-09	21,55	22-10-09
22,86	01-10-09	20,56	23-10-09
22,66	01-10-09	21,16	23-10-09
20,60	23-10-09	21,56	26-10-09
22,70	23-10-09	22,68	27-10-09
20,69	23-10-09	21,60	27-10-09
20,58	23-10-09	23,00	27-10-09
21,85	23-10-09	21,50	27-10-09
21,95	23-10-09	20,66	27-10-09
19,57	23-10-09	22,66	27-10-09
22,04	24-10-09	21,55	27-10-09
22,52	24-10-09	22,55	27-10-09
22,48	24-10-09	22,55	28-10-09
22,39	24-10-09	21,55	28-10-09
21,90	24-10-09		
19,13	26-10-09		
22,05	26-10-09		

**CUADRO 111. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 amarillo**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
22,16	28-01-09
21,36	28-01-09
22,56	25-03-09
22,91	25-03-09

**CUADRO 112. Longitud de la huella resultante adoquines 8x10x20 rojo**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
21,30	11-07-09
22,56	19-08-09
22,35	19-08-09
22,74	20-08-09
22,45	20-08-09
22,00	20-08-09
22,00	15-07-09
21,30	27-08-09

**CUADRO 113. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 cm gris**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>	<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
22,54	19-01-09	22,02	24-03-09
22,41	19-01-09	22,32	24-03-09
22,75	19-01-09	21,50	28-03-09
21,59	19-01-09	22,53	30-03-09
21,86	19-01-09	20,05	30-03-09
22,57	20-01-09	19,78	30-03-09
22,15	20-01-09	22,36	30-03-09
22,76	20-01-09	22,06	30-03-09
21,16	20-01-09	21,47	30-03-09
22,12	20-01-09	21,63	30-03-09
21,85	20-01-09	21,09	30-03-09
21,43	20-01-09	21,67	31-03-09
22,87	20-01-09	22,05	31-03-09
20,45	20-01-09	21,08	31-03-09
21,41	12-02-09	20,49	31-03-09
22,03	12-02-09	21,59	31-03-09
21,77	12-02-09	21,64	31-03-09
23,60	12-02-09	22,01	01-04-09
22,63	12-02-09	21,46	01-04-09
21,14	26-02-09	22,23	01-04-09
22,42	26-02-09	23,03	06-04-09
21,43	07-03-09	22,98	06-04-09
22,67	07-03-09	22,74	06-04-09
21,13	07-03-09	22,42	08-04-09
21,83	07-03-09	21,85	08-04-09
21,64	07-03-09	22,72	08-04-09
20,80	08-03-09	22,94	08-04-09
21,38	08-03-09	22,13	08-04-09
21,52	11-03-09	22,86	08-04-09
21,68	11-03-09	23,84	09-04-09
22,33	13-03-09	22,75	09-04-09
21,55	13-03-09	22,33	09-04-09
22,99	13-03-09	20,00	09-04-09

22,99	13-03-09	20,00	09-04-09
22,70	22-03-09	22,68	09-04-09
22,30	22-03-09	21,95	18-04-09
22,11	22-03-09	22,49	18-04-09
22,60	23-03-09	24,00	18-04-09
21,60	23-03-09	23,10	18-04-09
22,32	23-03-09	21,10	01-05-09
21,44	24-03-09	22,35	01-05-09
22,90	01-05-09	21,99	10-06-09
22,59	03-05-09	22,55	10-06-09
23,10	03-05-09	22,89	11-06-09
21,67	05-05-09	22,24	11-06-09
21,72	05-05-09	20,10	02-07-09
22,25	05-05-09	22,99	02-07-09
20,36	05-05-09	23,70	02-07-09
20,44	05-05-09	22,60	02-07-09
21,75	05-05-09	21,73	03-07-09
22,57	18-05-09	22,98	03-07-09
21,51	18-05-09	23,60	03-07-09
22,56	18-05-09	23,54	09-07-09
22,10	19-05-09	22,32	09-07-09
23,07	19-05-09	23,06	09-07-09
22,37	19-05-09	21,66	17-07-09
22,87	19-05-09	22,99	17-07-09
22,62	19-05-09	20,66	20-07-09
22,57	19-05-09	21,00	20-07-09
19,16	20-05-09	21,99	22-07-09
20,02	20-05-09	19,85	22-07-09
22,53	20-05-09	21,88	23-07-09
22,96	20-05-09	22,00	23-07-09
21,94	21-05-09	21,33	23-07-09
22,30	22-05-09	21,66	23-07-09
21,81	24-05-09	23,00	23-07-09
22,55	24-05-09	21,66	23-07-09
22,59	24-05-09	21,88	23-07-09
22,09	24-05-09	22,33	23-07-09
22,11	24-05-09	22,10	24-07-09
22,62	24-05-09	21,22	24-07-09
22,16	24-05-09	21,60	24-07-09



22,05	24-05-09	20,35	07-08-09
22,38	01-06-09	22,65	07-08-09
22,84	01-06-09	20,00	07-08-09
23,29	01-06-09	21,05	07-08-09
21,98	01-06-09	22,37	07-08-09
23,05	01-06-09	23,00	07-08-09
22,33	02-06-09	21,69	07-08-09
21,62	09-06-09	22,65	07-08-09
22,34	09-06-09	21,75	07-08-09
22,45	09-06-09	21,22	27-08-09
20,85	09-06-09	22,30	27-08-09
21,53	09-06-09	22,66	27-08-09
21,56	10-06-09	21,49	28-08-09
20,43	28-08-09	23,74	24-09-09
20,24	28-08-09	23,26	24-09-09
20,62	28-08-09	22,81	24-09-09
19,80	28-08-09	22,81	28-09-09
18,20	29-08-09	23,22	28-09-09
19,40	29-08-09	22,65	29-09-09
17,79	31-08-09	22,45	29-09-09
20,44	31-08-09	22,26	29-09-09
20,21	31-08-09	23,01	29-09-09
22,66	01-09-09	22,64	29-09-09
19,30	01-09-09	22,35	30-09-09
21,66	01-09-09	22,65	30-09-09
21,99	01-09-09	22,64	30-09-09
22,80	01-09-09	22,25	07-10-09
20,73	02-09-09	20,69	07-10-09
20,45	02-09-09	20,95	07-10-09
20,54	02-09-09	22,08	07-10-09
21,86	02-09-09	23,45	07-10-09
2,21	02-09-09	22,62	09-10-09
22,84	02-09-09	22,70	09-10-09
21,66	03-09-09	22,33	09-10-09
22,55	03-09-09	23,33	23-09-09
21,50	03-09-09	23,84	23-09-09
20,03	03-09-09	22,25	23-09-09
22,10	03-09-09	19,63	29-10-09
22,11	10-09-09	19,66	29-10-09

22,66	10-09-09	21,31	29-10-09
22,89	10-09-09	22,38	29-10-09
22,12	10-09-09	21,34	29-10-09
22,06	10-09-09	22,09	29-10-09
21,33	11-09-09	21,47	29-10-09
22,66	11-09-09	20,66	29-10-09
22,55	11-09-09	21,77	29-10-09
22,55	11-09-09	21,92	29-10-09
21,99	11-09-09	21,56	29-10-09
22,66	11-09-09	21,60	30-10-09
21,66	17-09-09	22,33	30-10-09
19,90	17-09-09	20,69	30-10-09
22,00	17-09-09	21,75	30-10-09
23,36	23-09-09	22,69	30-10-09
22,94	23-09-09	22,21	30-10-09
23,94	23-09-09	20,75	30-10-09

**CUADRO 114. Longitud de la  
huella resultante adoquines  
6x10x20 amarillo**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
22,15	08-03-09
21,45	08-03-09

**CUADRO 115. Longitud de la huella resultante adoquines 6x10x20 rojo**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
20,30	29-08-09
21,00	17-09-09
22,55	17-09-09
20,99	17-09-09
22,69	05-08-09
22,94	05-08-09
22,05	05-08-09
23,00	05-08-09
22,55	06-08-09
21,33	06-08-09
22,55	06-08-09
22,70	06-08-09
22,40	06-08-09
22,00	11-06-09
21,59	03-02-09
22,16	11-02-09
21,46	08-03-09
19,65	08-03-09
20,96	24-03-09
20,01	24-03-09

**CUADRO 116. Longitud de la huella resultante adoquines Santa Cruz gris**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
22,94	10-02-09
21,99	10-02-09
20,44	08-03-09
21,99	08-03-09
21,64	08-03-09
21,94	09-03-09
22,98	09-03-09

**CUADRO 117. Longitud de la huella resultante adoquines 20x20 gris**

<b>Longitud resultante</b>	<b>Fecha lectura</b>
22,90	01-06-09
22,90	17-06-09
22,91	17-06-09

## **Anexo 2**

**Norma INTE 06-02-15-06.**

### **Anexo 3**

#### **Normas ASTM como:**

**ASTM C 29 / C 29 M – 97**

**ASTM C 128 – 04**

**ASTM C 136 – 05**

**ASTM C 140 – 03**

**ASTM C 702 - 98**

**Anexo 4**  
**Hoja de seguridad de arena de cuarzo:**

# Referencias

American Society Testing and Materials, 2003. **ASTM C 29/ C 29 M – 97, STANDARD TEST METHOD FOR BULK (UNIT WEIGHT) AND VOIDS IN AGGREGATE.** American Society for Testing and Materials Annual Book of ASTM Standards, ASTM, EUA.

American Society Testing and Materials, 2003. **ASTM C 128 – 04, TEST METHOD FOR DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE.** American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, EUA.

American Society Testing and Materials, 2003. **ASTM C 136 – 05, TEST METHOD FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATE.** American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, EUA.

American Society Testing and Materials, 2003. **ASTM C 140 – 03, STANDARD TEST METHODS FOR SAMPLING AND TESTING CONCRETE MASONRY UNITS AND RELATED UNITS.** American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, EUA.

American Society Testing and Materials, 2003. **ASTM C 702 – 98, PRACTICE FOR REDUCING SAMPLES OF AGGREGATE TO TESTING SIZE.** American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, EUA.

Araya R, M 2006. **CONTROL DE CALIDAD EN CONCRETOS Y MORTEROS.** Cartago, ITCR

Araya R, M. 1998. **CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ESTRUCTURAL Y DEL MORTERO DE PEGA EN VIVENDAS.** Tesis Lic. Ing. Civil, Universidad de Costa Rica.

Instituto de normas técnicas de Costa Rica. 2006. **METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA ABRASION DE MATERIALES DE PISOS Y PAVIMENTOS, MEDIANTE ARENA Y DISME METALICO.** Inteco.

Gómez, M 2005. **ELEMENTOS DE ESTADISTICA DESCRIPTIVA.** Editorial EUNED.

Muñoz, U, F.M. 2005. **COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.** Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Neville, A.M. 1988. **TECNOLOGIA DEL CONCRETO.** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Editorial Limusa, México.

Paniagua, D. 2009. **CAPACITACION SOBRE AJUSTE DE LA MAQUINA DE REISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES.** Cartago, ITCR. Comunicación personal.

Pérez, R. 2009. **CAPACITACION SOBRE AJUSTE DE LA MAQUINA DE REISTENCIA A LA ABRASION DE ADOQUINES.** Cartago, ITCR. Comunicación personal.

