



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTROL DE CALIDAD DE HORMIGÓN CON EXTRACCIÓN DE
NÚCLEOS EN LAS VÍAS DE HORMIGÓN ARMADO CASO (VÍA
ENTRADA DE MACHALA)

ALARCON CEPEDA ANGEL EDUARDO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTROL DE CALIDAD DE HORMIGÓN CON EXTRACCIÓN DE
NÚCLEOS EN LAS VÍAS DE HORMIGÓN ARMADO CASO (VÍA
ENTRADA DE MACHALA)

ALARCON CEPEDA ANGEL EDUARDO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

CONTROL DE CALIDAD DE HORMIGÓN CON EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN
LAS VÍAS DE HORMIGÓN ARMADO CASO (VÍA ENTRADA DE MACHALA)

ALARCON CEPEDA ANGEL EDUARDO
INGENIERO CIVIL

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

MACHALA, 16 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
16 de febrero de 2022

TESIS

por Cepeda Alarcon

Fecha de entrega: 11-feb-2022 12:33p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1760168029

Nombre del archivo: ALARCON_CEPEDA.docx (312.91K)

Total de palabras: 3273

Total de caracteres: 16855

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 docplayer.es Fuente de Internet 1%

2 Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante 1%

3 [newsonjapan.com](https://www.newsonjapan.com) Fuente de Internet <1%

4 [worldwidescience.org](https://www.worldwidescience.org) Fuente de Internet <1%

5 www.latribunahispana.com Fuente de Internet <1%

6 www.drogascadiz.es Fuente de Internet <1%

7 D.S. Silva, E.G.P. Antunes. "Analysis of different interface treatments between masonry of AAC blocks and reinforced concrete structure after uniaxial compression strength test", *Materiales de Construcción*, 2021
Publicación <1%

8	alpha.mindefensa.gov.co Fuente de Internet	<1 %
9	www.monografias.com Fuente de Internet	<1 %
10	www.sciencegate.app Fuente de Internet	<1 %
11	C T Medrano, G Peña-Rodríguez, I H García-Páez. "Determination of correlation of compressive strength with maturity of concrete mixed with accelerator", Journal of Physics: Conference Series, 2019 Publicación	<1 %
12	tehnomaster.info Fuente de Internet	<1 %
13	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	www.studocu.com Fuente de Internet	<1 %
16	A. Magalhães, R. Veiga. "Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación", Materiales de Construcción, 2009 Publicación	<1 %

Excluir citas Apagado

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, ALARCON CEPEDA ANGEL EDUARDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CONTROL DE CALIDAD DE HORMIGÓN CON EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN LAS VÍAS DE HORMIGÓN ARMADO CASO (VÍA ENTRADA DE MACHALA), otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de febrero de 2022

Angel Alarcon Cepeda

ALARCON CEPEDA ANGEL EDUARDO
0705816510

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la fuerza y sabiduría para lograr mi objetivo más soñado indispensablemente por todo lo bueno y lo malo que me ha pasado en la vida, a mis amados padres Laura y Eduardo por creer en mí por ser el pilar fundamental y sustento para la culminación de mi carrera, a mis hermanos Angiely y Jennifer por brindarme su apoyo incondicional, a mi tutor Ing. Paul Cabrera quien ha sido una guía para el desarrollo de mi proyecto.

A mis compañeros Ángel Pacho, Senovia Sarango y Edwin Vasquez quienes estuvieron presentes dándome un gesto de apoyo sincero.

A la Facultad de Ingeniería Civil, sus docentes y servidores, especialmente al personal encargado del laboratorio de suelos quienes con sus conocimientos supieron guiarme para lograr una exitosa culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a mis padres, por la confianza que han tenido en mí y por su esfuerzo para que todo esto sea posible, a mi hermana Jennifer por creer en mí y apoyarme siempre.

A Dios por nunca desampararme y hacer que todo se realice a su voluntad y a mi persona por siempre levantarme después de cada tropiezo que he tenido.

RESUMEN

A través de los años, la ingeniería como ciencia ha ido evolucionando y adoptando ciertos principios que han mejorado considerablemente la aplicación de sus teorías y la ejecución de actividades vinculadas a esta.

En el ámbito de la ingeniería civil también se puede visualizar notables avances que se apegan no solo a la construcción de edificaciones sino también al mejoramiento de las condiciones en las vías de comunicación como puentes y/o carreteras, siendo esta última de quien se tratará en esta investigación.

Inicialmente las vías y caminos eran de tierra, pero a medida que pasaba el tiempo se fue volviendo tedioso su uso, por lo que se hizo necesario mejorar aquellas condiciones con el fin de tener mayor comodidad al usarlas para el traslado; en este ámbito empezó a lastrarse las vías y a colocar asfalto u hormigón, lo cual mejoró las notablemente.

El propósito de esta investigación es verificar las condiciones del hormigón de una vía dentro de la ciudad de Machala, utilizando una muestra de este concreto obtenida con un equipo de extracción de núcleos y posteriormente examinada en un laboratorio de suelos. Con los resultados del ensayo se evaluará si el material cumple con las especificaciones para las que se diseñó inicialmente y su grado de desgaste actual.

Esta evaluación es necesaria para realizar un control de calidad del hormigón y constatar si la vía se encuentra apta para el funcionamiento o si debe modificarse a fin de que cumpla con los requisitos impuestos.

Palabras claves: Hormigón rígido, control de calidad, vías, extracción de núcleos, ensayos de laboratorio.

ABSTRACT

Over the years, engineering as a science has been evolving and adopting certain principles that have further improved the application of its theories and the execution of activities related to it.

In the field of civil engineering, notable advances can also be seen that are attached not only to the construction of buildings but also to the improvement of conditions in communication routes such as bridges and/or highways, the latter being the one that will be discussed in this research.

Initially the roads and paths were made of dirt, but as time passed their use became tedious, so it became necessary to improve those conditions in order to have greater comfort when using them for transportation; In this area, the roads began to be ballasted and to lay asphalt or concrete, which significantly improved the roads.

The purpose of this research is to verify the conditions of the concrete of a road within the city of Machala, using a sample of this concrete obtained with a core extraction equipment and later examined in a soil laboratory. With the results of the test, it will be evaluated if the material meets the specifications for which it was initially started and its current degree of wear.

This evaluation is necessary to carry out a quality control of the concrete and to check if the road is fit for operation or if it must be modified in order to comply with the tax requirements.

Keywords: Rigid concrete, quality control, roads, core extraction, laboratory tests.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	1
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE CONTENIDO	9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	10
INTRODUCCIÓN	11
DESARROLLO	12
Fundamentación Teórica	12
Diseño de hormigones	12
Pavimento rígido	12
Extracción de núcleos de concreto	13
Ensayo de resistencia a la compresión	14
Ensayo de esclerometría	15
Metodología	16
Investigación bibliográfica	17
Análisis y síntesis	17
Caso práctico	17
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	17
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	18
Análisis de los resultados	19
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21
Anexo 1. Anexo A. Figura 2, Esquema de los modelos típicos de fractura (Norma NTE INEN 1573)	23
Anexo 2. Fotografías de la extracción de muestras para el ensayo de resistencia a la compresión	24
Anexo 3. Cálculos del ensayo de resistencia a compresión	25
Anexo 4. Ensayo de resistencia a la compresión	28
Anexo 5. Ensayo de esclerometría	32
Anexo 6. Líneas de tendencia y regresión lineal	34

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Materiales considerados en la dosificación del mortero.

Ilustración 2: Extracción de una muestra (núcleo de concreto).

Ilustración 3: Diámetros máximos de cara de contacto del equipo.

Ilustración 4: Tolerancia de tiempo esperada en el ensayo.

Ilustración 5: Factores de corrección de la relación L/D.

Ilustración 6: Uso del esclerómetro.

Ilustración 7: Georeferenciación de los puntos evaluados con el esclerómetro.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de edificaciones y vías a lo largo del tiempo es probablemente una de las acciones más importantes en el desarrollo de la sociedad; el diseño y la ejecución de obras viales tienen especial participación debido a que la existencia de nuevas vías facilitó el transporte de bienes, lo cual agilizaba el comercio y la comunicación de pueblos [1].

El material en las vías ha ido modificándose a medida que pasa el tiempo, la evolución de la sociedad y las necesidades que esta genera han provocado que obligatoriamente exista innovación en la forma de construir caminos, carreteras, puentes y demás así como en los materiales que se usan para este fin.

Actualmente se utilizan muchos materiales como alternativas para mejorar la composición de los hormigones utilizados en vías, esto se realiza a fin de garantizar mayor resistencia, minimizar el desgaste por efecto del tráfico y prolongar su vida útil [2].

El desgaste del pavimento de las vías suele ser el mayor problema que afecta su desempeño, por ello es común que se realicen inspecciones periódicas que lleven a la ejecución de estudios del material a fin de evaluar sus condiciones y determinar si cumple satisfactoriamente con los requerimientos para los que fue construida.

Según menciona en [3] uno de los ensayos utilizados comúnmente para la evaluación de las condiciones de una vía es el ensayo de extracción de núcleos de concreto, con este ensayo se mide principalmente la resistencia a la compresión que depende principalmente de su composición, condiciones ambientales de fraguado y en obra, cantidad de agregados, entre otros.

El alcance de este trabajo práctico es evaluar las condiciones estructurales de una vía en la entrada a la ciudad de Machala a través del ensayo de extracción de núcleos, con lo que se pretende conocer si la vía estudiada cumple con los parámetros establecidos en las normativas de diseño vial vigentes en el país y si responde satisfactoriamente ante las solicitudes.

Finalmente se podrá determinar si cumple con todas las especificaciones técnicas a través del análisis de los resultados obtenidos con el ensayo.

2. DESARROLLO

2.1. Fundamentación Teórica

En este apartado se conceptualizan algunos términos que explican de manera contextual el problema planteado.

Diseño de hormigones

Para diseñar hormigones es necesario basarse en ciertos lineamientos establecidos en la normativa de construcción vigente en cada país; el diseño de hormigones es una ciencia que considera algunos aspectos fundamentales como la resistencia, el manejo de los materiales utilizados y el costo para elaborar mezclas de cemento, agua y agregados según se requiera. El diseño de hormigones tiene correspondencia con la tensión resultante obtenida al reforzar el hormigón con otro material como las fibras o polímeros para lo cual debe tenerse en cuenta que exista una adecuada dosificación de ellos [4].

Hoy en día existen muchas formas de elaborar un hormigón, con el paso del tiempo se ha podido experimentar con nuevos ensayos utilizando distintos materiales que dan como resultado mezclas de hormigón con igual o mayor resistencia que las iniciales, en el diseño y elaboración de hormigones es importante tener en cuenta la relación A/C para lograr la resistencia esperada [5].

Según lo señalado en el documento de [6], un factor importante que debe considerarse al momento de diseñar hormigones es el vibrado al momento de llenar los encofrados y el curado post fraguado para garantizar que no se está perdiendo humedad y se alcanza la resistencia para la que se diseña el material. Según la norma ASTM 270 referente a morteros utilizados para mampostería, los materiales son los siguientes:

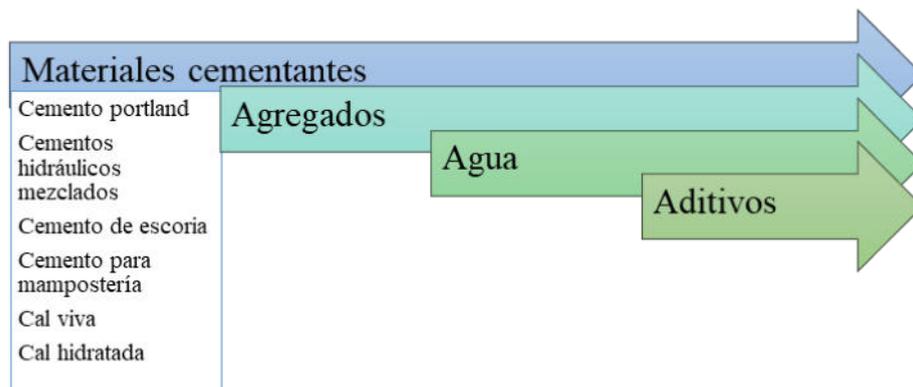


Ilustración 1: Materiales considerados en la dosificación del mortero. Fuente: [7]

Pavimento rígido

El pavimento rígido se forma por una losa de hormigón que se encuentra sobre un cimiento o

sobre la subrasante, se encarga de transferir las cargas al suelo de manera directa y reducida, además es considerado como una estructura autónoma y resistente debido a los materiales con los que está construido, es importante que se tenga en cuenta que una correcta dosificación de estos materiales puede ayudarle a cumplir con los requerimientos de uso. Actualmente el hormigón hidráulico es uno de los materiales más utilizados en la construcción de las vías terrestres por las prestaciones que tiene el material [8].

Según Guerra y Guerra [9], para diseñar una estructura vial o superficie de rodamiento se debe tomar en cuenta algunos criterios como la resistencia, acceso, eficiencia, utilidad y costo, un objetivo claro al momento de construir un pavimento rígido es que el beneficio que se obtenga con la obra satisfaga los requerimientos y devengue la inversión realizada en ella. Una vez construido el pavimento rígido es importante que exista una correcta gestión para el cuidado y mantenimiento del mismo, deben desarrollarse una serie de actividades que garanticen una prolongación de la vida útil de la estructura [10].

Extracción de núcleos de concreto

En este ensayo se obtienen cilindros o núcleos de hormigón de una estructura construida para ensayarlos y verificar la resistencia a la compresión del hormigón [11].

La resistencia del hormigón depende mucho de la humedad de la muestra, la cual se define por las condiciones ambientales de la estructura a la cual se le extrae el núcleo de concreto. El número de muestras que se extraen para los ensayos dependen de los diámetros de estas, por ejemplo para un cilindro de 4 pulgadas lo ideal sería extraer 3 unidades, para uno de 3 pulgadas 6 unidades y para uno de 2 pulgadas 9 unidades [12].

El equipo utilizado para ejecutar la perforación es un taladro con una punta de diamante de diferentes diámetros; este taladro se coloca perpendicular al suelo en donde se extraerá la muestra, una vez obtenida se deben anotar las características que resulten relevantes. La longitud debe ser igual al doble del diámetro y un tiempo del cilindro.



Ilustración 2: Extracción de una muestra (núcleo de concreto). **Fuente:** [11]

Ensayo de resistencia a la compresión

Según especificaciones técnicas de la norma NTE INEN 1573 (2010) [13], el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón, se ejecuta con la ayuda de muestras cilíndricas obtenidas en perforaciones de estructuras de cemento de densidades mayores a 800 kg/m³. Los resultados que se obtienen con este ensayo comúnmente son utilizados para determinar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, la correcta dosificación, mezclado y puesta en obra del material, así como la estimación de la vida útil de la estructura.

Este ensayo se realiza utilizando un equipo de compresión que tiene un porcentaje de error menor al 1%, en donde se coloca la muestra cilíndrica o núcleo de hormigón extraído y se le aplica una carga axial a una velocidad constante (dentro de un determinado rango) hasta lograr que esta empiece a fallar; su resistencia a la compresión se obtiene al dividir la carga máxima que soportó durante el ensayo para la superficie de la sección transversal del cilindro. Los diámetros de las muestras deben cumplir con los requerimientos señalados a continuación:

Diámetro de los especímenes de ensayo (mm)	Diámetro máximo de la cara de contacto (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Ilustración 3: Diámetros máximos de cara de contacto del equipo. Fuente: [13]

Las muestras deben tener los lados lisos para que sean perpendiculares a los ejes y pueden diferir máximo un 0.5% de estos, en caso de que no cumpla esta condición será necesario recortar los lados hasta alcanzar esta perpendicularidad; al momento del ensayo la muestra debe estar húmeda y deben romperse según las siguientes tolerancias:

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

Ilustración 4: Tolerancia de tiempo esperada en el ensayo. Fuente: [13]

La velocidad de la carga debe ser de 0.25 ± 0.05 MPa/s. Se mencionó que la longitud debe ser 2 veces el diámetro de la muestra pero en caso de que este valor sea 1.75 o menos entonces es conveniente que se realice una corrección en donde se multiplique el resultado de esta relación por un factor de corrección, algunos de estos se describen a continuación y para aquellos que no constan en la tabla será necesario interpolar.

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

Ilustración 5: Factores de corrección de la relación L/D. **Fuente:** [13]

Algunas fórmulas utilizadas en los cálculos de este ensayo se describen enseguida:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} = \frac{\text{Masa de la muestra (kg)}}{\text{Volúmen de la muestra al aire y sumergido (m3)}}$$

Cuando el volúmen se lo calcula en sumergido se debe calcular utilizando la fórmula:

$$\text{Volúmen} = A * L = \text{Área} * \text{Longitud}$$

Al aplicar la carga de compresión y comprobar que el cilindro alcanza su resistencia máxima, se deberá verificar el tipo de fractura ocurrida en la probeta ensayada según los modelos establecidos en la figura 2 del Anexo A de la norma INEN 1573 (2010).

El ensayo de resistencia a la compresión de hormigón se ejecuta con el fin de examinar la resistencia de la estructura y la seguridad que otorga en su funcionamiento, se espera que los resultados obtenidos se encuentren dentro de un rango determinado y como complemento a este ensayo se realiza el de esclerometría [14].

Ensayo de esclerometría

Este ensayo mide la uniformidad del hormigón, lo caracteriza y ayuda a estimar la resistencia de la estructura; para su ejecución se utiliza un martillo impulsado por resortes que ayuda a determinar el número de golpes o veces que rebota el martillo sobre el concreto endurecido. Las zonas en donde se realiza el ensayo deben tener un espesor de 10 cm y deben estar empotradas a una estructura mayor, el diámetro de estas zonas debe ser mínimo de 15 cm.

Es necesario que se tomen por lo menos 10 lecturas de rebote sobre las áreas usadas para el ensayo, mismas que deben estar separadas 2.5 cm entre sí (al centro) y 5 cm (en esquinas) [15].

El uso del esclerómetro es para medir la resistencia a la compresión del hormigón pero evitando causar daño en la estructura como con el equipo de extracción de núcleos, con este equipo también es posible hacer un control de calidad a los materiales de la estructura ensayada [16].



Ilustración 6: Uso del esclerómetro. **Fuente:** [16]

Según lo señalado en el documento de Porras et. all [17], el ensayo de esclerometría determina la dureza de la superficie relacionándola con la resistencia del material obtenida en los ensayos de laboratorio, pese a esto en la actualidad no es muy considerado como apoyo en la determinación de la resistencia del hormigón puesto que solamente es capaz de evaluar el material a una profundidad máxima de 3 cm. Existen 2 tipos de esclerómetro: de baja resistencia y de alta resistencia.

Rudeli y Santilli [18], señalan que los esclerómetros de baja resistencia se utilizan comúnmente para ensayar materiales más blandos como los que unen elementos de mampostería, mientras que los esclerómetros de alta resistencia son utilizados para medir la resistencia de hormigones de mayor tiempo y evaluar el estado de las estructuras.

Avenida Ferroviaria

Esta vía adoptó el nombre de “Ferroviaria” en honor a los ferrocarriles que eran uno de los primeros medios de transporte en el lugar que impulsaron la economía de la ciudad convirtiéndola en lo que hoy se conoce como la Capital Bananera del Mundo.

Es una de las principales vías de ingreso a la ciudad por lo que en el año 2019 se inició su última regeneración urbana en donde se intervinieron más de 5400 m de longitud, misma que se inauguró oficialmente en el año 2021. Para este trabajo tomó 4 muestras del pavimento rígido en diferentes puntos a lo largo de la Av. Ferroviaria, estos puntos se señalan a continuación:



Ilustración 7: Georreferenciación de los puntos evaluados con el esclerómetro. Fuente: [19]

2.2. Metodología

Comprende las herramientas utilizadas para recabar, analizar, sintetizar y procesar la información involucrada en la solución de la problemática planteada.

2.2.1. Investigación bibliográfica

Corresponde a la búsqueda y revisión de información en documentos físicos o digitales a fin de adquirir nuevos conocimientos que sirvan de sustento al trabajo investigativo.

La investigación bibliográfica es una de las partes más importantes a considerar en la elaboración de un trabajo investigativo, es un proceso encargado de recopilar información desde diferentes fuentes de investigación [20].

2.2.2. Análisis y síntesis

Esta correlación de metodologías corresponde en primera instancia a la segregación de la información hasta encontrar una relación razonable entre sus partes.

Por otro lado, la síntesis es la unificación de distintos criterios de un tema en específico que se juntan a fin de obtener un conocimiento general.

2.3. Caso práctico

En este apartado se desarrolla el trabajo práctico, para el cual se ejecutaron 2 ensayos de laboratorio:

1. Ensayo de resistencia a la compresión de hormigones
2. Ensayo de esclerometría.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El desarrollo de este ensayo es de acuerdo a las especificaciones de la Norma NTE INEN 1573.

1. Extracción de la muestra del sitio establecido

Según especificaciones técnicas, la vía de donde se toma la muestra debe tener un espesor de 30 cm; para el desarrollo de este trabajo se extrajeron 4 muestras cilíndricas de la Av. Ferroviaria.

2. Recortar la muestra de acuerdo a las especificaciones que señalan que la longitud debe ser 2 veces el valor del diámetro. Medir los diámetros y longitud, sacar un promedio de estos datos y calcular áreas.
3. Sumergir la muestra en agua por un lapso de 24 horas. Luego de transcurrido ese tiempo pesar la muestra sumergida.
4. Realizar el cálculo de la densidad del material con los valores de la masa y volumen.

El área y volumen de todos los cilindros son los mismos debido a la estandarización de sus diámetros.

- **Área de cilindros** = $80,11 \text{ cm}^2$

- **Volúmen de cilindros** = $1623,56\text{cm}^3$

- **Densidad** =

$$\rho_1 = 2,4876 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}; \rho_2 = 2,40844 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}; \rho_3 = 2,3029 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}; \rho_4 = 2,4606 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Realizar el ensayo de ruptura del cilindro utilizando el equipo de compresión aplicando las cargas de manera constante hasta que la probeta empieza a fracturarse y se obtenga un modelo de ruptura asociado a los modelos establecidos en la figura 2 del Anexo A de la normativa. A continuación se presentan las resistencias obtenidas.

Esfuerzo de compresión

$$E_1 = 366 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}; E_2 = 366,3 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}; E_3 = 333,69 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}; E_4 = 358,6 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Extraer los datos de las cargas aplicadas a la probeta de hormigón con el equipo de compresión, evaluar el tipo de fisura en el cilindro y compararla con las fisuras mostradas en la normativa. (Ver Anexo 1)

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

El desarrollo de este ensayo es de acuerdo a las especificaciones de la Norma NTE INEN 3121.

- Para este ensayo se utilizó un esclerómetro Schmidt (Proceq) tipo N: 2.207 Nm, mismo que debía estar correctamente calibrado antes de iniciar el ensayo.
- El área destinada para ejecutar el ensayo debe ser lo más lisa posible para que todas las mediciones puedan ser válidas.
- Hacer una cuadrícula en la superficie a ensayar para tomar las muestras con el equipo esclerométrico; el ensayo debe realizarse con el esclerómetro colocado de manera perpendicular a la superficie de prueba. Tomando en cuenta las especificaciones de la normativa, la separación mínima entre los puntos de impacto debe ser de 2.5 cm. En este caso se tomaron 10 lecturas en 4 puntos de prueba a lo largo de la vía.
- Una vez obtenidos los resultados se debe promediar los valores y descartar aquellos que difieran por más de 6 puntos a este promedio.

Los datos obtenidos con el ensayo de esclerometría se presentan en la siguiente tabla:

Elemento	Tipo	Agregado	Característica de la superficie	Tipo de martillo	Orientación	Rebotes										Promedio
Pavimento rígido 30 cm	Hormigón $f_c=320$	19 mm	Pulida	Schmidt (Proceq) Tipo N	Vertical	41	33	39	38	35	37	38	37	38	40	38,11
		19 mm	Pulida		Vertical	39	40	39	38	39	40	36	36	36	48	38,11
		19 mm	Pulida		Vertical	34	35	33	39	35	37	33	39	37	35	35,7
		19 mm	Pulida		Vertical	42	39	36	38	38	39	36	39	37	35	37,9

Resistencia										Promedio
420	280	372	353	303	336	353	336	356	400	358,78
385	396	378	355	378	396	317	318	317	523	360,00
289	303	269	409	303	330	269	409	330	303	321,4
410	338	310	353	356	370	319	338	333	300	342,7

Análisis de los resultados

El ensayo de resistencia a la compresión se efectuó con el fin de conocer la capacidad del hormigón en vías, en este caso se tomaron muestras de 4 puntos diferentes a lo largo de la Av. Ferroviaria. En base al ensayo realizado en el laboratorio se ha determinado que la primera muestra tiene una resistencia de 366 kg/cm², la segunda muestra de 366,3 kg/cm², la tercer muestra de 333,69 kg/cm² y la cuarta muestra de 358,6 kg/cm²; el hormigón para esta vía está diseñado para una resistencia F'c= 320 kg/cm², por lo que según los resultados obtenidos se puede determinar que el hormigón cumple con las especificaciones técnicas para las que se diseñó inicialmente.

Las densidades del hormigón de los cilindros son 2487,6 $\frac{kg}{m^3}$; 2408,44 $\frac{kg}{m^3}$; 2302,9 $\frac{kg}{m^3}$; 2460,6 $\frac{kg}{m^3}$ respectivamente, cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas en la norma NTE INEN 1573 [13], que indica una densidad mínima de 1920 $\frac{kg}{m^3}$ para hormigones de densidad normal.

Las fracturas en los cilindros de hormigón utilizados en el ensayo coinciden con el modelo de fractura Tipo 3 (Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos) señalado en la norma NTE INEN 1573 [13].

Con el ensayo de esclerometría se pudo determinar la dureza del hormigón mediante una serie de golpes efectuados en un área de prueba determinada, mismos que se promediaron para obtener valores de la dureza del material: 38,11 para la primera muestra, 38,1 para la segunda muestra, 35,7 para la tercera muestra y 37,9 para la cuarta muestra. También indica la resistencia del material en los mismos puntos, estas son: 358,78; 360; 321,4 y 342,7 respectivamente. Este ensayo se efectuó en base a las especificaciones señaladas en la norma NTE INEN 3121 [15].

3. CONCLUSIONES

- El ensayo de resistencia a la compresión del hormigón se hizo en base a la norma NTE INEN 1573, con este ensayo fue posible determinar que la resistencia actual es superior a la resistencia de diseño ($f'c=320$ kg/cm²), por lo que se determina que si cumple con las especificaciones técnicas del material.
- Con este ensayo también ha sido posible determinar que la densidad del hormigón es superior a 2000 kg/m³, cumpliendo así con las especificaciones de la norma que señala que la densidad mínima debe ser de 1920 kg/m³ para hormigones de densidad normal.
- Se pudo verificar la dureza del material obtenida cumple con las especificaciones técnicas de diseño para un hormigón de 320 kg/m³, indicando en este caso que el hormigón ensayado se encuentra en óptimas condiciones; la dureza de este material está en un rango de 37,9 a 38,11.
- Puede concluirse que el esclerómetro es un complemento para el ensayo de resistencia a la compresión, sin embargo, no puede reemplazarlo porque existe el riesgo de que con este ensayo se obtengan resultados erróneos, que pueden ser causa de mal manejo del equipo o de tomar muestras en lugares poco apropiados o afectados por factores ambientales.
- Los ensayos ejecutados se han enfocado en determinar la resistencia del hormigón de la vía Av. Ferroviaria y en precisar si sus condiciones actuales obedecen a sus especificaciones de diseño que garanticen una larga vida útil.

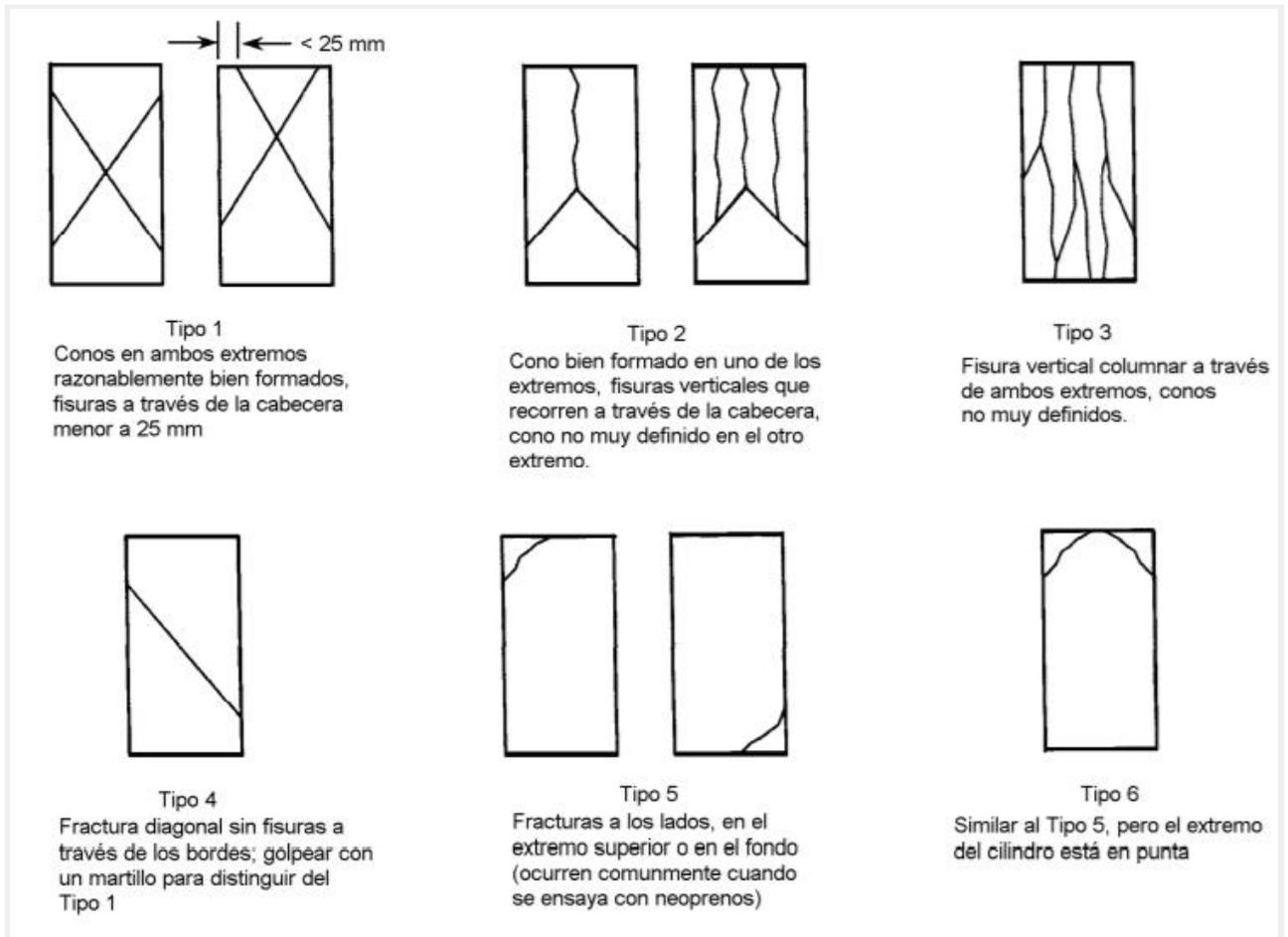
4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Rodríguez, C. Rodríguez, S. Ramírez, and C. Flórez, “Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina,” *INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla*, no. 20, pp. 47–61, 2016.
- [2] S. Caro y Bernardo Caicedo, “Tecnologías para Vías Terciarias: Perspectivas y Experiencias desde la Academia,” *Revista de Ingeniería*, no. 45, pp. 12–21, 2017.
- [3] A. Fernández, J. Morales, and F. Soto, “Evaluación del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con la aplicación del aditivo superplastificante PSP NLS, para edades mayores que 28 días,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 23, no. 2, pp. 197–203.
- [4] “Influencia de la orientación y la densidad de las fibras en la resistencia a tracción por flexión de hormigones,” *Hormigón y Acero*, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.hya.2017.05.007.
- [5] J. R. C. Ricardo and J. J. H. Albear, “Empleo de la metodología de superficies de respuesta para determinar el factor k de las puzolanas naturales y su influencia en la durabilidad de los hormigones,” *Hormigón y Acero*, vol. 70, no. 287, pp. 67–73, 2018.
- [6] F. F. A. F. P. A. G. T. Martínez y Leandro Ramajo, “Evaluación de la resistencia al choque término de hormigones refractarios silicoaluminosos. Efecto del tratamiento térmico,” *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 58, no. 6, pp. 246–254, Nov. 2019.
- [7] American Society for Testing and Materials, “ASTM c270 91a Mortero,” in *ASTM c270*, 2018.
- [8] D. V. G. Ortiz, J. B. H. Zaragoza, T. L. Lara, J. M. H. Rangel, and D. A. G. Posada, “Uso de agregado de pavimento asfáltico reciclado para un pavimento rígido,” *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 22, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [9] C. E. G. R. Pedro Ronald Guerra Chayña, “Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible,” *Fides Et Ratio*, vol. 20, pp. 121–140, 2020.
- [10] L. A. Pereira, C. A. P. Silva Júnior, H. B. Fontenele, “Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos: Una validación en oficina,” *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, vol. 34, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- [11] American Society for Testing and Materials, “ASTM C42 C39,” in *ASTM*,
- [12] “Ensayo de Extracción de Nucleos de Concreto,” *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/510515142/ENSAYO-DE-EXTRACCION-DE-NUCLEOS-DE-CONCRETO> (accessed Feb. 06, 2022).
- [13] I. E. de Normalización, “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la

- resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico,” in *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1573*, vol. 1, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010, pp. 1–14.
- [14] A. F. Domínguez and J. J. H. Albear, “Métodos para determinar la resistencia característica a compresión en estructuras construidas. Estado del arte,” *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 11, no. 2, pp. 1–9, 2017.
- [15] I. E. de Normalización, “Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo,” in *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 3121*, 2016.
- [16] J. R. Hernández-Ávila, Á. R. Orozco-Herazo, D. J. Almanza-Mercado, and J. Ramírez-Montoya, “Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital,” *ingeniare*, no. 22, pp. 59–68, 2017.
- [17] C. A. Porras Navarro, M. Aguilar Balbuena, and R. Puig Martínez, “Casos de estimación de la resistencia a compresión del hormigón armado validando ecuaciones de regresión que combinan el empleo de ensayos no destructivos (NDT) con ensayos destructivos (DT) en Cuba,” *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [18] N. Rudeli y Adrián Santilli, “Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón,” *Obras y Proyectos*, vol. 22, pp. 6–16, 2017.
- [19] “Google Earth.”
<https://earth.google.com/web/search/av+ferroviaria+machala/@-3.28332412,-79.90893364,12.28176951a,2938.49999156d,35y,186.67302435h,0t,0r/data=CigiJgokCWdhVMDV1TFAEWdhVMDV1THAGYJmlKEp9DdAIQ86xNXpc1LA> (accessed Feb. 07, 2022).
- [20] V. L. Sandra Gisela Martín, “Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos,” *INVESTIGACIÓN BIBLIOTECOLÓGICA*, vol. 31, no. 71, pp. 151–180, 2017.

5. ANEXOS

Anexo 1. Anexo A. Figura 2, Esquema de los modelos típicos de fractura (Norma NTE INEN 1573)



Anexo 2. Fotografías de la extracción de muestras para el ensayo de resistencia a la compresión



Extracción de las muestras



Cilindro o Núcleo de hormigón



Tallado de cilindros



Pesado de los cilindros

Anexo 3. Cálculos del ensayo de resistencia a compresión

El área y el volumen es igual en todos los cilindros.

- **Área de cilindros**

$$A = \frac{\pi * (\phi)^2}{4} = \frac{\pi * (10,11 \text{ cm})^2}{4} = 80,11 \text{ cm}^2$$

- **Volúmen de cilindros**

$$V = A * L = 80,11 \text{ cm}^2 * 20,30 \text{ cm} = 1623,56 \text{ cm}^3$$

- **Densidad**

Cilindro N° 1:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{v_1} = \frac{4038,8 \text{ gr}}{1623,56 \text{ cm}^3} = 2,4876 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Cilindro N° 2:

$$\rho_2 = \frac{m_2}{v_2} = \frac{3909,6 \text{ gr}}{1623,56 \text{ cm}^3} = 2,40844 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Cilindro N° 3:

$$\rho_3 = \frac{m_3}{v_3} = \frac{3738,9 \text{ gr}}{1623,56 \text{ cm}^3} = 2,3029 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Cilindro N° 4:

$$\rho_4 = \frac{m_4}{v_4} = \frac{3995 \text{ gr}}{1623,56 \text{ cm}^3} = 2,4606 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

CALCULO DE RESISTENCIAS

A continuación se presenta una tabla con las resistencias obtenidas en los ensayos.

Cilindro N° 1:

Esfuerzo de compresión

$$E_1 = \frac{C_1}{A_1} = \frac{29323,7 \text{ Kgf}}{80,11 \text{ cm}^2} = 366 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

PROBETA	COORDENADAS	VOLUMEN PROMEDIO cm^3	PESO DE LA PROBETA gramos	DENSIDAD Kg/m^3	ALTURA PROMEDIO cm	DIÁMETRO PROMEDIO cm	CARGA APLICADA		RESISTENCIA	
							kgf	KN	Kg/cm^2	MPa
1	S=3°16'52.1 W=79°54'45.3	1623,56	4038,8	2487,6	20,3	10,1	29323,7	287,8	366,0	35,9

Cilindro N° 2:

Esfuerzo de compresión

$$E_2 = \frac{C_2}{A_2} = \frac{29350,7 \text{ Kgf}}{80,11 \text{ cm}^2} = 366,3 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

PROBETA	COORDENADAS	VOLUMEN PROMEDIO cm^3	PESO DE LA PROBETA gramos	DENSIDAD Kg/m^3	ALTURA PROMEDIO cm	DIÁMETRO PROMEDIO cm	CARGA APLICADA		RESISTENCIA	
							kgf	KN	Kg/cm^2	MPa
2	S=3°16'58.7 W=79°54'31.9	1623,56	3909,6	2408,04	20,3	10,1	29350,7	287,8	366,3	35,9

Cilindro N° 3:

Esfuerzo de compresión

$$E_3 = \frac{C_3}{A_3} = \frac{26732 \text{ Kgf}}{80,11 \text{ cm}^2} = 333,69 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

PROBETA	COORDENADAS	VOLUMEN PROMEDIO cm^3	PESO DE LA PROBETA gramos	DENSIDAD Kg/m^3	ALTURA PROMEDIO cm	DIÁMETRO PROMEDIO cm	CARGA APLICADA		RESISTENCIA	
							kgf	KN	Kg/cm^2	MPa
3	S=3°28'58.7 W=79°91'31.9	1623,56	3738,9	2269,6	20,3	10,1	26732	262,2	333,69	32,7

Cilindro N° 4:

Esfuerzo de compresión

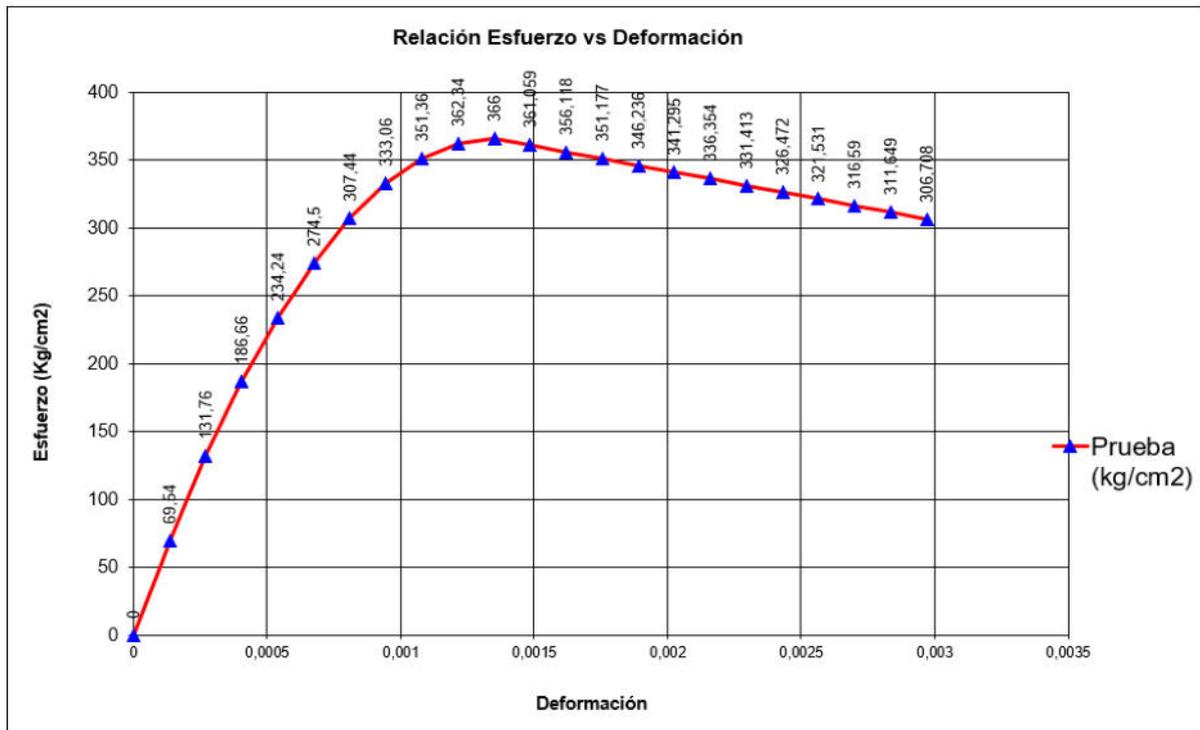
$$E_4 = \frac{C_4}{A_4} = \frac{28730 \text{ Kgf}}{80,11 \text{ cm}^2} = 358,6 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

PROBETA	COORDENADAS	VOLUMEN PROMEDIO cm^3	PESO DE LA PROBETA gramos	DENSIDAD Kg/m^3	ALTURA PROMEDIO cm	DIÁMETRO PROMEDIO cm	CARGA APLICADA		RESISTENCIA	
							kgf	KN	Kg/cm^2	MPa
4	S=3°16'58.7 W=79°54'31.9	1623,56	3995,0	2460,6	20,3	10,1	28730	281,7	358,6	35,1

Anexo 4. Ensayo de resistencia a la compresión



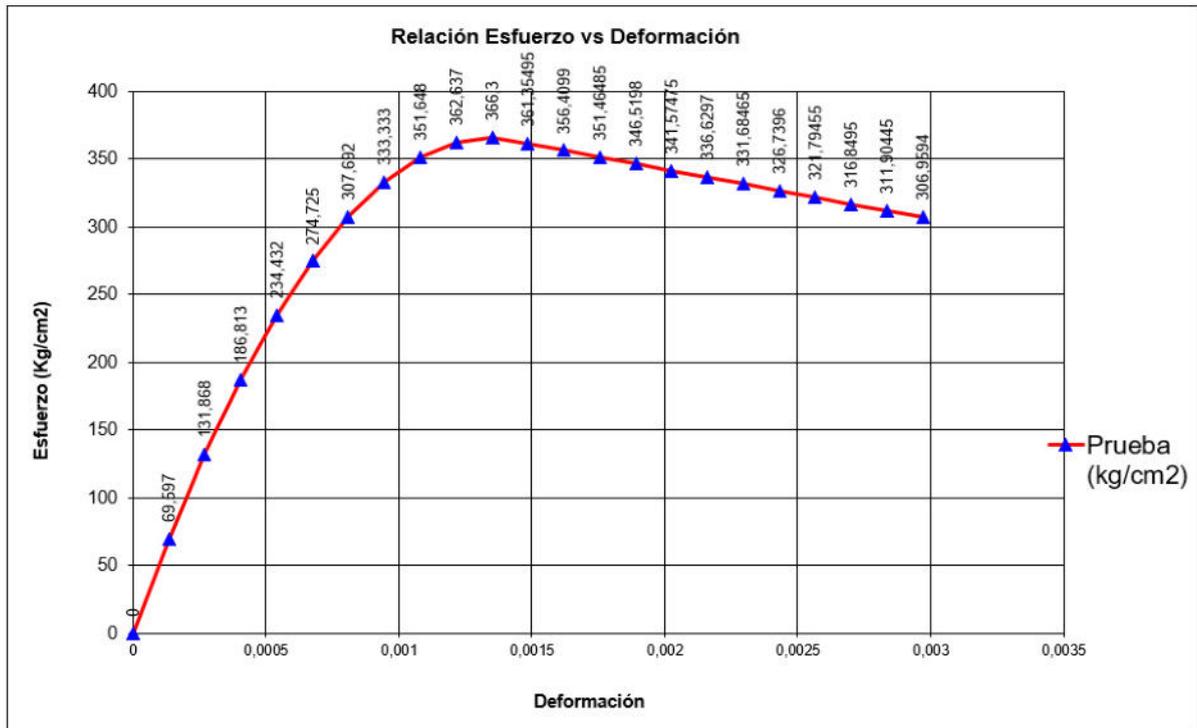
Ensayo a compresión del cilindro N°1



Curva de esfuerzo/deformación del cilindro N°1



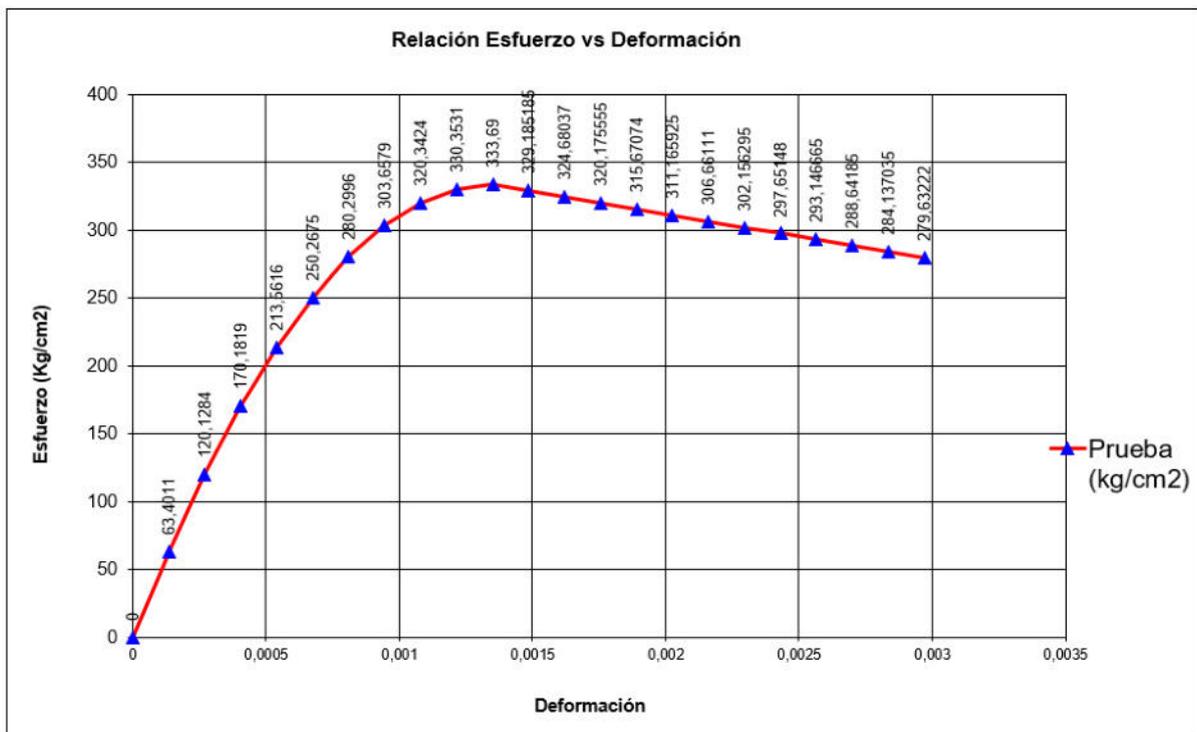
Ensayo a compresión del cilindro N°2



Curva de esfuerzo/deformación del cilindro N°2



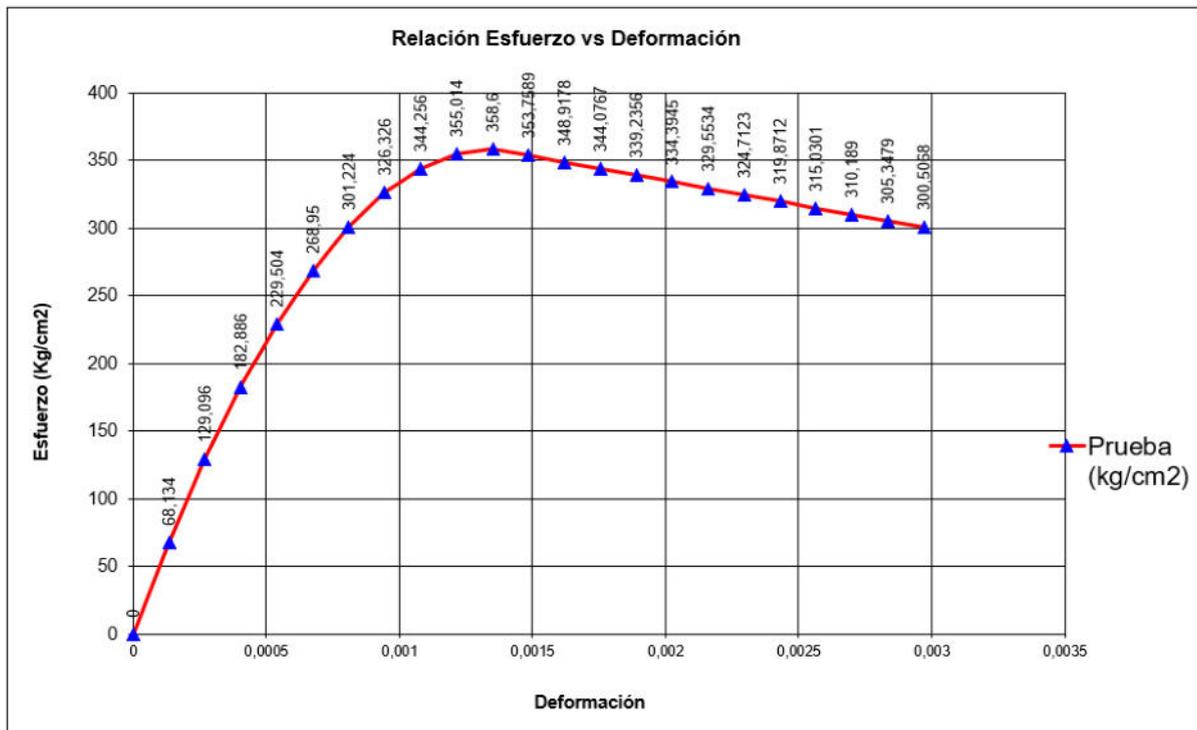
Ensayo a compresión del cilindro N°3



Curva de esfuerzo/deformación del cilindro N°3



Ensayo a compresión del cilindro N°4



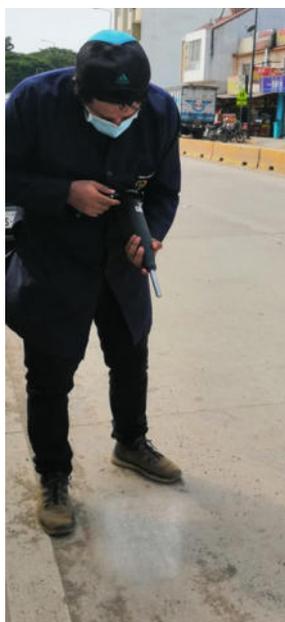
Curva de esfuerzo/deformación del cilindro N°4

Anexo 5. Ensayo de esclerometría



N°1			
#	Dureza (r)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	41	420	38,111111
2	33	280	
3	39	372	
4	38	353	
5	35	303	
6	37	336	
7	38	353	
8	37	336	
9	38	356	
10	40	400	

1. Toma de datos con el esclerómetro en el área de muestra N°1
2. Tabla con los valores de dureza y resistencia de muestra N°1



N°2			
#	Dureza (r)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	39	385	38,111111
2	40	396	
3	39	378	
4	38	355	
5	39	378	
6	40	396	
7	36	317	
8	36	318	
9	36	317	
10	48	523	

1. Toma de datos con el esclerómetro en el área de muestra N°2
2. Tabla con los valores de dureza y resistencia de muestra N°2



N°3			
#	Dureza (r)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	34	289	35,7
2	35	303	
3	33	269	
4	39	409	
5	35	303	
6	37	330	
7	33	269	
8	39	409	
9	37	330	
10	35	303	

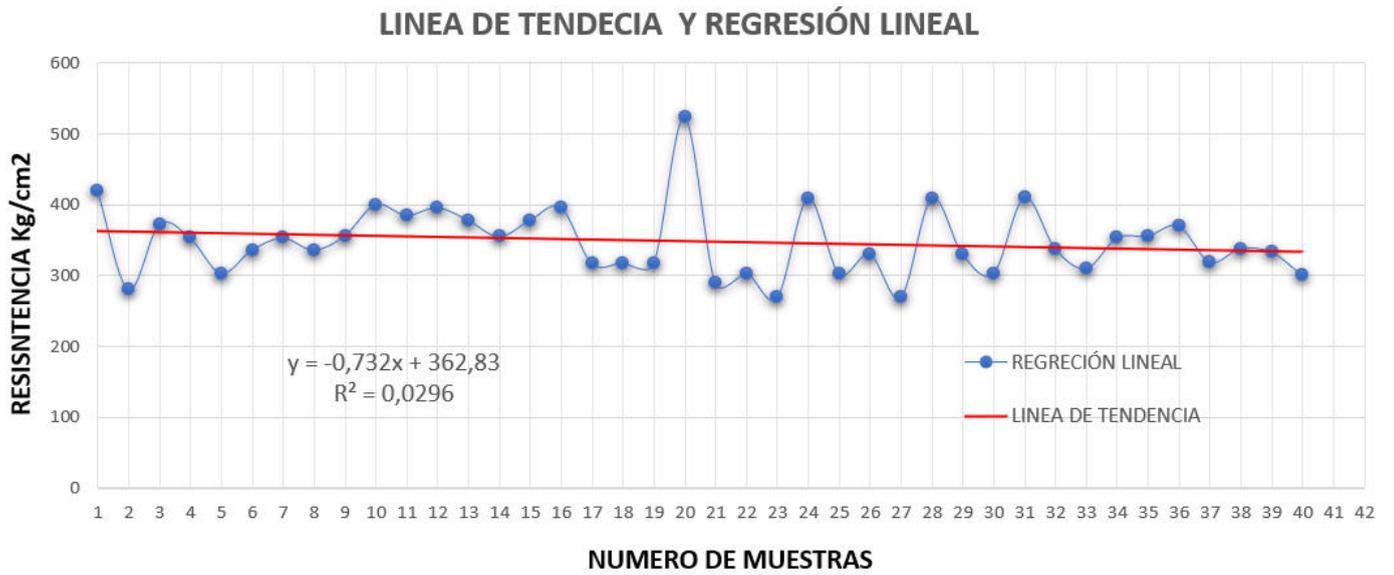
1. Toma de datos con el esclerómetro en el área de muestra N°3
2. Tabla con los valores de dureza y resistencia de muestra N°3



N°4			
#	Dureza (r)	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	42	410	37,9
2	39	338	
3	36	310	
4	38	353	
5	38	356	
6	39	370	
7	36	319	
8	39	338	
9	37	333	
10	35	300	

1. Toma de datos con el esclerómetro en el área de muestra N°4
2. Tabla con los valores de dureza y resistencia de muestra N°4

Anexo 6. Líneas de tendencia y regresión lineal



Línea de tendencia y regresión lineal de las 4 muestras tomadas con el esclerómetro