

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO
CON EL USO DE ENCOFRADO METÁLICO EN COMPARACIÓN AL
ENCOFRADO TRADICIONAL DE MADERA”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

LINEA DE INVESTIGACION: ESTRUCTURAS Y MATERIALES

AUTORES:

Bach. FIGUEROA POLO, ALEXANDRA JIMENA

Bach. MESTA BOCANEGRA, GIANFRANCO

ASESOR:

Bach. URTEAGA GARCIA, JUAN MANUEL

TRUJILLO – PERÚ

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los bachilleres Alexandra Jimena Figueroa Polo y Gianfranco Mesta

Bocanegra, denominada:

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO CON EL
USO DE ENCOFRADO METÁLICO EN COMPARACIÓN AL ENCOFRADO
TRADICIONAL DE MADERA”**

Ing. VILLALOBOS VARGAS MANUEL ANTONIO
PRESIDENTE
N° CIP 7156

Ing. MORAN GUERRERO VICTOR MANUEL
SECRETARIO
N° CIP 50648

Ing. PAREDES ESTACIO, JORGE LUIS
VOCAL
N° CIP 90402

Ing. URTEAGA GARCÍA, JUAN MANUEL
ASESOR
N° CIP 75985

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO CON EL USO DE ENCOFRADO METÁLICO EN COMPARACIÓN AL ENCOFRADO TRADICIONAL DE MADERA, 2018”**; a fin de ser evaluado.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, aplicados a evaluar y brindar un aporte en la comparación de la resistencia a la abrasión de concretos elaborados con encofrado metálico y de madera.

Confiamos que esta investigación logre cubrir las expectativas que tienen al respecto, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Figuroa Polo, Alexandra Jimena

Mesta Bocanegra, Gianfranco

Trujillo, Enero del 2018

DEDICATORIA

A mi padre Freddy Figueroa por apoyarme siempre y estar pendiente de mis necesidades ayudando a convertirme en una profesional.

A mi madre Norma Polo por convertirse en mi mejor amiga y enseñarme a seguir siempre adelante. A mis amigos que compartieron momentos de risas y tristezas. A mi gran compañero Gianfranco que me apoyo y soportó a lo largo del desarrollo de esta investigación. Y a l@ pequeñ@ que espero siempre se enorgullezca de nosotros.

Alexandra Jimena Figueroa Polo.

A mi madre, mi principal apoyo, mi mejor ejemplo como persona y profesional.

A mi familia que siempre aportan su granito de arena para que yo pueda salir adelante.

A mi asesor por la dedicación hacia mi compañera y mi persona para poder concluir esta etapa.

A todos los profesores que se cruzaron en mi vida universitaria, abasteciéndome de los conocimientos necesarios para poder llegar a este punto.

Gianfranco Mesta Bocanegra.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.1. Descripción del problema.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivo general.....	13
1.4. Objetivos específicos.....	13
1.5. Justificación de la investigación.....	13
1.6. Limitaciones de la investigación.....	14
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. ASTM C 779 / C 779M.....	16
2.2.2. COGUANOR NTG 41087.....	20
2.2.3. ACI Agregados.....	26
2.3. Definiciones conceptuales.....	26
2.4 Hipótesis.....	27
2.5. Variables.....	27
2.5.1. Variable dependiente.....	27
2.5.2. Variable independiente.....	27
2.6. Operacionalización de variables.....	28

III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1. Población y muestra.....	30
3.2. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	30
3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	30
3.4. Descripción del procedimiento para el desarrollo.....	31
IV. RESULTADOS.....	36
4.1. Procesamiento de datos.....	37
4.1.1. Capacidad térmica o calorífica de materiales utilizados en esta investigación de acuerdo con datos existentes.....	37
4.1.2. Ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.65.....	37
4.1.3. Ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.61.....	38
4.1.4. Ensayo de abrasión con material abrasivo y disco metálico modificado para calcular la huella en muestras con relación agua-cemento de 0.65.....	38
4.1.5. Ensayo de abrasión con material abrasivo y disco metálico modificado para calcular la huella en muestras con relación agua-cemento de 0.61.....	39
4.1.6. Comparación de resultados en ambos tipos de encofrado.....	40
4.2. Contratación de Hipótesis y Prueba de hipótesis.....	41
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	42
VI. CONCLUSIONES.....	44
VII. RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de prueba de disco giratorio.....	17
Figura 2. Equipo de prueba con balines de acero.....	18

Figura 3. Partes fundamentales de la máquina para la prueba de desgaste de los Adoquines.....	21
Figura 4. Vistas en planta y lateral de la tolva y conducto de salida del material abrasivo.....	22
Figura 5. Lectura de huella formada después del ensayo.....	25
Figura 6. Ensayo de desgaste según NTG 41087.....	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	28
Tabla 2. Dosificaciones de concreto.....	32
Tabla 3. Capacidad calorífica de materiales.....	37
Tabla 4. Resultados del ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.....	37
Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.61 en ambos tipos de encofrado.....	38
Tabla 6. Resultados de la huella formada por el ensayo de abrasión para muestras con relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.....	38
Tabla 7. Resultados de la pérdida de peso durante el ensayo de abrasión para muestras con relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.....	39
Tabla 8. Resultados de la huella formada por el ensayo de abrasión para muestras con relación agua-cemento de 0.61 en ambos tipos de encofrado.....	39
Tabla 9. Resultados de la pérdida de peso durante el ensayo de abrasión para muestras con relación agua cemento de 0.61 para ambos tipos de encofrado.....	40
Tabla 10. Porcentaje de la comparación de resultados para encofrado de madera y metal en muestras con relación agua-cemento de 0.65.....	40
Tabla 11. Porcentaje de la comparación de resultados para encofrado de madera y metal en muestras con relación agua-cemento de 0.61.....	41

RESUMEN

En la actualidad buscamos mejorar ciertas propiedades del concreto que influyen a lo largo de su vida útil, por lo cual este trabajo comparó la resistencia al desgaste por abrasión en muestras de concreto encofradas mediante dos tipos de material, madera y metal; pensando que la variación de la resistencia del concreto debido al tipo de encofrado se produce en capas superficiales y se da en dimensiones muy pequeñas, por lo que un ensayo a la compresión de este tipo no es factible.

Para lograr analizar este factor hemos tomado como referencia a la Norma Técnica Guatemalteca 41087 y a la Norma ASTM C799; en dichos métodos de prueba se simulan las acciones abrasivas a la que el concreto se encuentra expuesto a lo largo de su vida útil. Sin embargo, al no contar con tales mecanismos, se procedió a crear y diseñar un sistema basado en las normas anteriores de acuerdo con nuestras limitaciones, que a la vez simulaban las acciones abrasivas por fricción en las capas superficiales de nuestras probetas sometidas a distintos tipos de encofrado.

Con la información recolectada de los ensayos se procedió a evaluarlos mediante estadística descriptiva logrando presentar los porcentajes que diferencian la influencia del material con que se encofra el concreto, debido al aporte calorífico, lo cual contrastó con nuestra hipótesis inicial.

El propósito principal fue demostrar que el acero como material de encofrado absorbía parte del calor que emite el concreto a edades tempranas; y siendo la madera un material no conductor de calor, beneficiaba al concreto durante su fraguado. No obstante, nuestros resultados arrojaron que existe 37% más de desgaste superficial y 25% más de pérdida de peso durante el ensayo en muestras con relación agua-cemento de 0.65 para encofrados de madera, en comparación con las de metal; y para muestras con relación agua-cemento de 0.61 se obtuvo 18% más de desgaste superficial y 10% más de pérdida de peso durante el ensayo en las que se encofraron con madera, en comparación a las de encofrado de acero. A continuación, se detalla una serie de técnicas e instrumentos de recolección de datos que implementamos a lo largo de esta investigación, e invitamos a que se realicen más indagaciones acerca de la resistencia a la abrasión del concreto.

ABSTRACT

Currently, we seek to improve certain properties of concrete that influence its useful life, which is why this work compared resistance to abrasion wear in concrete samples formed by two types of material, wood and metal; thinking that the variation in concrete strength due to the type of formwork occurs in surface layers and occurs in very small dimensions, so that a compression test of this type is not feasible.

In order to analyze this factor, we have taken as reference the Guatemalan Technical Standard 41087 and the ASTM C799 Standard; These test methods simulate the abrasive actions to which the concrete is exposed throughout its useful life.

However, not having such mechanisms, we proceeded to create and design a system based on the previous standards in accordance with our limitations, which simulated abrasive actions by friction in the surface layers of our test tubes subjected to different types of formwork.

With the information collected from the trials, we proceeded to evaluate them by means of descriptive statistics, achieving the percentages that differentiate the influence of the material with which the concrete is formed, due to the calorific contribution, which contrasted with our initial hypothesis.

The main objective was to demonstrate that the steel as a formwork material absorbed part of the heat that the concrete emits at an early age; and being the wood a non-conductive material of heat, it benefited the concrete during its setting. However, our results showed that there is 37% more surface wear and 25% more weight loss during the test in samples with a water-cement ratio of 0.65 for wooden formwork, compared to metal ones; and for samples with a water-cement ratio of 0.61, 18% more surface wear and 10% more weight loss were obtained during the test in which they were veneered with wood, in comparison with those of steel formwork.

The following is a series of techniques and data collection instruments that we have implemented throughout this investigation, and we invite you to make more inquiries about the abrasion resistance of the concrete.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El encofrado es uno de los aspectos más importantes en la construcción, ya que es un sistema formado por piezas acopladas que le darán forma al concreto u otros materiales en su estado plástico o fresco, entre otras funciones están las de proteger al concreto de golpes, de las temperaturas externas y de la pérdida de agua. (Alexander Lucero Sandoval, 2016)

Las condiciones básicas para tener en cuenta en el diseño y la construcción de encofrados son la seguridad, la precisión en las medidas y la economía. (Alexander Lucero Sandoval, 2016)

El encofrado tradicional posee ventajas dada su flexibilidad para producir casi cualquier forma, es fácil de montar, pero de lenta ejecución cuando las estructuras son grandes; y en cuanto al costo, es menor comparado al metálico.

El encofrado metálico brinda facilidad y rapidez de ensamblaje siempre y cuando el proyecto cuente con cierta homogeneidad en sus pilares logrando que las piezas moldeadas alcancen acabados lisos y bien cuidados, ofreciendo a su vez una duración ilimitada, ya que no se deforman ni deterioran por el uso. Sin embargo, su mayor peso para el traslado y manejo es una desventaja en comparación con la madera.

Una de las propiedades en las que influyen los tipos de encofrados es en la resistencia a la abrasión superficial del concreto ya que intervienen en el calor de hidratación generado por la reacción entre el cemento y el agua.

La cantidad de calor producido depende de la composición química del cemento, siendo el aluminato tricálcico C_3A y el silicato tricálcico C_3S , los compuestos más importantes para la evolución de calor; la relación agua-cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. A pesar de que el cemento portland puede liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades

tempranas generando una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras veinticuatro horas (Copeland y otros 1960).

Argüimos que la variación de la resistencia del concreto debido al tipo de encofrado se produce en las capas superficiales del elemento estructural y que se da en dimensiones cercanas a los milímetros, por lo que un ensayo a la compresión de este tipo no es factible, optándose por evaluar la resistencia a la abrasión.

El uso del encofrado metálico, en vez del tradicional de madera, suele aparentemente consumir parte del calor de hidratación generando un deficiente endurecimiento (fraguado) del concreto a edades tempranas alcanzando una resistencia a la abrasión superficial menor a la esperada.

Hoy en día se busca mejorar ciertas propiedades del concreto como la resistencia a los sulfatos y agentes químicos diversos entre otros factores como el congelamiento o altas temperaturas, etc. En ese contexto, este trabajo analizó otra propiedad del concreto que influye durante su vida útil; comparando la resistencia al desgaste por abrasión de dos tipos de encofrados (convencional y metálico); para lograr esto hemos tomado como referencia a la Norma Técnica Guatemalteca 41087 y la ASTM C799. El método de prueba simula las acciones abrasivas a la que el concreto se encuentra expuesto a lo largo de su vida útil.

También se plantea que el uso de encofrados metálicos en comparación a los de madera, influyen en mayor proporción en el endurecimiento del concreto relacionado a la reacción exotérmica, lo cual es la pérdida de calor en un mayor tiempo.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida afectará a la resistencia a la abrasión del concreto el uso de encofrado metálico en vez de encofrado tradicional de madera?

1.3. Objetivo general

Determinar el grado de influencia del encofrado metálico en comparación con el tradicional de madera que afecta a la resistencia a la abrasión del concreto.

1.4. Objetivos específicos

- Fabricar muestras de concreto en encofrados de madera y metal, sometiéndolas a ensayos de compresión después del fraguado, de acuerdo con las diferentes relaciones de agua-cemento trabajadas, siendo 0.65 y 0.61.
- Evaluar la resistencia superficial del concreto usando el Método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho modificado para el concreto diseñado con una relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.
- Evaluar la resistencia superficial del concreto usando el Método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho modificado para el concreto diseñado con una relación agua-cemento de 0.61 en ambos tipos de encofrado.
- Comparar las variaciones de la resistencia a la abrasión en las muestras con encofrado metálico y encofrado tradicional de madera de acuerdo con las diferentes relaciones agua-cemento, siendo 0.65 y 0.61.

1.5. Justificación de la investigación.

Para la comunidad Universitaria, este trabajo conforma parte de la información bibliográfica, de la que alumnos de Ingeniería Civil y todo aquel que estén interesado en la resistencia a la abrasión del concreto pueda documentarse, ya que es uno de los pocos antecedentes que se encuentra acerca de este tema, esperando que se fomenten estos tipos de investigaciones.

Para las empresas constructoras, dicho trabajo representa una herramienta de decisión en el uso de diversos tipos de encofrado, además de conocer sobre cómo afecta éste en el proceso de liberación de calor de hidratación del concreto a edades tempranas.

1.6. Limitaciones de la investigación.

No se cuenta con un equipo normalizado para la determinación del desgaste producido en la cara vista de una probeta que se somete a rozamiento mediante un disco de acero y material abrasivo bajo condiciones normalizadas, ni con los métodos estándares de determinación de abrasión según el ASTM C779.

Cabe resaltar que los autores de esta investigación idearon un sistema lo más similar posible a la expuesta en la Norma Técnica Guatemalteca obteniendo resultados confiables sometiendo las muestras a condiciones semejantes.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Los autores Ing. Antonio Flores Bustamante, Ing. Francisco González Díaz, Ing. Luis Rocha Chiu en la investigación **“Pruebas De Abrasión En Concreto De Alta Resistencia”** de Setiembre del año 2000 concluyeron que la resistencia a la compresión tiene efecto significativo sobre la resistencia al desgaste, en cuyo trabajo han encontrado que la resistencia al desgaste por abrasión es al menos 50% mayor en concretos de alta resistencia a la compresión, aunque los resultados presentan una alta variabilidad, pensamos que esto se debe a la naturaleza del método de prueba ya que puede existir una importante influencia de la calidad del agregado grueso presente en el concreto, considerando que es conveniente evaluar esta variable en trabajos subsecuentes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. ASTM C 779 / C 779M - 00 Método de prueba para resistencia a la abrasión en superficies horizontales de concreto

Este método de prueba cubre los procedimientos para determinar la abrasión relativa y la resistencia del concreto horizontal en superficies.

El procedimiento está destinado a utilizarse para determinar las variaciones de la superficie y propiedades del concreto afectados por proporciones de la mezcla, acabado y tratamiento de superficies, simulando las condiciones de abrasión También puede utilizarse para aceptación de calidad de los productos y superficie expuesta al desgaste.

En las pruebas de desgaste, la profundidad es una muestra de la medida de la abrasión del concreto, las normas más empleadas para estas mediciones son:

- **Prueba de disco giratorio ASTM C779-82** (esta norma describe tres procedimientos de prueba o uso en el campo), la prueba de disco giratorio consta de tres superficies planas que giran en una trayectoria circular a 0.2Hz, cada plato gira

sobre su propio eje a 4.7 Hz, se emplea carburo de silicio como material abrasivo entre los discos y el concreto, las pruebas definidas por esta norma son útiles para determinar la resistencia del concreto por el tráfico de peatones, para tránsito rodante, para ruedas con cadena y para vehículos de tracción. (Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995)

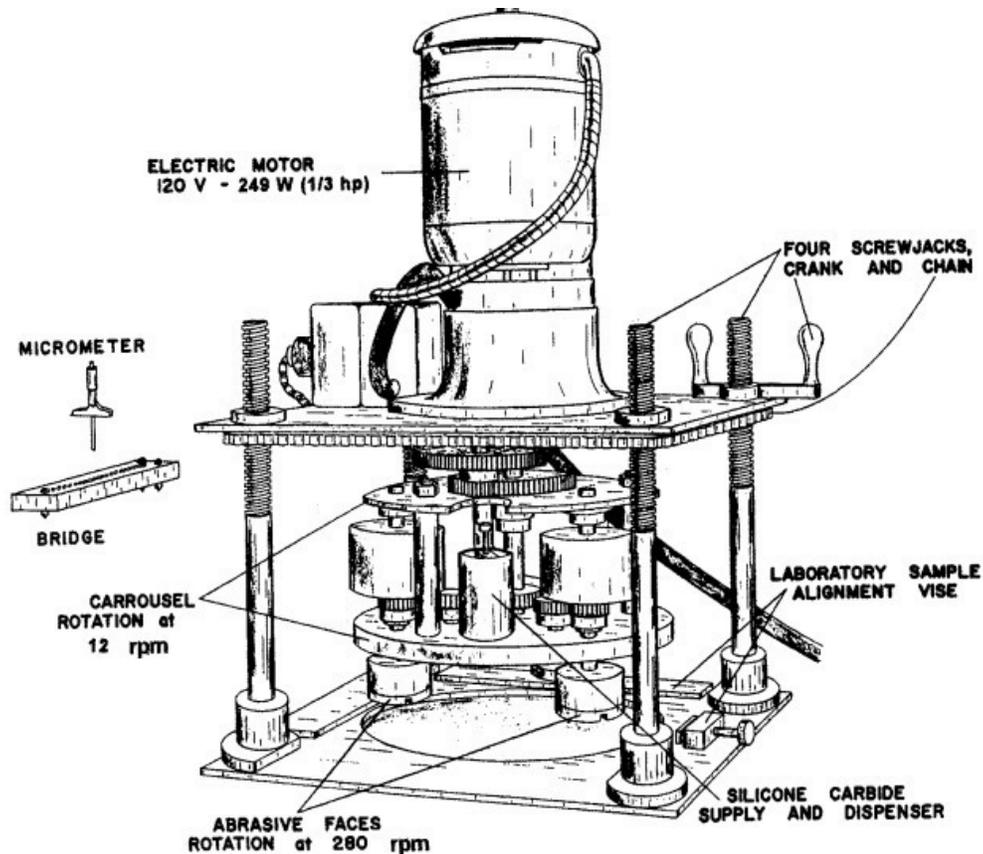


Figura 1. Equipo de prueba de disco giratorio.

Fuente. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995.

- **Prueba abrasión con balines de acero ASTM C779-82.** Consiste en aplicar una carga sobre una cabeza rodante que se encuentra separada del espécimen por medio de balines de acero, la prueba se lleva a cabo dentro de agua corriente, con el objeto

de remover los materiales producto de la erosión. (Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995)

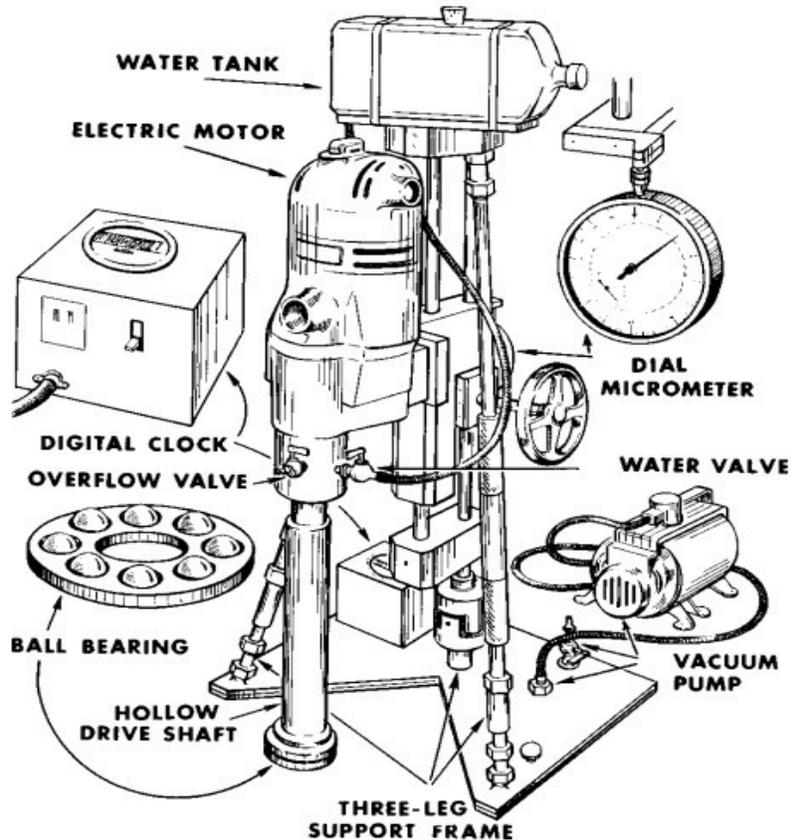


Figura 2. Equipo de prueba con balines de acero.

Fuente. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995.

- **Prueba de chorro de aire ASTM C779-82.** La tendencia a la erosión por sólidos en el agua que fluye se mide por medio de la prueba de chorro de aire, en esta prueba 200 piezas de acero roto de 850 @m de tamaño (número 20 ASTM), se lanzan bajo presión de aire de 0.62MPa (90 Ib/in²) desde una boquilla de 6.3mm (1/4 in), contra una muestra de concreto a una distancia de 102mm (4 in). (Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995)

Espécimen de ensayo: los especímenes de ensayo consisten en piezas de concreto de cualquier forma o tamaño que pueda acomodarse en el aparato de abrasión y la balanza. La superficie debe ser formada o acabada y debe colocarse en el plano de contacto con la cortadora. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica)

Resumen del procedimiento: se toma la masa inicial del espécimen, se coloca en la máquina de corte, se pone en contacto con la cabeza de corte y se mantiene de esa forma durante 2 minutos. Al final se determina de nuevo la masa para obtener el porcentaje de pérdida por abrasión. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica)

Requerimientos para solicitudes: los especímenes que se deben aportar pueden tener cualquier forma o tamaño, excepto que el espesor no puede ser mayor que 100mm y una superficie debe estar preparada para la abrasión. Se deben aportar 3 especímenes como mínimo. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica)

Daños de la superficie desgastada: progresivamente ocurre una pérdida de masa en la superficie del concreto debido a la abrasión, erosión o cavitación. El término abrasión se refiere a la fricción en seco que ocasiona el desgaste en pavimentos o pisos industriales al tráfico vehicular. El término erosión es normalmente usado para describir el desgaste abrasivo ocasionado por la acción de fluidos que contienen partículas en suspensión, tal como ocurre en los revestimientos de canales y en otros tipos de estructuras hidráulicas. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica)

2.2.2. COGUANOR NTG 41087 - Método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho

Generalidades

El ensayo consiste en someter un espécimen (antes de su incorporación en un piso o pavimento, o extraído de un piso o pavimento ya construido), a desgaste por medio de la abrasión ejercida, bajo condiciones controladas, por un flujo de material abrasivo que pasa tangencialmente por entre dicha superficie y la cara lateral de un disco metálico, que ejerce presión contra ella. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Esto genera una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico, cuya longitud resultante es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión, que posee el espécimen. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Equipo de desgaste de disco ancho metálico

- **Disco de abrasión**

El disco de abrasión debe ser de acero A36 (que cumpla con la norma ASTM A36), y con una dureza Brinell de 203 y 245 HB.

Su diámetro debe ser $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, y su anchura debe ser $70 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

El disco debe girar a una velocidad de 75 revoluciones en $60 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$, tanto en estado libre como durante la ejecución del ensayo, por lo cual el sistema de manejo del disco debe tener la potencia adecuada. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

- **Carro porta probetas móvil**

El carro porta probetas móvil debe ser rígido y debe ir montado sobre un sistema de rieles y rodamientos, que garantice su libre desplazamiento, bajo la acción de un contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco de abrasión. Debe poseer un sistema

para la sujeción del espécimen, que permita sujetarlo, nivelarlo y alinearlo, con el fin de que la superficie a ser ensayada sea lo más paralela posible al plano tangente del disco de abrasión en el punto de contacto entre dicha superficie y el disco metálico. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

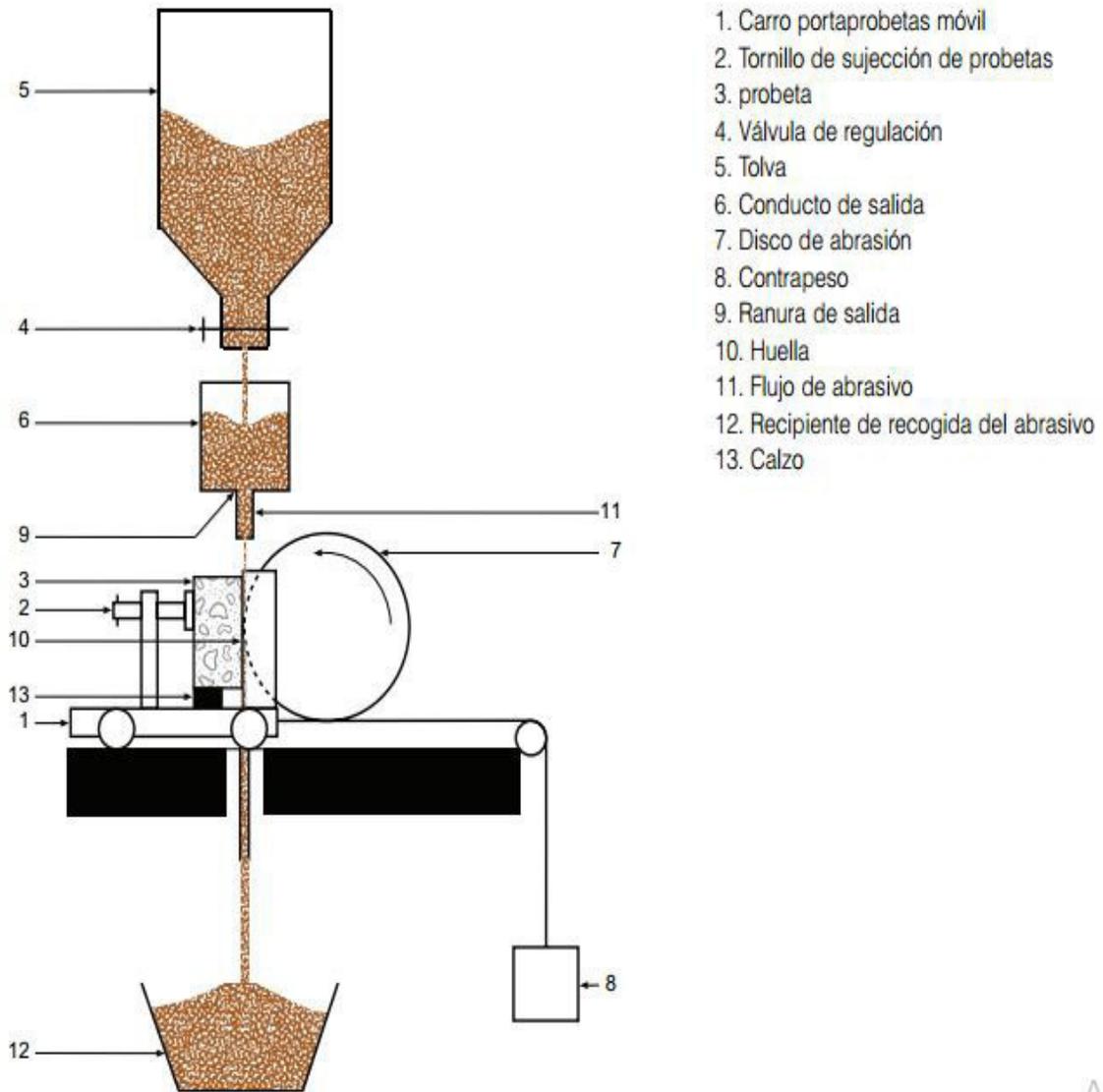


Figura 3. Partes fundamentales de la máquina para la prueba de desgaste de los Adoquines.

Fuente. Norma COGUANOR NTG 41087, 2012.

- **Tolva y conducto de salida**

Se debe tener una tolva (superior) para el almacenamiento del material abrasivo, la cual debe alimentar otra tolva de menor tamaño (inferior) para el control y distribución del flujo. La superior, que por lo general tiene forma cilíndrica, cerrada en la parte inferior, debe tener, al menos, una válvula, que regule el flujo que alimenta la tolva inferior.

La tolva (inferior) o conducto de salida, debe tener forma de cuña. Debe tener una boquilla de salida con una ranura cuyas dimensiones interiores deben ser: longitud $45 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, ancho $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, y altura $25 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. El ancho total de la tolva de control y distribución del flujo, en la dirección paralela al eje del disco de abrasión, debe ser al menos de 65 mm . (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

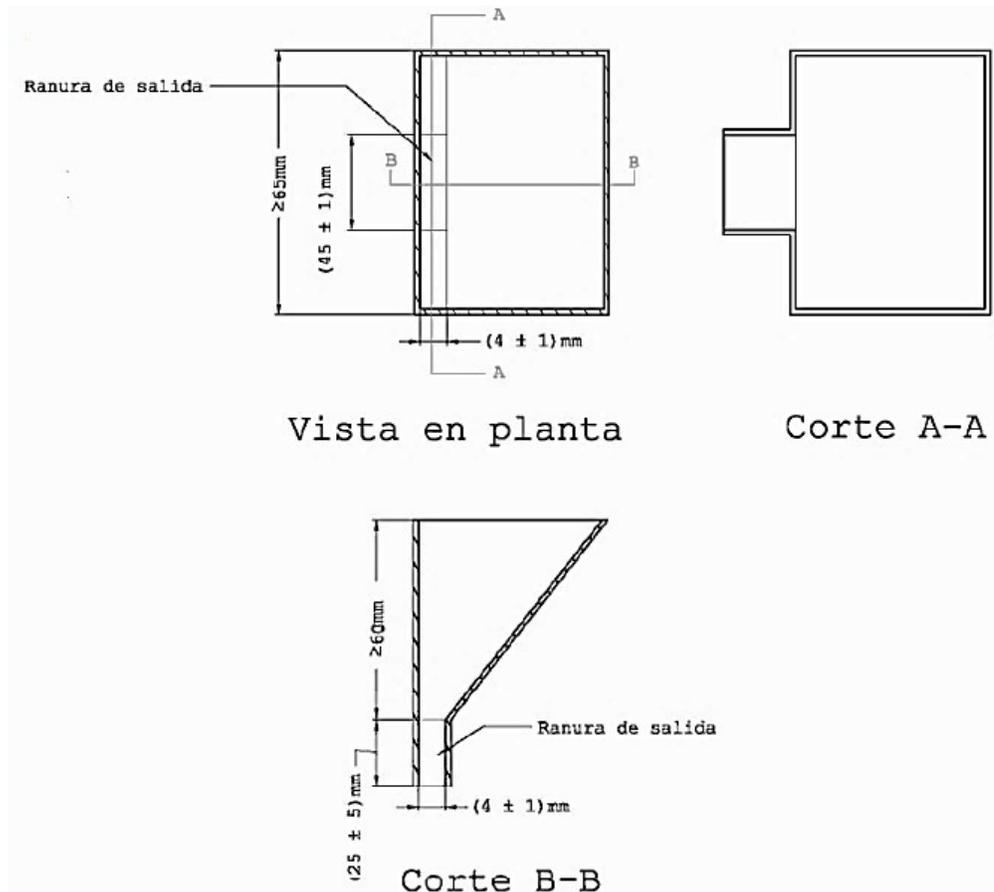


Figura 4. *Vistas en planta y lateral de la tolva y conducto de salida del material abrasivo.*

Fuente. *Norma COGUANOR NTG 41087, 2012.*

- **Herramientas adicionales.**

Las herramientas adicionales que se deben usar para el ensayo son: una lupa, una fuente de luz, una regla metálica y un vernier con divisiones como mínimo cada 0.1mm. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Preparación del espécimen

El espécimen de ensayo debe ser una unidad completa, o un trozo de unidad.

Pueden ser nuevos o extraídos de un piso o pavimento existente, y producto de uno o varios cortes, siempre y cuando incorporen la parte superior del material (cara de desgaste), con una dimensión mínima de 100mm x 70mm. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

La cara superior del espécimen (cara de desgaste), que es la que se ensaya al desgaste, debe ser plana, con una tolerancia de ± 1 mm, en dos direcciones perpendiculares, medida sobre, al menos, 70mm. La tolerancia de planicidad se debe determinar mediante una regla recta y laminillas calibradas (galgas) de acero de 1mm. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Si la cara superior presenta una textura rugosa o está por fuera de las tolerancias descritas anteriormente, se debe pulir, hasta alcanzar la tolerancia requerida. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

El espécimen de ensayo debe de estar limpio y seco. Su superficie se debe limpiar con una brocha, justo antes del ensayo. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

El espécimen se debe fijar firmemente al carro porta probetas móvil, y se debe verificar su alineación y la libertad de desplazamiento del carro. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Procedimiento de ensayo

La tolva de almacenamiento se debe llenar con el material abrasivo, en estado seco, y se debe colocar un recipiente vacío, bajo el disco metálico, para recoger el material abrasivo que fue usado para el ensayo. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Se debe retirar el porta espécimen para colocar y fijar el espécimen en el carro, separándolo del disco de abrasión, de tal manera que se produzca la huella con una distancia mínima de cualquier borde de 15mm. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Se debe colocar el espécimen en contacto con el disco metálico, abrir la válvula de control y distribución de flujo y, simultáneamente, se debe encender el motor, de tal manera que el disco metálico complete 75 revoluciones en 60 ± 3 s. Luego de las 75 revoluciones del disco, se debe suspender el flujo del material abrasivo y se debe detener el disco. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

Medición de la huella de desgaste

Se debe colocar el espécimen debajo de una lupa grande de al menos 2 aumentos, preferiblemente equipada con una luz, que facilite la medición de la huella del desgaste. Se deben trazar las líneas E1 y E2 con un lápiz con mina de diámetro de 0.5mm y una dureza 6H o 7H en los extremos de la huella. Se debe trazar la línea paralela AB en el punto medio de la distancia entre E1 y E2. Para determinar la longitud de la huella del desgaste, se deben colocar las puntas del calibrador en los puntos A y B (que son los extremos internos de la huella), y se debe registrar la medición con una aproximación de 0.1mm. (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

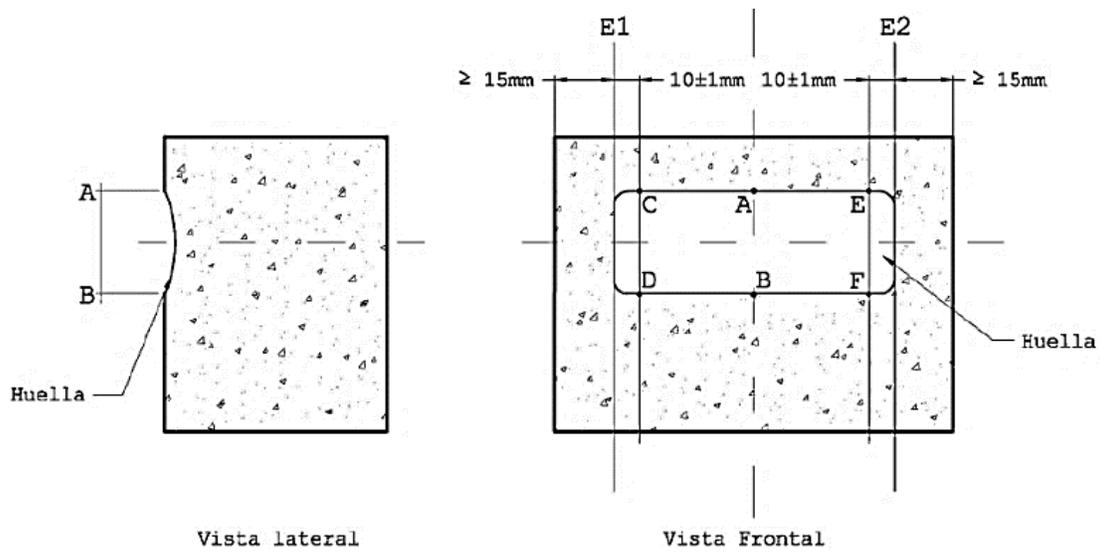


Figura 5. Lectura de huella formada después del ensayo.

Fuente. Norma COGUANOR NTG 41087, 2012.

Resultados del ensayo de abrasión con disco metálico ancho

El resultado, que se debe presentar con una aproximación de 0.5mm, debe ser la suma de la huella medida AB y la diferencia (positiva o negativa) entre 20.0mm y el valor de calibración (V_c). (Norma COGUANOR NTG 41087, 2012)

$$lh = AB + (20.0 - V_c)$$

Donde:

lh = Longitud de la huella resultante (mm)

V_c = Valor de calibración (mm)

AB = Longitud de la huella medida (mm)



Figura 6. *Ensayo de desgaste según NTG 41087.*

Fuente. *Norma COGUANOR NTG 41087, 2012.*

2.2.3. ACl. Tamaño máximo nominal del agregado

Se toma como referencia $1/5$ de la menor dimensión estructural para determinar el tamaño máximo nominal del agregado.

2.3. Definiciones conceptuales

Abrasión

Según la norma ASTM G-40 sobre denominaciones de términos relacionados con la erosión y la cavitación, define a la abrasión como el desgaste por desplazamiento de material de la superficie de un sólido debido a partículas duras o protuberancias duras que se deslizan a lo largo de la superficie. (Pruebas De Abrasión En Concreto De Alta Resistencia, 2000)

Erosión

Es el desgaste que se manifiesta como pérdida de material de la superficie de un sólido debido al contacto con un fluido que contiene partículas sólidas. (Pruebas De Abrasión En Concreto De Alta Resistencia, 2000)

Cavitación

Es el desgaste de un sólido debido al movimiento relativo de un líquido. (Pruebas De Abrasión En Concreto De Alta Resistencia, 2000)

Abrasión del hormigón

La resistencia a la abrasión del hormigón se define como “la capacidad de una superficie para resistir el desgaste por frotamiento y fricción” (ACI 116R).

2.4 Hipótesis

La resistencia a la abrasión del concreto con encofrados metálicos disminuye en un 10%, en comparación con el encofrado de madera.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Resistencia a la Abrasión de concreto

2.5.2. Variable independiente

Capacidad térmica del encofrado.

2.6. Operacionalización de variables (Dimensiones e Indicadores)

Tabla 1. *Operacionalización de variables.*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
Resistencia a la Abrasión de concreto	La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella, provocando daños superficiales intensos y con ello la destrucción total o parcial de la pieza.	Abrasión	Pérdida de peso	Kg, mm ³	Balanza, vernier
Capacidad térmica del encofrado	Capacidad térmica de un cuerpo es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta.	Capacidad térmica específica	Cambio de temperatura	$\frac{J}{Kg \cdot K}$	Termómetro, cronómetro y balanza.

Fuente. *Elaboración propia.*

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Población y muestra

3.1.1. Población

Encofrados metálicos y de madera que se fabrican en nuestro medio; por lo tanto, es infinito dado la imposibilidad de determinarlo.

3.1.2. Muestra

Siete encofrados metálicos y siete encofrados de madera para concretos con relación agua-cemento de 0.65 y 0.61.

3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

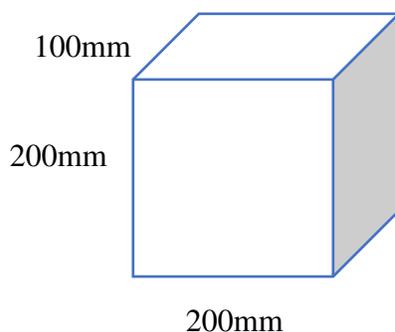
- La capacidad térmica de los materiales usados en los encofrados se determinó haciendo uso de los datos existentes en tablas para estos materiales.
- La resistencia a la compresión de nuestros concretos se evaluó mediante ensayos a probetas con bases paralelepípedos en la máquina universal de compresión.
- La resistencia a la abrasión se midió indirectamente determinando la cantidad de material perdido durante el ensayo, así mismo se tomaron medidas de la huella formada con el uso de un vernier.

3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

- Para el procesamiento de los datos obtenidos, y debido a la naturaleza de nuestra investigación hemos usado los parámetros básicos de la Estadística descriptiva.
- Los resultados los presentamos en Cuadros y Gráficos que también son herramientas de la estadística descriptiva.

3.4. Descripción del procedimiento para el desarrollo

- Determinamos que se empleen dos tipos de probetas para el ensayo de resistencia a la abrasión con muestras con relación agua-cemento de 0.65 y 0.61 cuyas dimensiones fueron de 200mm de longitud x 200mm de altura x 100mm de espesor.



- Fabricamos catorce encofrados, siete de metal con pernos y tuercas para el correcto desencofrado sin dañar la muestra y siete de madera tornillo; todos con las medidas especificadas anteriormente.

Ver Anexo 1.

- Utilizamos grava de $\frac{1}{2}$ ", arena gruesa y cemento Extraforte Pacasmayo que es el cemento tipo uno.
- Dado que el agregado comercializado no siempre cumple con el tamaño máximo especificado, tamizamos el agregado grueso por el tamiz de $\frac{1}{2}$ " y con ello cumplimos lo exigido en nuestra normativa de tomar como referencia 1/5 de la menor dimensión estructural para determinar el tamaño máximo nominal del agregado siendo este valor de 20mm, en referencia al espesor de la muestra (100mm).

Ver Anexo 2.

- De acuerdo con la tabla de dosificaciones de UNACEM se obtuvieron las cantidades exactas para la elaboración de muestras de concreto que alcancen

$f'c=175\text{kg/cm}^2$ con una relación agua-cemento de 0.65 y 0.61 para $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Tabla 2. *Dosificaciones de concreto.*

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	F'c RESISTENCIA A 28 DÍAS kg/cm^2	TAMAÑO DE PIEDRA	PESO				
				CEMENTO kg (bolsas)	AGUA (Litros)	ARENA kg	PIEDRA kg	HORMIGÓN kg
1- CIMIENTO	1.1- CIMIENTO CORRIDO	100	1"	242 [5.7]	171	774	1,170	--
	1.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA GRANDE (8")	100	--	242 [5.7]	178	--	--	1,885
	1.1.2- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 [6.7]	196	640	1,205	--
	1.1.2- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	--	283 [6.7]	200	--	--	1,792
1- CIMIENTO	1.2- FALSA ZAPATA	140	1"	283 [6.7]	196	640	1,205	--
	1.2.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	--	283 [6.7]	196	640	1,205	--
	1.3- ZAPATA CON O SIN REFUERZO	175	1"	317 [7.5]	204	816	1,029	--
	1.3- ZAPATA CON O SIN REFUERZO	175	--	317 [7.5]	204	816	1,029	--
2- SOBRECIMIENTO	2.1- SOBRECIMIENTO	140	1"	283 [6.7]	196	640	1,205	--
	2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	--	283 [6.7]	200	--	--	1,792
	2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 [6.7]	196	640	1,205	--
	2.1.2- CONCRETO SIMPLE	175	1"	317 [7.5]	204	816	1,029	--
	2.1.2- CONCRETO SIMPLE	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	2.1.2- CONCRETO SIMPLE	175	1"	317 [7.5]	204	816	1,029	--
2- SOBRECIMIENTO	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
	REFORZADO	175	3/4"	324 [7.6]	209	829	993	--
3- COLUMNAS Y PLACAS	3.1- COLUMNAS Y PLACAS	210	1"	375 [8.8]	230	735	1,035	--
	3.1- COLUMNAS Y PLACAS	210	3/4"	385 [9.1]	225	780	955	--
	3.1- COLUMNAS Y PLACAS	210	1/2"	388 [9.1]	237	849	841	--
	3.1- COLUMNAS Y PLACAS	280	1"	443 [10.4]	222	629	990	--
	3.1- COLUMNAS Y PLACAS	280	3/4"	460 [10.8]	230	655	924	--
3- COLUMNAS Y PLACAS	280	1/2"	463 [10.9]	232	730	810	--	

Fuente. *Unión Andina de Cementos S.A.A., Revista 2013.*

- Calculamos que para las catorce probetas o muestras con relación agua-cemento de 0.65 incluyendo un 10% de desperdicio se necesitó:

$$14 \times 0.20 \times 0.20 \times 0.10 \times 1.10 = 0.0616 \text{m}^3$$

Según la tabla:

$$\text{Cemento} = 0.0616 \times 324 = 19.9584 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.0616 \times 209 = 12.8744 \text{ lt}$$

$$\text{Arena} = 0.0616 \times 829 = 51.0664 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 0.0616 \times 993 = 61.1688 \text{ kg}$$

Ver Anexo 3.

- Se calculó que para las catorce probetas o muestras con relación agua-cemento de 0.61 incluyendo un 10% de desperdicio se necesitó:

$$14 \times 0.20 \times 0.20 \times 0.10 \times 1.10 = 0.0616 m^3$$

Según la tabla:

$$\text{Cemento} = 0.0616 \times 388 = 23.9008 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.0616 \times 237 = 14.5992 \text{ lt}$$

$$\text{Arena} = 0.0616 \times 849 = 52.2984 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 0.0616 \times 841 = 51.8056 \text{ kg}$$

Ver Anexo 4.

- Elaboramos las catorce primeras mezclas con relación agua-cemento de 0.65 y las vertemos dentro de los encofrados de metal y madera; con una varilla de acero de 500mm sometemos el concreto fresco a ciertos movimientos que permitan cubrir los espacios de manera homogénea logrando que las burbujas de aire asciendan a la superficie y luego procedemos a enrasar, aplanar y allanar la superficie de concreto para hacerla más densa y compacta, dándole la forma que deseamos.

Ver Anexos 5 y 6.

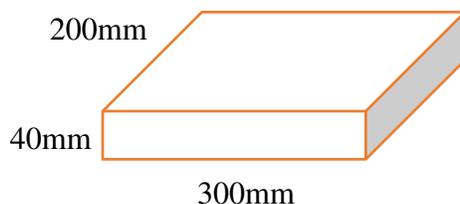
- Desencoframos al siguiente día para replicar de la forma más real, el procedimiento actual en obra.
- Elaboramos las catorce últimas mezclas con relación agua-cemento de 0.61 y las vertemos dentro de los encofrados de metal y madera; con una varilla de acero de 500mm sometemos el concreto fresco a ciertos movimientos que permitan cubrir los espacios de manera homogénea logrando que las burbujas de aire asciendan a la superficie y luego procedemos a enrasar, aplanar y allanar la superficie de concreto para hacerla más densa y compacta, dándole la forma que deseamos.

Ver Anexos 7 y 8.

- Desencoframos al siguiente día para replicar de la forma más real, el procedimiento actual en obra.
- Dejamos fraguar por 28 días a la intemperie hidratándolas por aspersión todos los días durante la primera semana y cada dos días el resto del tiempo.
- Determinamos la resistencia de nuestro concreto mediante el ensayo de compresión, sometiendo tres muestras por tipo de encofrado y por resistencia especificada respectivamente.

Ver anexos 9, 10 y 11.

- Fabricamos el carro porta probetas móvil formado por una base de madera de 300mm de longitud x 200mm de ancho x 40mm de espesor, unida en la parte inferior a 4 ruedas para su desplazamiento en un solo eje.



Ver Anexo 12.

- Adicionamos una polea pequeña para que el carro ejerciera una misma fuerza mediante un contrapeso de 3 kg para todas las muestras a ensayar.

Ver Anexo 13.

- Usamos un Esmeril de Banco de 350W con rueda de 200mm de diámetro, 10mm de espesor y grado de finura treinta y seis, marca TOTAL con un motor de 3450rpm, alcanzando aproximadamente los 40m/s.

Ver Anexo 14.

- Una vez armado el sistema procedimos a alinear todas las muestras para que alcancen el mayor eje tangencial con respecto al disco giratorio.

Ver Anexo 15.

- Pesamos cada una de las dieciséis muestras y las colocamos una a una dentro del sistema antes mencionado para ser sometidas al desgaste que produciría el disco esmeril N36 durante 60 segundos con ayuda del cronómetro.

Ver Anexos 16, 17, 18 y 19.

- Al retirar cada una de las muestras tomamos el registro de la huella de desgaste formada con un vernier de 0.05mm de aproximación para medir tanto longitud como profundidad.

Ver Anexos 20 y 21.

- Por último, volvimos a pesar todas las muestras, ahora esmeriladas, registrando todos los datos mediante fotografías a lo largo del proceso.

Ver Anexos 22, 23, 24 y 25.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Procesamiento de datos

4.1.1. Capacidad térmica o calorífica de materiales utilizados en esta investigación de acuerdo con datos existentes.

Tabla 3. *Capacidad calorífica de materiales.*

Material	Capacidad calorífica volumétrica (kcal/m ³ °C)
Madera	430
Metal	950

Fuente. *Einstein, Albert, Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme, 1907.*

4.1.2. Ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.65.

Ver Anexo 10.

Tabla 4. *Resultados del ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.*

Madera	Fuerza (kgf)	F'c (kg/cm ²)	Metal	Fuerza (kgf)	F'c (kg/cm ²)
1	25 165.60	142.40	1	28 506.70	161.30
2	30 689.30	173.60	2	27 674.10	156.60
3	28 387.50	160.60	3	32 456.80	183.60
Promedio		158.90	Promedio		167.20

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.3. Ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.61.

Ver Anexo 11.

Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión para muestras con relación agua-cemento de 0.61 en ambos tipos de encofrado.

Madera	Fuerza (kgf)	F'c (kg/cm ²)	Metal	Fuerza (kgf)	F'c (kg/cm ²)
1	39 008.50	220.70	1	37 718.20	213.40
2	43 109.00	243.90	2	44 044.00	249.20
3	36 304.20	205.40	3	42 610.50	241.10
Promedio		223.30	Promedio		234.60

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.4. Ensayo de abrasión con material abrasivo y disco metálico modificado para calcular la huella en muestras con relación agua-cemento de 0.65.

Tabla 6. Resultados de la huella formada por el ensayo de abrasión para muestras con relación agua-cemento de 0.65 en ambos tipos de encofrado.

Madera	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Volumen (mm ³)	Metal	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Volumen (mm ³)
4	1.20	30.90	-	4	0.50	19.45	66.55
5	0.65	21.60	98.34	5	0.65	20.09	96.77
6	1.00	24.85	184.47	6	0.90	23.75	157.86
7	0.95	24.30	170.98	7	0.75	21.25	119.36
Promedio			151.27	Promedio			110.13

Fuente. *Elaboración propia.*

Cabe indicar que en la Tabla 6 se eliminó el dato Madera 4 por no encontrarse dentro de la desviación estándar.

Tabla 7. Resultados de la pérdida de peso durante el ensayo de abrasión en muestras con relación agua-cemento de 0.65 para ambos tipos de encofrado.

Madera	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Pérdida (gr)	Metal	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Pérdida (gr)
4	9 721	9 716	5	4	9 494	9 490	4
5	9 824	9 819	5	5	9 547	9 543	4
6	9 892	9 887	5	6	9 623	9 619	4
7	9 694	9 690	4	7	9 435	9 430	5
Promedio			5	Promedio			4

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.5. Ensayo de abrasión con material abrasivo y disco metálico modificado para calcular la huella en muestras con relación agua-cemento de 0.61.

Tabla 8. Resultados de la huella formada por el ensayo de abrasión para muestras con relación agua-cemento de 0.61 en ambos tipos de encofrado.

Madera	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Volumen (mm ³)	Metal	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Volumen (mm ³)
4	0.25	19.10	18.72	4	0.50	20.07	66.61
5	0.50	22.85	64.47	5	0.50	19.50	66.56
6	0.65	24.19	98.13	6	0.50	23.30	63.72
7	0.60	19.30	85.82	7	0.30	17.95	29.73
Promedio			66.79	Promedio			56.66

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 9. Resultados de la pérdida de peso durante el ensayo de abrasión en muestras con relación agua cemento de 0.61 para ambos tipos de encofrado.

Madera	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Pérdida (gr)	Metal	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Pérdida (gr)
4	9 273	9 267	6	4	9 295	9 290	5
5	9 369	9 363	6	5	9 325	9 320	5
6	9 350	9 345	5	6	9 299	9 294	5
7	9 297	9 292	5	7	9 170	9 162	-
Promedio			5.5	Promedio			5

Fuente. *Elaboración propia.*

Cabe indicar que en la Tabla 9 se eliminó el dato Metal 7 por no encontrarse dentro de la desviación estándar.

4.1.6. Comparación de resultados en ambos tipos de encofrado.

Tabla 10. Porcentaje de la comparación de resultados para encofrado de madera y metal en muestras con relación agua-cemento de 0.65.

Tipo de encofrado	F'c de ensayo (kg/cm²)	Volumen de huella (mm³)	Pérdida de masa (gr)
Madera	158.90	151.27	5
Metal	167.20	110.13	4
Porcentaje	105%	137%	125%

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 11. *Porcentaje de la comparación de resultados para encofrado de madera y metal en muestras con relación agua-cemento de 0.61.*

Tipo de encofrado	F'c de ensayo (kg/cm²)	Volumen de huella (mm³)	Pérdida de masa (gr)
Madera	223.3	66.59	5.5
Metal	234.6	56.66	5
Porcentaje	105%	118%	110%

Fuente. *Elaboración propia.*

4.2. Contrastación de Hipótesis y Prueba de hipótesis.

En contrastación con la hipótesis inicial de que el encofrado metálico disminuye la resistencia a la abrasión del concreto en comparación al encofrado de madera, decimos que nuestros resultados indicaron que las muestras de encofrado de metal son más resistentes a la abrasión por pérdida de peso durante el ensayo y formación de huella menor a los resultados de las muestras con encofrados de madera.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Según la tabla 4, en muestras con relación agua-cemento de 0.65 se obtuvo mayor resistencia a la compresión en aquellas encofradas con metal, alcanzando 167.20kg/cm^2 en comparación a las formadas con madera que llegaron a 158.90kg/cm^2 .
- La resistencia a la compresión que refleja la tabla 5 en muestras con relación agua-cemento de 0.61, determinan que aquellas sometidas al encofrado metálico llegaron a 234.60kg/cm^2 ; sin embargo, las muestras elaboradas con madera alcanzaron 223.30kg/cm^2 durante el ensayo.
- La resistencia a la abrasión en muestras con relación agua-cemento de 0.65 se vio beneficiada por el encofrado metálico obteniendo menor desgaste de acuerdo con la huella volumétrica de 110.13mm^3 y pérdida de peso de 4 gramos durante el ensayo, en comparación con las muestras provenientes del encofrado de madera alcanzando una huella volumétrica de 151.27mm^3 y pérdida de peso de 5 gramos durante el ensayo de abrasión. (Ver tabla 6 y 7)
- En las tablas 8 y 9, para muestras con relación agua-cemento de 0.61, también que se produce mayor desgaste superficial en aquellas formadas por madera obteniendo una huella volumétrica de 66.79mm^3 y por ende mayor pérdida de peso de durante el ensayo de 5.5 gramos, en cambio, en las formadas por metal se obtuvo una huella volumétrica de 56.66mm^3 y pérdida de peso de 5 gramos.
- Las resistencias a la abrasión mayores en los concretos encofrados con metal frente a los concretos encofrados con madera probablemente se deben a que la energía necesaria en el proceso de endurecimiento de estos está siendo beneficiada por la mayor capacidad térmica del material con el que es encofrado, siendo lo contrario a lo usualmente esperado y que además es nuestra hipótesis inicial.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Concluimos que aquellas muestras con relación agua-cemento de 0.65 y 0.61 formadas con metal obtuvieron 5% más resistencia a la compresión que la formadas por madera.
- Resumimos que en muestras con relación agua-cemento de 0.65 y formadas con encofrado de madera, se halló 37% más de desgaste superficial de acuerdo con la huella volumétrica obtenida y 25% más en pérdida de peso durante el ensayo de abrasión superficial; en comparación con el encofrado metálico.
- Finalmente, en muestras con relación agua-cemento de 0.61 y elaboradas con encofrado de madera, se halló 18% más de desgaste superficial de acuerdo con la huella volumétrica obtenida y 10% más en pérdida de peso durante el ensayo de abrasión superficial; en comparación con el encofrado metálico.
- Por último, comparamos las variaciones de la resistencia a la abrasión en muestras con encofrado metálico y encofrado tradicional de madera de acuerdo con las diferentes relaciones agua-cemento trabajadas, siendo 0.65 y 0.61; y podemos comprobar que la capacidad calorífica del metal de 950kcal/m³ beneficia enormemente a la reacción exotérmica producida por la cristalización durante el proceso de endurecimiento del concreto siendo su mayor influencia en las primeras 24 horas, sin embargo, la madera con capacidad calorífica de 430kcal/m³ reduce la resistencia a la abrasión en concretos encofrados con dicho material.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Se aconseja diseñar un sistema que pueda medir la capacidad térmica que produce el encofrado durante las primeras veinticuatro horas de fraguado.
- Recomendamos que se pruebe con distintos espesores de encofrado para comprobar si a mayor capacidad calorífica mayor resistencia alcanza el concreto, tanto en compresión como abrasión.
- Sugerimos que se evalúen a futuro encofrados con secciones compuestas que tengan como material base a delgadas láminas de metal que aporten a la capacidad calorífica durante el proceso de fraguado y quizás crear un nuevo tipo de encofrado que satisfaga las necesidades de resistencia tanto en compresión como abrasión, mejorando el costo de este.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander Lucero Sandoval, Encofrados, Sencico, Perú, 2016.
- I. Hilerio y F. González, Abrasión en Concreto de Alta Resistencia, Departamento de materiales, UAM Azcapotzalco, Mexico DF, 2003.
- Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, United States, 1995.
- Norma Técnica Guatemalteca 41087, Comisión Guatemalteca de Normas, 2012.
- Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)
- Revista ARQHYS. 2012, 12. Abrasión del hormigón. Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com.
- Unión Andina de Cementos S.A.A., Tabla de Dosificaciones, Revista 2013.
- Alberte Einstein, Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme, 1907.

ANEXOS

ANEXOS



Anexo 1. Placas de metal con pernos y tuercas.



Anexo 2. Colando el agregado por el tamiz de 1/2"



Anexo 3. Cantidad de piedra, arena y cemento considerando 4 baldes de cada uno.



Anexo 3. Cantidad de piedra, arena y cemento considerando 4 baldes de cada uno.



Anexo 5. Vertemos la mezcla en los 14 encofrados.



Anexo 6. Eliminamos los espacios mediante el chuzado.



Anexo 7. *Reglamos y compactamos la parte superior de la muestra con un badilejo.*



Anexo 8. *Se observan las 14 muestras regladas.*



Anexo 9. Se somete la muestra a prueba de compresión.



Anexo 10. Resultados de la prueba en muestras de 175kg/cm².



Anexo 11. Resultados de la prueba en muestras de 210kg/cm².



Anexo 12. Carro porta probetas móvil modificado.



Anexo 13. Polea para el contrapeso.



Anexo 14. *Esmeril de banco Total 350w rueda 8”.*



Anexo 15. *Ensayos previos para comprobar que el plano de muestra quedó ubicado tangencialmente al plano del disco abrasivo.*



Anexo 16. Muestras de madera de $f'c=175\text{kg/cm}^2$.



Anexo 17. Muestras de metal de $f'c=175\text{kg/cm}^2$.



Anexo 18. Muestras de madera de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.



Anexo 19. Muestras de metal de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.



Anexo 20. *Huella formada por el disco esmeril N36.*



Anexo 21. *Se tomaron medidas de longitud y profundidad con un vernier.*



Anexo 22. Muestras de madera de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ después de ser sometidas al ensayo.



Anexo 23. Muestras de metal de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ después de ser sometidas al ensayo.



Anexo 24. Muestras de madera de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ después de ser sometidas al ensayo.



Anexo 25. Muestras de metal de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ después de ser sometidas al ensayo.