



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño y análisis económico de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con adición de arcilla expansiva y parafina para vereda en la Av. Domingo Orué – tramo comprendido entre Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones para reducir el in confort térmico.

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Angulo Ventura, Cesar Andre	0000-0002-7030-0469
Pacheco Montalvo, Juan Manuel Espiritu	0009-0008-8714-749X

ASESOR(ES)

López Pasapera, Karla Lisette	0000-0001-8995-1854
-------------------------------	---------------------

Lima, 12 de noviembre de 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedicamos con mucho cariño a nuestros padres y familiares, por su sacrificio y apoyo incondicional durante todas las etapas de nuestras vidas.

RESUMEN

Las altas temperaturas en la vía urbana y la continuación lineal de las edificaciones de nuestras ciudades conducen al efecto de cañón urbano al estar expuesto a las altas temperaturas y la radiación solar. Esta acumulación de calor tiene efectos negativos en el medio ambiente generando incomfort térmico de la población que en consecuencia afecta al balance energético de las ciudades y problemas térmicos en el concreto. La incorporación de materiales de cambio de fase (PCM) es una de las posibles formas de reducir esta temperatura. Los materiales cambio de fase encapsulados pueden almacenar energía en forma de calor latente sin aumento de temperatura. En este estudio se utilizó la arcilla expansiva y parafina, que se denomina como ECA, como agregado grueso para el diseño de concreto y sus propiedades. El procedimiento del ECA es incorporar el 15% de agregado grueso de la arcilla expansiva y el 6% de parafina en función del cemento. Los resultados del ensayo de concreto endurecido del diseño ECA-15% se muestran una resistencia a la compresión de 245.96 kg/cm² a los 7 días y en la resistencia de tracción de 25.40 kg/cm² a los 7 días cumpliendo y superando con los límites establecidos en la norma. A partir de una demostración de campo, se observó que las losas de concreto construidas para la vereda con ECA-15% a diferencia de un concreto convencional, reduce la temperatura máxima de la superficie del concreto hasta 6.50°C y 3.40°C respectivamente con respecto al concreto convencional del tramo estudiado.

Palabras claves: arcilla expansiva, parafina, materiales cambio de fase, veredas, pavimento rígido

ABSTRACT

The high temperatures on urban roads and the linear continuation of the buildings in our cities lead to the urban canyon effect when exposed to high temperatures and solar radiation. This accumulation of heat has negative effects on the environment, thermal discomfort of the population, affects the energy balance of cities and thermal problems in concrete. The incorporation of phase change materials (PCM) is one of the possible ways to reduce this temperature. Encapsulated phase change materials can store energy in the form of latent heat without increasing temperature. In this study, expansive clay and paraffin were used as coarse aggregate for the design of concrete and its properties. The results of the hardened concrete test of the ECA-15% design show a compressive strength of 276.26 kg/cm² at 28 days and a tensile strength of 25.40 kg/cm² at 14 days, meeting and exceeding the limits established in the standard. From a field demonstration, it was observed that concrete slabs built for the sidewalk with ECA-15%, unlike conventional concrete, reduce the maximum temperature of the concrete surface up to 6.50°C and 3.40°C respectively with respect to the conventional concrete of the studied section.

Keywords: expansive clay, paraffin, phase change materials, sidewalks, rigid pavement.

u201611834_Angulo Ventura, Cesar Andre_Diseño y análisis económico de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con adición de arcilla expansiva y parafina para vereda en la Av. Domingo Orué – tramo comprendido entre

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	transparencia.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	1
ESTADO DEL ARTE	2
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	5
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	5
Capítulo 1. Marco teórico.....	6
1.1. BASES TEÓRICAS	6
1.1.1. Agregados.....	6
1.1.2. Arcilla expansiva.....	6
1.1.3. Parafina.....	7
1.1.4. Cemento.....	7
1.1.5. Agua	8
1.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	8
1.2.1. Concreto	8
1.2.2. Ensayo de compresión	8
1.2.3. Ensayo de asentamiento.....	8
Capitulo II. Metodología	9
2.1. PROCEDIMIENTO	9
2.1.1. Etapa 1: Área de estudio para la investigación.....	9
2.1.2. Etapa 2: Determinar las características y recopilar los datos de temperatura y humedad superficial y ambiental del área de estudio.....	9
2.1.3. Etapa 3: Identificación de los materiales.....	9
2.1.4. Etapa 4: Determinar el diseño del concreto propuesto y elaboración de los testigos	10
2.1.5. Etapa 5: Pruebas en el estado Fresco.....	10
2.1.6. Etapa 6: Pruebas en el estado endurecido.....	10
2.1.7. Etapa 7: Puesta en marcha de prototipo.....	10

2.1.8.	Etapa 8: Medición de la temperatura del prototipo y veredas in situ y análisis de resultados	10
2.1.9.	Etapa 9: Análisis económico del concreto propuesto en comparación con el concreto convencional	10
Capítulo III. Desarrollo de la tesis		11
3.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO Y RECOPIACIÓN LOS DATOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SUPERFICIAL Y AMBIENTAL DEL TRAMO EN ESTUDIO	11
3.1.1.	Características de la zona de estudio	11
3.1.2.	RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SUPERFICIAL Y AMBIENTAL DEL TRAMO EN ESTUDIO	12
3.1.3.	Análisis de resultados	21
3.2.	DISEÑO DEL CONCRETO CON ARCILLA EXPANSIVA Y PARAFINA	23
3.2.1.	Características de los agregados	23
3.2.2.	Cálculos del diseño de concreto	29
3.2.3.	Dosificación del concreto para veredas	31
3.2.4.	Procedimiento de la elaboración del agregado grueso ECA 15%	33
3.2.5.	Análisis de resultados	35
3.3.	ENSAYOS EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	36
3.3.1.	Ensayo en estado Fresco	36
3.3.2.	Ensayo en estado Endurecido	38
3.3.3.	Análisis de resultados	41
3.4.	PROTOTIPO DE VEREDA DE CONCRETO CON ADICIÓN DE ARCILLA EXPANSIVA Y PARAFINA	44
3.4.1	Diseño	44
3.4.2.	Análisis de resultados	44
Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones		48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de temperatura ambiental entre las 10:00 am a 11:00 am.....	13
Tabla 2 Datos de temperatura ambiental entre las 12:00 am a 13:00 pm.....	14
Tabla 3 Datos de temperatura ambiental entre las 14:00 pm a 15:00 pm.....	15
Tabla 4 Datos de humedad ambiental entre las 10:00 am a 11:00 am	15
Tabla 5 Datos de humedad ambiental entre las 12:00 pm a 13:00 pm.....	16
Tabla 6 Datos de humedad ambiental entre las 14:00 pm a 15:00 pm.....	16
Tabla 7 Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 10:00 am a 11:00 am	17
Tabla 8 Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 12:00 pm a 13:00 pm	18
Tabla 9 Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 14:00 pm a 15:00 pm	19
Tabla 10 Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 10:00 am a 11:00 am	19
Tabla 11 Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 12:00 pm a 13:00 pm.....	20
Tabla 12 Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 14:00 pm a 15:00 pm.....	21
Tabla 13 Muestra para análisis granulométrico.....	24
Tabla 14 Pasante acumulado % del agregado grueso.....	25
Tabla 15 Resultados de la granulometría del agregado grueso	26
Tabla 16 Pasante acumulado % del agregado fino	27
Tabla 17 Resultados de la granulometría del agregado fino.....	27
Tabla 19 Caracterización de los agregados	29
Tabla 20 Criterio del diseño para mezcla de concreto con arcilla expansiva y parafina....	30
Tabla 21 Detalles del diseño de mezcla del concreto del peso resultante	32

Tabla 22 Dosificación en volumen de obra	32
Tabla 23 Dosificación de la mezcla de concreto con arcilla expansiva y parafina	35
Tabla 24 Consistencia del concreto fresco	36
Tabla 25 Clase de mezcla según su asentamiento	37
Tabla 26 Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de la dosificación ECA-15% en kg/cm ²	39
Tabla 27 Resultados de ensayos a 7 días para la dosificación ECA-15%	40
Tabla 28 Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados	40
Tabla 29 Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación.....	41
Tabla 30 Medición de datos del prototipo de losa.....	45
Tabla 31 Medición de datos del concreto convencional.....	45
Tabla 32 Costo unitario del concreto $F'c = 175$ con adiciones de arcilla y parafina	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Av. Domingo Orué –tramo Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones	11
Figura 2 Localización de los puntos de medición en veredas	13
Figura 3 Comparativo de las temperaturas superficiales promedio de los 10 días estudiados	22
Figura 4 Comparativo de las temperaturas superficiales promedio de los 10 progresivas estudiadas	23
Figura 5 Muestra de arena gruesa.....	25
Figura 6 Muestra de piedra triturada	25
Figura 7 Curva granulométrica del agregado grueso	26
Figura 8 Figura de curva granulométrica del agregado fino	28
Figura 9 Materiales utilizados para el diseño de concreto en el laboratorio	33
Figura 10 Recubrimiento de la arcilla expansiva con la parafina líquida	34
Figura 12 Preparación del concreto con arcilla expansiva y parafina	37
Figura 13 Slump del concreto de arcilla expansiva y parafina.....	37
Figura 14 Probeta cilíndricas.....	39
Figura 15 Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expansiva y parafina	42
Figura 16 Gráfica de resultados de la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expansiva y parafina	43
Figura 17 Prototipo de losa de concreto con arcilla expansiva y parafina	44
Figura 18 Análisis del precio unitario de la partida de vereda de concreto E = 4”	47

Introducción

Actualmente, las olas de calor están entre los fenómenos más mortales de nuestro planeta, se generan por el aumento anómalo de las temperaturas, con una duración de 2 o más días consecutivos. En España, entre el 11 y el 16 de agosto del 2021 se vivió un episodio de ola de calor de 6 días de duración, quedando muy lejos de las olas de calor más duraderas, de 16 días en 2003 en Europa. Durante el verano de 2003, una ola de calor europea resultó en 25.000 a 70.000 muertes en toda Europa. En el año 2003 en Europa se presenta la más devastadora ola de calor en función al impacto de las personas, considerando que son frecuentes las olas de calor (Lai et al., 2019). Se genera el efecto de cañón urbano en los días intenso de calor, el cual son mayores en ciudades conformadas por edificios altos y una calle corta que no permita la circulación de viento. Estas ciudades dificultan el flujo libre de aire, provocando una acumulación de contaminantes en el aire, que no puede ventilar afectando a la salud humana. Debido a las altas temperaturas que pueden absorber los edificios altos y lo liberan en las noches, vehículos y la industria libera calor térmico; los edificios disminuyen el flujo de aire; la falta de espacios verdes y la ciudad con pavimentos también aumentan la absorción y el almacenamiento de la radiación solar (Rossi et al., 2016).

Hoy en día las olas de calor generan el efecto de cañón urbano, se le llama Cañón Urbano a las calles que están conformadas por edificaciones en los lados y pavimento en la zona central, el cual provoca una acumulación de calor a las calles, al estar expuesto a la radiación solar (Qin et al., 2021). Según Kubilay et al. (2019) “El cañón de la calle depende de una combinación de factores como la permeabilidad a la humedad, la capacidad de humedad y difusividad térmica de los materiales” (p.101574). Esta acumulación de calor tiene efectos negativos en el medio ambiente, inconfort térmico en la vía urbana y afecta al balance energético de las ciudades. Las principales 3 consecuencias son el aumento de la demanda de electricidad pico y total para refrigeración, un mayor consumo de energía de varias instalaciones urbanas como iluminación exterior el empeoramiento del confort térmico en los espacios exteriores y la calidad del aire condiciones y riesgos para la salud humana y aumento de la mortalidad (Ferrari et al., 2020). Uno de los orígenes principales de los efectos negativos del problema, es el incremento de calor en el pavimento rígido.

El diseño de investigación aplicado será experimental, puesto que en la investigación contiene medición de datos en el tramo estudiado, diseño de dosificaciones de las técnicas, análisis de datos de ensayos en concreto en estado fresco y endurecido, la resistencia a la

compresión y tracción del concreto, además de analizar el comportamiento térmico superficial en prototipos de vereda de concreto. El lugar de estudio es la Av. Domingo Orué – tramo comprendido Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones, ubicado en el distrito de Surquillo, Lima. Para la recopilación de información se utilizó la técnica utilizada para recolectar, procesar y analizar los datos con el sistema de evaluación de pavimentos en el SCT Instituto mexicano del transporte. Para la medición de vereda de edificaciones, se designaron puntos de medición separados a 50 m a lo largo de la vía colectora. El recorrido del tramo estudiado tiene 2 mediciones por punto en ambos tramos de la calle y en el horario de 11:00 am – 15:00 pm para mejores resultados.

El enfoque de este estudio es principalmente en el desarrollo del concreto de arcilla expansiva con parafina según la norma E.060 y el ACI211 con porcentajes de reemplazo de 10% al 15% del agregado grueso por arcilla expansiva con parafina, debido a que el diseño cumple con las condiciones para poder reducir el inconfort térmico de las veredas de la vía urbana, con un rango de 4.40°C a 6.50°C de reducción de calor superficial que tiene las veredas de la Av. Domingo Orué – tramo comprendido Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones, y con un concreto de resistencia 175 kg/cm².

Estado del arte

Según Anupam et al. (2021) en su investigación “Rendimiento térmico y mecánico del cambio de fase del material incorporado en pavimentos de hormigón” consideran que el incremento de la temperatura en el pavimento genera el efecto de isla de calor urbano (UIH) por lo que plantea incorporar la parafina como uno de los “materiales cambio de fase” (PCM) en adición del agregado grueso en el pavimento como posible forma de reducir la temperatura. La metodología aplicada consiste en elaborar dos tipos de concreto: OM35 y OM44 con adición al concreto de arcilla expansiva con parafina como sustitución parcial del agregado grueso. El primer resultado se obtuvo que al reemplazar el 10% del agregado grueso, el concreto con adiciones de PCM obtuvo excelentes propiedades térmicas (calor latente de 46.37 J/g) sin perder las propiedades mecánicas del concreto convencional. En el segundo resultado se observó que al incorporar el diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina redujo la temperatura superficial del pavimento de 1.85°C a 2.76°C.

Según Anupam et al. (2020) en su investigación “Materiales de cambio de fase para aplicaciones de pavimento: una revisión: Materiales de Construcción” la temperatura elevada del pavimento contribuye al efecto de isla de calor urbano y a los daños térmicos en los pavimentos. La incorporación de materiales de cambio de fase (PCMs) como la parafina, en pavimentos para restringir la temperatura las extremidades, están surgiendo como un campo de importancia para la investigación. La incorporación de PCM puede restringir tanto la extremidad de mayor y menor temperatura en las aceras. Los PCM pueden almacenar energía en forma de calor latente sin ningún aumento de temperatura y con un mínimo cambio de volumen. Este artículo proporciona una perspectiva general sobre diferentes PCM y sus técnicas de encapsulación utilizadas para aplicaciones de pavimento, su primer resultado muestra La incorporación de PCM en pavimentos reduce la velocidad de calentamiento y enfriamiento, restringe los picos de temperatura y retrasa la aparición de temperaturas extremas. Así como también muestra que se necesitan más estudios para aumentar la cantidad de PCM que se puede incorporar sin afectar significativamente la resistencia mecánica de estos pavimentos.

Según Somani y Gaur (2020) en su investigación “Evaluación y reducción de tensiones térmicas en pavimentos de hormigón mediante el uso de material de cambio de fase” presentan el estudio del uso potencial de la parafina como material cambio de fase (PCM) para la reducción de tensiones de temperatura en pavimentos. La metodología se basa en elaborar el concreto con diferentes porcentajes de PCM para analizar las variaciones de las propiedades mecánicas utilizando un simulador de calor interior con sensores de temperatura para las muestras. Se concluyó que la mezcla de Concreto Convencional muestra una diferencia de temperatura máxima de 17,3 C, que es superior a la diferencia de temperatura permitida según la recomendación del IRC. Por otro lado, el concreto mixto con PCM muestra una diferencia de temperatura de 14.3 C y 10.9 C respectivamente para 4% y 6% de contenido de PCM.

Según Marani y Nehdi (2019) en su artículo científico de “Integración de materiales de cambio de fase en materiales de construcción: revisión crítica” presentan que los materiales cambio de fase como la parafina, tienen grandes beneficios sobre las propiedades térmicas, mecánicas y de durabilidad en los materiales de construcción y pavimento, pueden alterar la masa térmica y inercia térmica de los materiales de

construcción. En el estudio se examina los métodos potenciales para poder incorporar el PCM en materiales de construcción, incluido la microencapsulación y macroencapsulación.

Según Sharifi et al. (2020) en su artículo científico de “Comportamiento a la fractura de un pavimento de concreto rico en PCM bajo esfuerzos térmicos” se muestra que las tensiones del pavimento rígido son resultado de la gradiente de temperatura y se demostró que la incorporación de PCM (arcilla y parafina) mejora el comportamiento de fatiga por alabeo de la losa de hormigón. Los hallazgos de esta investigación demostraron que la losa de concreto modificado con PCM sufre un proceso de fractura inducido por alabeo que es menos severo que la losa sin PCM.

Hipótesis

El concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con adiciones de arcilla expansiva y parafina como reemplazo parcial del agregado grueso reduce el incomfort térmico de las veredas de la Av. Domingo Orué – tramo comprendido Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones.

Objetivo general

Elaborar un diseño de concreto de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con arcilla expansiva y parafina para reducir el incomfort térmico en el tramo de la Avenida Domingo Orué en el tramo comprendido desde la Av. Panamá hasta Ca. Los Halcones y el análisis económico de la propuesta.

Objetivos específicos

Determinar las características de la zona de estudio y recopilar los datos de medición de temperatura y humedad superficial y ambiental del tramo en estudio.

Elaborar el diseño del concreto con arcilla expansiva y parafina.

Realizar los ensayos en estado fresco y endurecido del concreto propuesto.

Determinar el prototipo de vereda de concreto con adición de arcilla expansiva y parafina para una vía urbana a edades de 3, 7 y 14 días.

Análisis del costo unitario del diseño de concreto con adición de arcilla expansiva y parafina.

Limitaciones del proyecto

La presente investigación consiste en elaborar un diseño de concreto y elaborar los respectivos controles de calidad al mismo por lo que una de las limitaciones del proyecto es la dosificación que conlleve un óptimo concreto por lo que hasta no encontrar la dosificación, no se podrá continuar con el flujo de la investigación.

Por otro lado, otra limitación en el proyecto es la prueba del concreto diseñado en el área de estudio debido a que no se cuenta con los permisos respectivos por la Municipalidad de Surquillo para poder reemplazar de manera parcial el pavimento por el concreto elaborado por lo que se diseñará y colocará un prototipo en el área de estudio de manera no invasiva sin alterar los resultados que se puedan obtener.

Descripción del contenido

La presente investigación trata de reducir el inconfort térmico ocasionado por el crecimiento del sector construcción a través de edificios multifamiliares ubicados principalmente en las avenidas colectoras de los distritos de Lima a través del diseño de un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ para vereda donde se reemplaza de manera parcial la cantidad de agregado grueso por la arcilla expansiva y parafina (material PCM), el cual se validó mediante la elaboración de un prototipo de concreto que se ubicó de manera estratégica en la zona de estudio de manera que sea lo menos invasiva. El tramo de estudio se encuentra en la Av. Domingo Orué – tramo comprendido entre la Av. Panamá y la Ca. Los Halcones en el distrito de Surquillo. Se concluye que el concreto con 15% de adición de arcilla expansiva y parafina reduce la temperatura superficial del concreto de $3.4 \text{ }^\circ\text{C}$ a $6.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y en el análisis económico se determinó que el concreto propuesto tiene un menor valor entre el 2.42% y 6% respecto al concreto convencional.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1. Bases teóricas

1.1.1. Agregados

Los agregados de construcción son materiales o también un conjunto de partículas de origen tanto natural como artificial utilizados en la construcción de todo tipo de edificaciones, obras viales y en general toda infraestructura (Chan, 2003). Su importancia recae en que son fundamentales para dar resistencia y durabilidad al concreto, además de mejorar el aspecto y proporcionar una superficie adecuada. Asimismo, los agregados pueden ser clasificados de diferentes maneras tales como por origen, color, tamaño de partículas, modo de fragmentación, peso específico y reciclados (Silva, s.f.). Para la presente investigación, en general para el sector construcción, se va a utilizar la clasificación por tamaño de partícula, el cual se detalla a continuación:

Agregado fino. Se define como agregado fino al conjunto de partículas que pasa 100% el tamiz 3/8” pero queda retenido en la malla N° 200 cuando se realiza el análisis de granulometría (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2001).

Agregado Grueso. Se define como agregado grueso al conjunto de partículas que es retenido el 100% en el tamiz N° 4 o superior. Dicho agregado es proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca (INACAL, 2001).

1.1.2. Arcilla expansiva

La arcilla expansiva es un material orgánico que tiene la característica de alterar su volumen de manera extrema dependiendo de su contenido de agua. Este tipo de material muestra un comportamiento de hinchamiento y retracción debido a la presencia de minerales como la esméctica en su composición (Rodríguez, 2020). En otras palabras, la esméctica tiene una gran atracción por el agua por lo que, si el suelo presenta un alto contenido de dicho mineral, este tenderá a expandirse y por el contrario si hay un bajo contenido tenderá a reducirse. Estas variaciones del volumen de la arcilla pueden ser desde un 20% a un 50%“ LECA es un material impresionantemente versátil que se utiliza en diversas aplicaciones. Por ejemplo, en el campo de la construcción, puede usarse ampliamente en la producción de bloques livianos, concreto, prefabricados y como relleno estructural contra cimientos” (Rashad, 2018, p. 170). El LECA como nombre técnico es la arcilla expansiva.

1.1.3. Parafina

La parafina es un tipo de Material de Cambio de Fase (Phase Change Materials, PCMs) cuya característica principal es cambiar de líquido a sólido y sólido a líquido a una determinada temperatura absorbiendo y liberando calor lo cual lo hace ideal para la reducción de temperatura del concreto (Somani & Gaur, 2020) cuando alcance una temperatura superior a la de cambio de fase de la parafina (Anupam et al., 2021).

1.1.4. Cemento

El cemento es un material inorgánico o artificial de suma importancia en el sector construcción, ya que es utilizado para elaborar la estructura de las edificaciones (Cemex, 2019). También definido como un cemento hidráulico elaborado a través de un proceso de pulverización del Clinker compuesto principalmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda (INACAL, 2013).

En Perú se elaboran diferentes tipos de cementos de acuerdo a las necesidades de cada proyecto. Según el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2013), dichos cementos están clasificados de acuerdo a las normas NTP 334.009 (Cementos. Cemento portland – requisitos), NTP 334.090 (Cemento. Cemento portland adicionado – requisitos) y NTP 334.082 (Cementos portland especificación de la performance), los cuales se clasifican de la siguiente manera:

Tipo I. Para uso general que no requiera características especiales

Tipo II. Para uso general, pero a comparación del tipo I tiene una moderada resistencia a los sulfatos

Tipo II (MH). Para uso general, pero a comparación del tipo I tiene un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos

Tipo III. Diseñado para cubrir el requerimiento de altas resistencias iniciales

Tipo IV. Diseñado para cubrir el requerimiento de bajo calor de hidratación.

Tipo V. Diseñado para cubrir el requerimiento de alta resistencia a los sulfatos.

1.1.5. Agua

El agua en el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas (Osorio, s.f.).

Agua de Mezcla. Es la dosis de agua que se requiere en la elaboración del concreto por unidad de volumen (m³) para que se pueda obtener un concreto con la resistencia y manejabilidad diseñada (Osorio, s.f.).

Agua de Curado. Es el volumen de agua que hace posible que el concreto tenga un proceso de hidratación adecuado durante su etapa endurecida. Asimismo, contribuye a la disminuir del calor generado por esta hidratación, esto logra prevenir la aparición de grietas en la concreto endurecido debido a las variaciones de temperatura (Osorio, s.f.).

1.2. Definición de términos básicos

1.2.1. Concreto

Es un material compuesto que está constituido por cemento, agregados (grueso y fino), agua y dependiendo de las necesidades puede incorporar aditivos. El concreto es un material que está inicialmente en estado fresco pero que rápidamente pasa a estado endurecido donde obtiene las propiedades mecánicas que se buscan en los proyectos de construcción (McCormac et al., 2011).

1.2.2. Ensayo de compresión

Los ensayos de compresión se realizan para poder determinar el comportamiento de una probeta ante cargas de compresión en incremento constante. El ensayo consiste en ejercer presión sobre las 2 caras de la probeta para obtener como resultado la resistencia obtenida y un diagrama tensión – deformación donde se puede determinar el límite de elasticidad (INACAL, 2008).

1.2.3. Ensayo de asentamiento

El ensayo de asentamiento del concreto o también llamado prueba del cono de Abrams es una prueba sumamente importante a realizar previo al vaciado para poder determinar la consistencia del concreto fresco (INACAL, 2009).

Capítulo II. Metodología

El nivel de investigación es descriptivo, debido a que se busca disminuir el inconfort térmico de las vías colectoras del distrito de Surquillo, mediante un diseño de concreto para veredas, con arcilla expansiva y parafina y describir los resultados obtenidos. Por otro lado, el diseño de investigación aplicado será experimental, puesto que la investigación contiene diseño de dosificaciones de los agregados a incluir, análisis de datos de ensayos en concreto en estado fresco y endurecido, además de analizar el comportamiento térmico mediante un prototipo de vereda.

2.1. Procedimiento

La presente investigación se desarrolla en 9 etapas, las cuales se describen a continuación:

2.1.1. Etapa 1: Área de estudio para la investigación

El procedimiento a seguir en esta etapa es elegir un área de aplicación, la cual será un distrito en la ciudad de Lima afectado por el efecto del cañón urbano. Esta investigación escogió como área de investigación a la Av. Domingo Orué, tramo comprendido desde la Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones, distrito de Surquillo-Lima; el tramo en estudio tiene una vereda de concreto de $f'c$ de 175 kg/cm² y un espesor de 10 cm.

2.1.2. Etapa 2: Determinar las características y recopilar los datos de temperatura y humedad superficial y ambiental del área de estudio

En esta etapa se determina la zonificación, clasificación, infraestructura vial, zona de influencia directa e indirecta, medidas de la sección transversal del tramo, inspección del estado actual de la infraestructura vial y por último las mediciones de temperatura y humedad del ambiente y veredas.

2.1.3. Etapa 3: Identificación de los materiales

Los materiales que se usaran para el diseño de concreto con agregados a incorporar y el convencional, deben ser evaluados para identificar sus propiedades y características para una correcta elaboración del concreto.

2.1.4. Etapa 4: Determinar el diseño del concreto propuesto y elaboración de los testigos

Se realizarán las dosificaciones para el concreto propuesto y se diseñarán una mezcla de concreto con arcilla expansiva con parafina. Esta mezcla servirá para escoger la mejor alternativa de diseño por cada método a aplicar y comparar sus propiedades mecánicas.

2.1.5. Etapa 5: Pruebas en el estado Fresco

Los ensayos de asentamiento, contenido de aire y peso unitario a las probetas se realizarán de acuerdo a lo que indican las normas NTP 339.035, NTP 339.080 y NTP 339.046 respectivamente.

2.1.6. Etapa 6: Pruebas en el estado endurecido

Los ensayos de compresión y tracción a las probetas se realizarán a las 3, 7 y 14 días de acuerdo a lo que indica la norma NTP 339.034:2008 y norma NTP 339.078:2012.

2.1.7. Etapa 7: Puesta en marcha de prototipo

Una vez determinada la dosificación del concreto que cumpla con la resistencia $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y ensayos en estado fresco y endurecido para validar que el concreto propuesto cumple con las propiedades mecánicas de un concreto convencional. Se elaborará el prototipo para posteriormente ponerlo en una ubicación estratégica dentro del área de estudio de forma que sea lo menos invasivo.

2.1.8. Etapa 8: Medición de la temperatura del prototipo y veredas in situ y análisis de resultados

En esta etapa se procederá a tomar las mediciones de temperatura del prototipo y de la vereda in situ para determinar el impacto de reducción de la temperatura.

2.1.9. Etapa 9: Análisis económico del concreto propuesto en comparación con el concreto convencional

Finalmente, en esta etapa se realiza el análisis costo – beneficio del concreto propuesto y concreto convencional.

Capítulo III. Desarrollo de la tesis

3.1. Características de la zona de estudio y recopilación los datos de medición de temperatura y humedad superficial y ambiental del tramo en estudio

3.1.1. Características de la zona de estudio

Ubicación. El lugar de estudio es la Av. Domingo Orué tramo comprendido desde la Av. República de Panamá hasta la Calle Los Halcones, ubicado en la zona noroeste del distrito de Surquillo, Lima. En la figura 1, se puede presentar todo el tramo estudiado con una presencia de edificaciones altas y un solo carril en cada dirección para poder obtener un mejor coeficiente del caño urbano (que es la relación de altura de edificaciones y ancho de pistas), también se presenta poca vegetación en todo el tramo estudiado y edificaciones con colores más oscuros.

Figura 1

Av. Domingo Orué –tramo Av. Panamá hasta la Ca. Los Halcones



Nota. Adaptado de “[Mapa de Surquillo]”, por Google, s.f.

(<https://www.google.com/maps/@-11.9876429,-77.0909697,15z?entry=tту>)

Zonificación. Según la zonificación del distrito de Surquillo elaborado por el Instituto Metropolitano de Zonificación (IMP), la avenida comprende zonas Residenciales de densidad Media (RDM), Residenciales de densidad Alta (RDA), Comercio Zonal (CZ) y Viviendas Taller (VT).

Clasificación. La Av. Domingo Orué: tramo Av. República de Panamá hasta la Calle Los Halcones, posee las siguientes características:

Longitud. La longitud del tramo en estudio es de 0.47km

Clasificación. La clasificación de la Av. Domingo Orué es de tipo Colectora.

Ancho Normativo. La sección transversal del tramo en estudio es de 25.00 m.

Nº Carriles. El tramo en estudio cuenta con 2 carriles por sentido.

Ancho de veredas. El tramo en estudio cuenta con 1.80 m en ambos sentidos.

Infraestructura vial. Está compuesta por pavimento rígido de una losa de concreto de 0.20 m de espesor con una resistencia $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ que está dividida por juntas transversales distanciadas a 3.30m.

3.1.2. Recopilación de los datos de medición de temperatura y humedad superficial y ambiental del tramo en estudio

Alcance. Las mediciones en la zona de estudio consisten en 4 puntos:

Temperatura superficial de las veredas

Temperatura ambiental

Humedad ambiental

Mediciones de la temperatura y humedad superficial. Los puntos de medición permiten obtener información de mediciones de temperatura y humedad superficiales, así como también una referencia de lugar donde se mide la temperatura ambiental y humedad relativa. Las mediciones se realizarán mediante un medidor de humedad superficial y para la temperatura un termómetro infrarrojo. Asimismo, debido a la extensión del tramo en estudio, se designaron puntos de medición cada 50 metros. En la figura 2 se visualiza el plano en planta con la ubicación y orden de los 10 puntos de medición a lo largo del tramo.

Figura 2

Localización de los puntos de medición en veredas



Las mediciones de la temperatura y humedad superficial se tomaron durante 10 días seguidos y en los rangos horarios de 10:00 am – 11:00 am, 12:00 pm – 13:00 pm y 14:00 – 15:00 pm, teniendo en cuenta que durante el rango 11:00 am a 16:00 pm se tiene la temperatura más alta. Posterior a ello, se registró en el formato que se muestra en la tabla 1 a la tabla 6 los datos obtenidos.

Tabla 1

Datos de temperatura ambiental entre las 10:00 am a 11:00 am

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.30	27.00	26.00	25.00	25.00	26.70	25.50	25.70	27.40	27.00
0+070.00	27.03	26.70	26.70	25.70	28.00	26.80	26.60	25.00	26.30	27.80
0+120.00	26.67	26.40	26.10	25.80	27.40	26.10	26.00	26.20	26.00	27.30
0+170.00	26.53	26.10	26.80	25.70	27.80	26.90	27.10	26.00	28.00	26.50
0+220.00	26.02	26.70	26.90	26.10	29.10	27.50	26.80	26.00	26.00	25.90
0+270.00	26.53	26.00	26.70	26.70	28.10	27.80	26.90	26.00	26.70	25.30
0+320.00	26.67	26.00	26.10	26.00	27.90	28.50	28.30	28.50	26.60	25.60
0+370.00	27.22	25.40	26.80	26.00	27.00	28.90	25.90	28.60	26.00	27.60
0+420.00	27.82	25.00	27.10	26.40	28.40	25.70	26.70	27.40	26.00	26.90
0+470.00	26.53	26.70	27.30	26.70	27.80	26.80	26.10	26.70	27.00	26.30

De la tabla 1, se visualiza que la temperatura más alta encontrada durante el rango de 10:00 am a 11:00 am fue de 29.10 °C únicamente en el día 10 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+220.00. Por el contrario, la temperatura más baja encontrada fue de 25.00 °C los días 6, 8, 10 y 13 de noviembre del 2022 en las progresivas 0+020.00, 0+070.00 y 0+420.00.

Tabla 2

Datos de temperatura ambiental entre las 12:00 am a 13:00 pm

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	28.40	27.50	28.40	27.40	28.60	27.50	27.80	27.50	28.20	27.50
0+070.00	28.00	28.40	28.10	27.50	28.90	28.40	27.90	27.80	28.30	28.40
0+120.00	28.00	28.10	28.90	27.10	28.50	27.40	27.00	29.50	28.70	28.90
0+170.00	27.90	28.00	27.40	28.10	27.60	27.00	27.00	29.00	27.10	29.10
0+220.00	28.10	28.60	29.50	27.30	26.70	27.90	27,6	28.70	26.00	29.50
0+270.00	28.70	28.40	28.40	27.90	26.90	27.30	28.90	28.50	27.60	29.70
0+320.00	29.30	28.00	29.00	27.60	28.40	27.00	28.20	27.60	29.10	28.40
0+370.00	29.40	27.90	29.70	27.80	29.00	27.00	29.30	28.10	28.00	28.70
0+420.00	29.70	28.90	29.10	27.40	29.50	29.50	29.60	29.70	28.30	27.30
0+470.00	29.70	27.80	28.60	29.10	29.30	28.50	28.60	29.50	27.50	29.30

De la tabla 2, se visualiza que la temperatura más alta encontrada durante el rango de 12:00 pm a 13:00 pm fue de 29.70 °C los días 5, 7, 13 y 15 de noviembre en las progresivas 0+270.00, 0+370.00, 0+420.00 y 0+470.00. Por el contrario, la temperatura más baja encontrada fue de 26.00 °C únicamente en el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+220.00.

Tabla 3*Datos de temperatura ambiental entre las 14:00 pm a 15:00 pm*

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	29.00	30.10	29.10	28.10	29.40	29.50	28.50	28.70	29.30	29.50
0+070.00	28.40	29.40	29.70	28.70	28.40	29.00	28.00	27.80	27.50	29.10
0+120.00	28.70	29.70	29.00	28.70	28.30	29.30	28.90	27.90	28.70	29.00
0+170.00	28.10	29.00	28.40	28.90	28.00	29.80	27.50	27.50	27.00	28.60
0+220.00	28.80	28.70	29.10	29.10	28.00	28.40	28.30	28.90	26.80	28.80
0+270.00	29.00	29.00	28.60	29.10	28.70	26.70	28.10	28.00	27.00	28.30
0+320.00	29.30	29.80	27.80	29.70	29.70	27.70	29.30	28.60	28.50	27.40
0+370.00	30.10	29.60	27.90	29.10	29.30	28.40	29.80	29.00	29.30	27.90
0+420.00	30.00	28.70	27.40	29.00	27.90	29.40	29.40	29.90	27.70	28.80
0+470.00	29.70	29.30	28.10	29.90	28.70	27.90	28.10	29.50	27.90	29.50

De la tabla 3, se visualiza que la temperatura más alta durante el rango de 14:00 pm a 15:00 pm fue de 30.10 °C en los días 5 y 6 de noviembre del 2022 en las progresivas 0+020.00 y 0+370.00. Por el contrario, la temperatura más baja encontrada fue de 26.70 °C únicamente el día 11 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+270.00.

Tabla 4*Datos de humedad ambiental entre las 10:00 am a 11:00 am*

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	44.0%	43.1%	46.0%	44.1%	41.5%	45.9%	44.4%	45.5%	45.2%	45.5%
0+070.00	44.8%	42.0%	47.0%	41.8%	44.3%	46.5%	45.8%	45.6%	45.8%	44.9%
0+120.00	44.7%	41.6%	47.5%	43.0%	39.3%	44.6%	46.1%	45.1%	46.1%	44.8%
0+170.00	45.0%	44.0%	47.3%	4.6%	41.7%	44.9%	46.0%	44.8%	46.3%	46.3%
0+220.00	47.6%	43.2%	47.1%	44.0%	41.4%	45.5%	46.8%	44.5%	45.7%	46.8%
0+270.00	48.0%	47.2%	47.9%	44.2%	42.6%	45.9%	45.7%	45.8%	46.2%	45.6%
0+320.00	49.5%	46.5%	47.8%	44.8%	39.5%	44.8%	45.2%	46.2%	46.3%	44.3%
0+370.00	49.6%	44.8%	45.6%	44.5%	36.9%	45.3%	45.8%	45.4%	45.5%	44.5%
0+420.00	48.5%	45.6%	46.1%	44.7%	40.6%	45.5%	46.1%	44.9%	44.9%	44.8%

0+470.00 47.6% 47.2% 47.9% 44.8% 41.8% 46.3% 46.3% 45.2% 44.8% 45.1%

De la tabla 4, se visualiza que la humedad más alta encontrada durante el rango de 10:00 am a 11:00 am fue de 49.6% el día 5 de noviembre en la progresiva 0+370.00. Por el contrario, la humedad más baja encontrada fue de 41.5% únicamente en el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+220.00.

Tabla 5

Datos de humedad ambiental entre las 12:00 pm a 13:00 pm

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	40.3%	45.0%	48.1%	46.2%	41.4%	45.6%	45.2%	46.2%	46.1%	45.8%
0+070.00	40.8%	47.8%	49.5%	46.0%	47.3%	46.1%	45.3%	45.1%	46.4%	45.2%
0+120.00	40.6%	47.9%	50.1%	45.8%	50.0%	45.9%	46.2%	44.3%	45.2%	45.3%
0+170.00	41.7%	47.8%	50.0%	45.7%	45.0%	46.3%	46.3%	44.2%	45.9%	46.1%
0+220.00	42.9%	47.0%	50.7%	45.3%	45.4%	46.8%	46.8%	44.8%	46.1%	46.8%
0+270.00	43.7%	48.3%	48.5%	45.8%	43.8%	44.3%	45.7%	44.5%	46.5%	45.3%
0+320.00	44.1%	48.0%	49.0%	46.7%	44.9%	44.5%	45.8%	45.1%	44.6%	45.9%
0+370.00	44.2%	49.5%	47.8%	46.8%	37.7%	44.9%	45.3%	45.5%	44.9%	45.3%
0+420.00	41.0%	49.1%	48.0%	46.0%	44.2%	45.5%	45.9%	44.9%	45.7%	45.8%
0+470.00	43.7%	48.2%	47.6%	46.3%	44.0%	46.4%	46.1%	44.8%	46.2%	45.8%

De la tabla 5, se visualiza que la humedad más alta encontrada durante el rango de 12:00 pm a 13:00 pm fue de 50.7% el día 7 de noviembre en las progresivas 0+220.00. Por el contrario, la humedad más baja encontrada fue de 41.0 % únicamente en el día 5 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+420.00.

Tabla 6

Datos de humedad ambiental entre las 14:00 pm a 15:00 pm

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	47.8%	47.6%	44.3%	40.7%	46.3%	44.5%	45.2%	46.2%	44.1%	45.3%
0+070.00	46.5%	49.8%	46.5%	40.8%	47.0%	45.3%	45.3%	46.1%	43.2%	45.9%

0+120.00	46.9%	49.0%	46.0%	41.2%	45.9%	44.9%	45.9%	45.2%	45.6%	45.3%
0+170.00	47.2%	49.5%	46.7%	42.0%	43.5%	43.2%	46.1%	45.3%	46.2%	45.2%
0+220.00	48.5%	49.8%	46.2%	42.6%	45.7%	45.6%	46.4%	45.8%	46.1%	45.8%
0+270.00	49.6%	47.6%	45.8%	42.7%	44.0%	46.2%	45.2%	46.1%	45.2%	46.1%
0+320.00	50.2%	48.2%	45.9%	43.7%	44.9%	44.3%	44.8%	45.3%	45.6%	46.3%
0+370.00	50.7%	47.1%	45.7%	43.1%	40.8%	45.5%	45.3%	44.8%	45.1%	46.3%
0+420.00	51.6%	46.3%	45.1%	44.0%	45.0%	44.4%	45.9%	44.9%	44.8%	46.8%
0+470.00	50.7%	47.0%	43.8%	44.7%	46.5%	44.8%	45.3%	45.2%	45.1%	46.4%

De la tabla 6, se visualiza que la humedad más alta encontrada durante el rango de 14:00 pm a 15:00 pm fue de 49.8% el día 6 de noviembre en las progresivas 0+220.00. Por el contrario, la humedad más baja encontrada fue de 41.2% únicamente en el día 8 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+120.00.

Medición de la temperatura de la vereda. Para la medición de temperatura superficial de la vereda de concreto se designaron puntos de medición separados a 50 m a lo largo del tramo en estudio. La medición se realizó a 50 cm de altura desde el suelo utilizando el termómetro infrarrojo y separando los sentidos E-O y O-E. Asimismo, se escogieron los horarios de 10:00 am – 11:00 am, 12:00 pm -13:00 pm y 14:00 pm -15:00 pm, para considerar una mayor exactitud. Los datos obtenidos se presentas en la tabla 7 hasta la tabla 12.

Tabla 7

Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 10:00 am a 11:00 am

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.1	27.3	24.8	26.4	26.9	28.0	26.3	27.7	27.8	27.8
0+070.00	27.1	27.9	25.6	25.4	24.9	23.5	28.6	27.2	24.8	25.1
0+120.00	26.7	26.3	25.6	25.9	25.2	26.7	26.1	27.3	25.2	24.0
0+170.00	26.7	26.2	26.4	26.5	26.7	24.5	25.5	27.7	25.7	26.0
0+220.00	25.9	24.8	24.8	27.3	27.7	24.9	27.4	24.9	28.8	25.3
0+270.00	26.6	28.1	26.8	24.3	23.5	28.6	26.2	26.7	21.1	25.1
0+320.00	26.5	26.9	28.1	27.6	25.2	26.7	28.2	25.8	24.8	28.2

0+370.00	28.0	26.5	27.5	26.9	27.5	24.5	26.6	27.9	25.1	27.5
0+420.00	27.7	27.3	27.3	26.2	26.2	26.2	28.8	25.4	25.3	24.3
0+470.00	26.6	27.2	27.2	26.3	27.2	28.7	28.4	26.9	24.6	27.6

De la tabla 7, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido E-O en el horario de 10:00 am a 11:00 am fue de 28.80 ° C los días 12 y 14 de noviembre del 2022 en las progresivas 0+220.00 y 0+420.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 21.10 ° C únicamente el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+270.00.

Tabla 8

Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 12:00 pm a 13:00 pm

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.3	28.6	28.3	28.0	28.3	28.0	26.9	28.3	29.0	27.4
0+070.00	27.5	28.4	28.2	28.5	29.7	29.3	28.7	29.7	26.6	29.1
0+120.00	27.0	29.5	28.3	28.6	30.5	29.5	29.9	28.6	29.3	29.1
0+170.00	27.4	28.3	27.9	28.9	28.6	26.6	29.6	26.6	28.7	28.5
0+220.00	28.5	29.1	28.6	28.0	26.6	28.8	28.9	29.3	31.9	27.7
0+270.00	28.0	27.7	27.8	29.5	29.3	28.4	32.6	27.3	29.7	30.5
0+320.00	28.6	27.1	26.6	28.6	27.3	28.4	29.2	27.9	29.4	28.5
0+370.00	26.7	27.5	28.8	29.1	29.5	29.3	28.4	29.5	27.0	28.2
0+420.00	28.3	27.4	28.4	28.0	28.6	27.3	28.4	28.6	26.9	31.0
0+470.00	27.0	27.9	27.3	30.8	28.4	30.5	29.1	28.4	27.3	29.0

De la tabla 8, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido E-O en el horario de 12:00 pm a 13:00 pm fue de 32.60 ° C únicamente el día 12 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+270.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 26.60 ° C los días 7, 10, 11, 13 y 14 de noviembre del 2022 en las progresivas 0+070.00, 0+170.00, 0+220.00 y 0+320.00.

Tabla 9*Datos de temperatura superficial en el sentido E-O entre las 14:00 pm a 15:00 pm*

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.1	28.1	27.7	28.9	28.0	27.1	28.6	27.1	27.9	28.4
0+070.00	29.0	28.1	28.3	27.8	27.8	29.0	29.3	29.3	29.4	28.2
0+120.00	28.5	27.0	27.4	28.1	27.9	28.5	30.0	28.1	28.8	27.6
0+170.00	27.7	29.4	26.8	28.4	29.0	27.7	27.4	27.7	25.9	29.5
0+220.00	32.0	27.5	28.0	27.8	32.0	32.0	27.8	29.4	29.0	28.5
0+270.00	30.2	28.6	27.1	28.0	30.0	30.2	30.2	29.4	27.1	30.0
0+320.00	28.2	28.8	26.7	26.8	26.7	28.2	26.1	28.2	31.0	28.2
0+370.00	29.0	27.4	27.6	27.4	29.0	29.0	29.0	29.0	30.1	29.0
0+420.00	32.0	28.5	28.0	26.5	28.5	32.0	32.0	28.7	28.2	28.1
0+470.00	27.4	29.4	28.6	27.4	29.4	27.4	28.5	28.7	28.7	29.0

De la tabla 9, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido E-O en el horario de 14:00 pm a 15:00 pm fue de 32.00 °C los días 5, 10, 11 y 12 de noviembre del 2022 en las progresivas 0+220.00 y 0+420.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 25.90 °C únicamente el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+170.00.

Tabla 10*Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 10:00 am a 11:00 am*

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.0	27.2	25.4	26.2	27.7	25.6	26.7	27.0	27.1	27.7
0+070.00	26.9	27.0	24.6	26.5	23.6	25.7	23.7	25.8	23.7	27.3
0+120.00	26.6	25.9	24.2	25.6	23.7	23.9	27.2	28.2	26.2	24.7
0+170.00	26.4	26.4	25.8	27.0	26.5	25.6	26.5	26.5	27.3	25.6
0+220.00	26.1	27.6	26.9	26.6	28.1	26.5	26.0	23.6	27.3	25.6
0+270.00	26.5	25.9	27.7	24.5	23.5	25.9	26.5	26.9	23.6	26.3
0+320.00	26.8	25.6	27.9	26.4	25.1	26.5	28.0	28.7	22.9	27.4
0+370.00	26.4	26.5	27.6	26.8	25.8	25.9	27.4	28.1	26.2	26.8

0+420.00	28.0	27.3	27.8	27.0	27.1	24.6	30.5	27.5	26.3	25.3
0+470.00	26.5	27.6	27.6	27.1	28.7	29.5	27.8	27.7	24.2	27.6

De la tabla 10, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido O-E en el horario de 10:00 am a 11:00 am fue de 30.50 °C únicamente el día 12 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+420.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 22.90 °C únicamente el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+320.00.

Tabla 11

Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 12:00 pm a 13:00 pm

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	27.7	28.7	28.2	27.1	27.4	30.2	26.6	27.1	28.9	26.0
0+070.00	27.8	30.1	28.1	27.6	31.7	28.9	27.5	27.8	26.5	28.3
0+120.00	28.6	31.8	28.5	29.0	30.6	32.6	30.5	29.6	30.2	29.1
0+170.00	28.8	31.7	28.7	28.3	27.4	27.4	29.6	26.5	27.1	26.4
0+220.00	28.0	30.6	28.7	27.9	26.5	30.5	28.7	30.2	30.4	28.4
0+270.00	26.9	29.2	27.8	29.4	30.2	27.8	29.3	27.4	29.0	28.9
0+320.00	28.0	29.7	27.4	28.6	27.1	29.2	30.5	31.7	30.1	27.3
0+370.00	27.7	28.5	30.5	26.4	30.4	29.7	28.0	27.4	27.4	27.2
0+420.00	27.3	28.9	27.8	28.3	28.7	27.3	29.2	28.7	25.4	30.4
0+470.00	28.0	28.8	28.3	29.5	30.1	28.9	29.7	28.9	27.2	29.0

De la tabla 11, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido O-E en el horario de 12:00 pm a 13:00 pm fue de 32.60 °C únicamente el día 11 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+120.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 25.40 °C únicamente el día 14 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+420.00.

Tabla 12*Datos de temperatura superficial en el sentido O-E entre las 14:00 pm a 15:00 pm*

Progresivas	Días analizados en el mes de noviembre del 2022									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0+020.00	29.2	27.9	28.0	28.6	27.8	29.2	28.3	29.2	28.2	29.2
0+070.00	28.6	28.4	28.0	29.3	29.7	28.6	29.2	30.5	28.6	28.2
0+120.00	28.1	27.6	27.7	28.1	29.1	28.1	28.8	28.4	28.9	27.8
0+170.00	26.1	31.0	26.5	27.5	28.8	26.1	28.4	26.1	29.6	26.1
0+220.00	28.9	27.4	27.9	27.4	30.8	28.9	28.9	28.9	29.2	29.0
0+270.00	28.8	28.3	28.4	27.8	29.3	28.8	28.1	28.8	31.2	30.8
0+320.00	25.5	26.6	27.6	28.5	29.2	25.5	29.2	26.8	29.4	26.8
0+370.00	26.0	28.8	28.0	27.7	28.2	26.0	31.8	26.8	28.9	26.8
0+420.00	30.8	28.1	28.6	27.2	28.1	30.8	27.7	29.7	29.1	28.8
0+470.00	28.4	29.0	28.3	26.5	30.1	28.4	27.4	27.5	27.7	28.8

De la tabla 12, se visualiza que la temperatura más alta encontrada en el concreto en el sentido E-O en el horario de 14:00 pm a 15:00 pm fue de 31.80 °C únicamente el día 12 de noviembre del 2022 en la progresiva 0+370.00. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 25.50 °C en la progresiva 0+320.00.

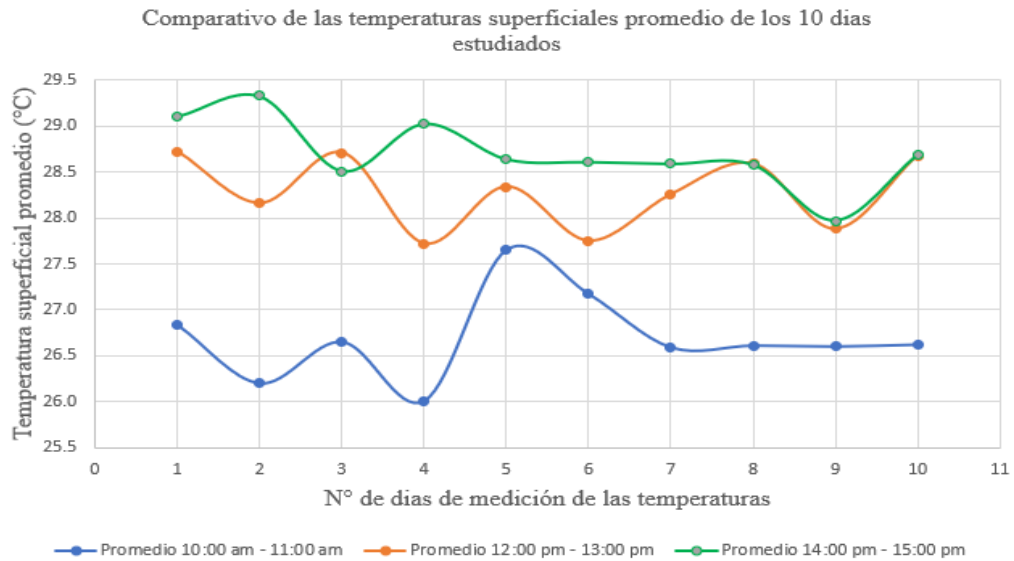
3.1.3. Análisis de resultados

De acuerdo con los datos obtenidos, se realizó el comparativo de las temperaturas promedio ambiental y superficial en relación a los 10 días estudiados y las 10 progresivas.

En base a ello, se determinó que la temperatura ambiental promedio más elevada se encontró el día 2 de noviembre del 2022 en el rango horario de 14:00 pm a 15:00 pm con una temperatura de 29.30 °C. Mientras que las temperaturas promedio más bajas se encontraron en el rango horario de 10:00 am a 11:00 am. Ver figura 3.

Figura 3

Comparativo de las temperaturas superficiales promedio de los 10 días estudiados

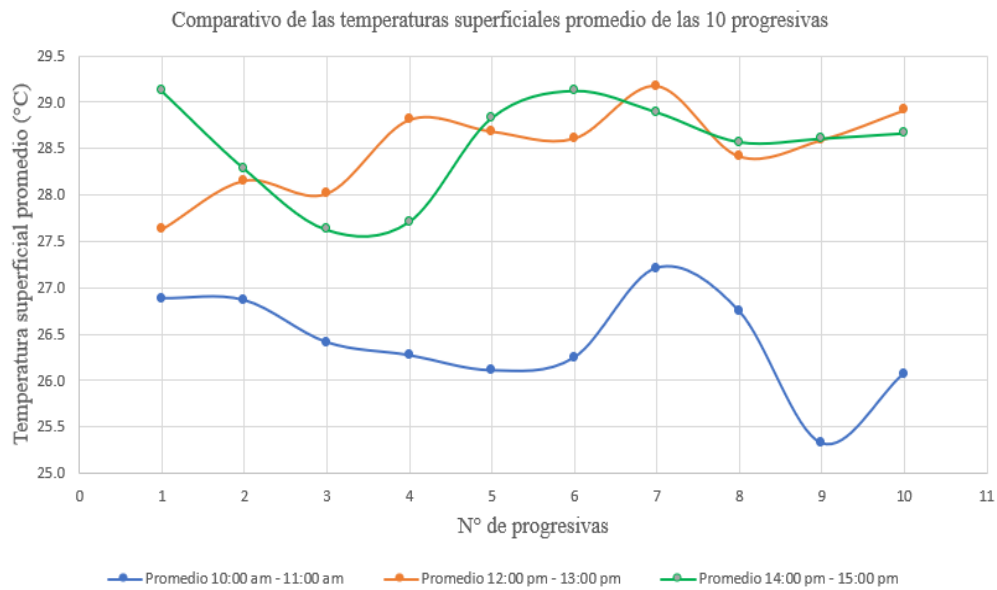


Un detalle no menor respecto al comparativo de las temperaturas superficiales promedio es que solo en el rango horario de 12:00 pm a 13:00 pm alcanza diferentes temperaturas pico que generan cierta simetría. En el caso de los demás horarios, solo se visualiza un día con temperatura pico y en los días restantes una reducción brusca de la temperatura que se mantiene relativamente constante.

Respecto a la temperatura superficial promedio, se determinó que la temperatura más elevada se encontró en la progresiva 0+020.00 en el rango horario de 14:00 pm a 15:00 pm con una temperatura de 29.30 °C. Mientras que la temperatura más baja fue de 25.30 °C se encontró en la progresiva 0+420.00 en el rango horario de 10:00 am a 11:00 am. Ver figura 4.

Figura 4

Comparativo de las temperaturas superficiales promedio de los 10 progresivas estudiadas



3.2. Diseño del concreto con arcilla expansiva y parafina

Teniendo como referencia el procedimiento de diseño para pavimentos rígidos expuesto anteriormente, utilizando las tablas correspondientes a los diseños de mezclas, para un diseño que utiliza una dosis de ECA 15% en función de su agregado grueso presentamos a continuación el diseño de mezclas para veredas en función de la norma CE. 010 para pavimentos urbanos y según el método ACI. Dentro de la dosis ECA está la arcilla expansiva y la parafina que pertenece a los materiales PCM, explicando los autores Marani Y Nehdi (2019):

“Pueden alterar la masa y la inercia térmicas de los materiales de construcción, mejorando así almacenamiento de energía térmica. Las aplicaciones de materiales de cambio de fase (PCM) se han vuelto de gran interés en los últimos años debido a efectos beneficiosos sobre las propiedades térmicas, mecánicas y de durabilidad de la construcción y el pavimento materiales.” (p. 36-49)

3.2.1. Características de los agregados

Para el diseño del concreto propuesto se realizaron los ensayos a los agregados a utilizar a fin de conocer sus propiedades físicas.

Análisis granulométrico. Se realizó el análisis granulométrico según la Norma Técnica Peruana 400.012: agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, con el fin de determinar la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global. (INACAL, 2001). Sin embargo, los agregados que se van a estudiar en este informe son los agregados finos y gruesos del laboratorio del HUD san miguel, no se considera el análisis granulométrico en el agregado grueso, porque no se estipula así en la norma. Los equipos e instrumentos para el análisis granulométrico son los siguientes:

Balanza. Instrumento que permite medir la masa de los objetos con exactitud de 0.1 a 0.5 gramos

Horno Ecocell. Estufa de temperatura de 5°C por encima de la temperatura ambiente de 250°C

Muestreo de los agregados finos y gruesos. Se comienza a tomar una muestra de 1568gr en la arena gruesa y 2322.90gr en la piedra triturada, las medidas tomadas se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

Muestra para análisis granulométrico

Material	Muestra requerida	Muestra empleada
Arena gruesa	300gr	1568.00gr
Piedra triturada	2000gr	2322.90gr

Luego de la recolección de agregados que se presentan en la figura 5 y figura 6, el primer paso es colocar los agregados en el horno para poder secarlos a una temperatura de 110 °C ± 5 °C. Posteriormente es tamizar los tamaños para proporcionar las especificaciones de los materiales ensayados.

Figura 5

Muestra de arena gruesa



Figura 6

Muestra de piedra triturada



Agregado grueso. Una vez es obtenida el peso de la muestra se procede a realizar el porcentaje pasante acumulado del agregado.

Tabla 14

Pasante acumulado % del agregado grueso

TAMIZ		Peso Retenido	Peso Retenido	Retenido	Pasante
Pulg.	mm	(gr)	(%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	143.20	6.41	6.41	93.59
3/8"	9.51	752.00	33.68	40.09	59.91
Fondo		1337.70	59.91	100.00	0.00
Total		2232.90	100.00	-	-

De la tabla 14, se visualiza que de la malla 1/2" pasó el 6.41% del material, de la malla 3/8" pasó el 33.68% y en el fondo 59.91% del material, dando como pasante acumulado el 100% de la muestra.

Tabla 15

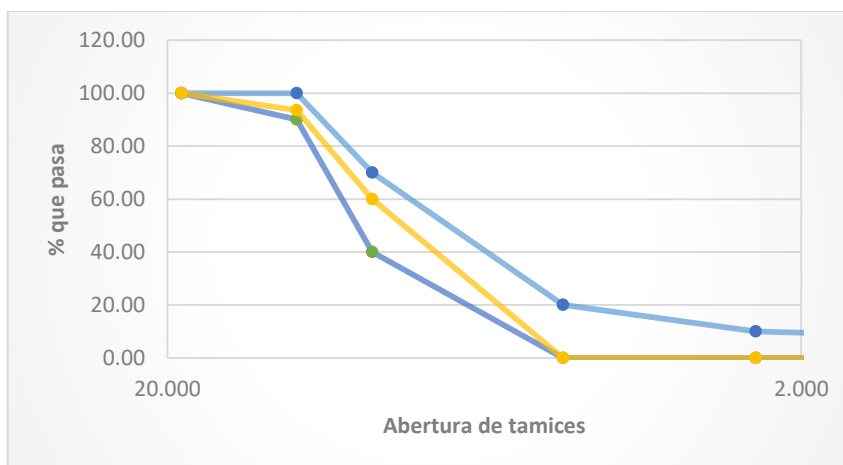
Resultados de la granulometría del agregado grueso

TAMIZ		Límite Inferior (%)	Pasante Acumulado (%)	Limite Superior (%)	Resultado
Pulg.	mm				
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	Cumple
1/2"	12.500	90.00	93.59	100.00	Cumple
3/8"	9.500	40.00	59.91	70.00	Cumple
Nº4	4.750	0.00	0.00	20.00	Cumple
Nº8	2.360	0.00	0.00	10.00	Cumple
Nº200	0.075	0.00	0.00	0.00	Cumple

Como se puede apreciar en la Tabla 15 y figura 7, la granulometría del agregado estudiado para el presente diseño se encuentra dentro de los parámetros recomendados en la norma ASTM C330 – 05. Debido a ello, podemos concluir que el agregado grueso es apto para utilizar en la elaboración de la propuesta.

Figura 7

Curva granulométrica del agregado grueso



Agregado fino. Una vez es obtenida el peso de la muestra se procede a realizar el porcentaje pasante acumulado del agregado.

Tabla 16*Pasante acumulado % del agregado fino*

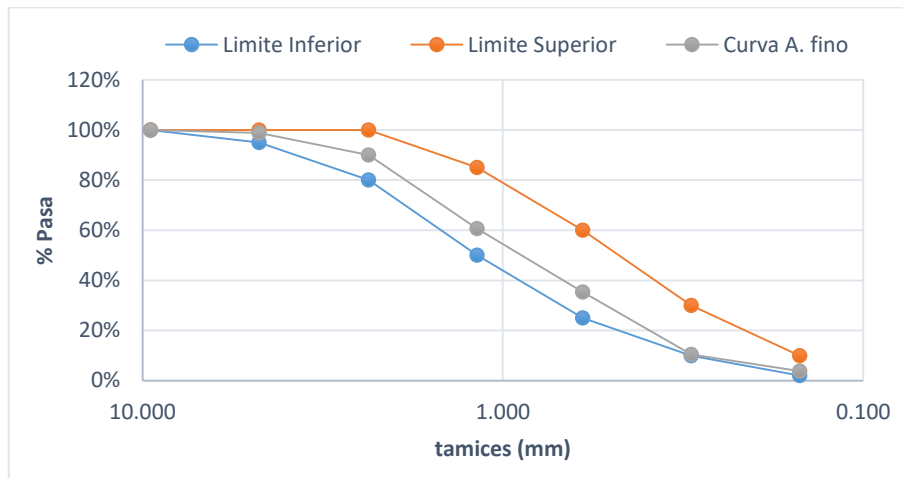
Peso inicial de la muestra = 1568 gr					
TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.	mm				
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 04	4.750	17.80	1.14	1.14	98.86
N° 08	2.360	139.80	8.92	10.05	89.95
N° 16	1.180	460.00	29.34	39.39	60.61
N° 30	0.600	395.70	25.24	64.62	35.38
N° 50	0.300	391.10	24.94	89.57	10.43
N° 100	0.150	104.60	6.67	96.24	3.76
N° 200	0.075	51.50	3.28	99.52	0.48
Fondo		7.50	0.48	100.00	0.00
Total		1568.00	100.00	-	-

Tabla 17*Resultados de la granulometría del agregado fino*

Tamiz		Límite Inferior	Pasante Acumulado (%)	Limite Superior	Verificación
Pulg.	mm				
3/8"	9.500	100%	100.00%	100%	Cumple
N° 4	4.750	95%	98.86%	100%	Cumple
N° 8	2.360	80%	89.95%	100%	Cumple
N° 16	1.180	50%	60.61%	85%	Cumple
N° 30	0.600	25%	35.38%	60%	Cumple
N° 50	0.300	10%	10%	30%	Cumple
N° 100	0.150	2%	3.76%	10%	Cumple

Figura 8

Figura de curva granulométrica del agregado fino



Como se puede apreciar en la tabla 16, 17 y figura 8, la granulometría del agregado estudiado para el presente diseño se encuentra dentro (en su mayoría de tamices) de los parámetros recomendados en la norma NTP 400.037:2018 para agregados finos. Debido a ello, podemos concluir que el agregado fino es apto para utilizar en la propuesta.

Tabla 18

Módulo de fineza del agregado fino

TAMIZ		Peso Retenido	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Pasante Acumulado
Pulg.	mm	(Kg)	(%)	(%)	(%)
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 04	4.750	17.80	1.14	1.14	98.86
N° 08	2.360	139.80	8.92	10.05	89.95
N° 16	1.180	460.00	29.34	39.39	60.61
N° 30	0.600	395.70	25.24	64.62	35.38
N° 50	0.300	391.10	24.94	89.57	10.43
N° 100	0.150	104.60	6.67	96.24	3.76
Módulo de fineza			3.01		

De la tabla 18 y tomando como herramienta el análisis granulométrico, se determinó que el módulo de fineza es de 3.01.

En la tabla 19, se visualiza el resumen de las características físicas de los agregados que fueron determinados en laboratorio como el contenido de humedad, la absorción y peso específico de masa.

Tabla 19

Caracterización de los agregados

Agregados	Arena	Piedra
Humedad Natural	0.91%	0.30%
Absorción	1.28%	1.20%
Peso Específico de Masa	2.65 gr/m ³	2.67 gr/m ³
Módulo de Fineza	3.01	-
Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	-	1 1/2"
Peso Unitario Suelto Seco	1.576 gr/m ³	1.499 gr/m ³
Peso Unitario Varillado Seco	1.647 gr/m ³	1.683 gr/m ³

Las características físicas obtenidas del Agregado (Tabla 13), son base para realizar el diseño de la mezcla de Concreto y así poder obtener una dosificación adecuada.

3.2.2. Cálculos del diseño de concreto

Para el diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina, es importante tener los datos del cemento y la caracterización de los agregados utilizados para el diseño como el tamaño máximo nominal (TMN), peso unitario suelto y varillado, peso específico normal, contenido de humedad, módulo de fineza y porcentaje de absorción que se muestran en la tabla 13.

Datos del cemento Sol Tipo 1

$$F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$Pe = 3.15 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Slump} = 2''$$

$$Pe \text{ Agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Primero se calcula el F'_{cr} (resistencia promedio requerida) que está en función al (F'_{C}) resistencia a la compresión del concreto a utilizar. Se trabaja con el $F'_{C} + 70$ debido

a que no tenemos el registro de resistencia de probeta correspondientes a obras anteriores.

$$F'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

Luego se debe considerar el contenido de aire, según la tabla de la normativa, para ello se debe conocer el TMN del agregado grueso que es 1 ½” que el aire atrapado es el 1%. Posteriormente se obtiene el volumen unitario de agua que se encuentra en función del slump 2”y el tamaño máximo nominal 1 ½”, el contenido de agua es 166 Lt/m³ con un concreto sin aire incorporado.

El siguiente paso es el cálculo de la relación a/c que se obtiene mediante una tabla en función de la resistencia F_{cr} de 245 kg/cm². La relación a/c es 0.62 con un concreto sin aire incorporado.

Los criterios utilizados para el Diseño de la Mezcla de Concreto se muestran en la Tabla 14, para cada Gradación que se utilizó y

Tabla 20

Criterio del diseño para mezcla de concreto con arcilla expansiva y parafina

Criterios de diseño	Valor
Relación agua/cemento	0.62
Porcentaje de Vacíos	15%
Volumen de Pasta	25%
Volumen Varillado Seco de Agregado	0.99

Presentación del diseño en estado seco

Cemento = 267.43 kg

Agregado fino = 789.70 kg

Agregado Grueso = 1178.10 kg

Agua = 166 lt

Finalmente se realiza la corrección por humedad en los agregados, para ellos se debe recopilar la información de la tabla 10, su porcentaje de humedad mediante un formula de peso seco $x (w\%/100 + 1)$ se puede obtener

$$\text{Agregado fino} = 789.70 \times (2.3/100 + 1) = 807.86$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1178.10 \times (1.3/100 + 1) = 1213.44$$

También considerar el aporte de agua a la mezcla de los agregados, en el agregado fino es de 6.46 lt y en el agregado grueso es de -7.28 lt. El agua efectiva es de 166.82lt.

Dentro del diseño de concreto, primero se debe preparar el agregado grueso de la arcilla expansiva y parafina (ECA), para ellos se cambia de estado sólido al líquido a la parafina y se debe recubrir la arcilla expansiva para luego dejarlo secar, finalmente se debe cubrir el ECA en agua-cemento para poder cerrar por completo los poros de la arcilla. Ya trabajado este agregado hasta este punto se puede trabajar como un agregado más en el diseño de concreto. También es importante saber que el diseño tiene adicionales de agua en el diseño, una de estas adiciones se encuentra en la lechada cubierta por la arcilla. En la figura 5 se muestra los equipos y materiales que se utilizaron para el diseño de concreto de arcilla expansiva y parafina.

3.2.3. Dosificación del concreto para veredas

El diseño de la vereda se basa en calculo estructural de la losa de concreto, la dosificación será suficiente para asegurar la resistencia mínima de 140 Kg/cm².

Se realizo un diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina con un ECA 15% con el fin de cumplir con los objetivos establecidos. Las tablas 13 y 14 muestran los datos requeridos y las dosificaciones a utilizar para el diseño de mezcla realizado.

Para obtener la resistencia para las veredas de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, se realizó el diseño de tal manera que la relación a/c encuentre un valor optimo, considerando como objetivo dar al concreto fresco y endurecido las propiedades que requiere para que pueda desempeñarse de manera eficiente en la estructura para el que va a ser diseñado que se presenta en la tabla 21 dosificación en peso resultante.

Tabla 21*Detalles del diseño de mezcla del concreto del peso resultante*

Agua (kg/m ³)	Cemento (kg/m ³)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)
166.82	267	807.86	1213.44

En la tabla 21 anterior se muestra los resultados del diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina en los ensayos realizados en el laboratorio, expresados en cantidades de kg/m³ para un concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 22*Dosificación en volumen de obra*

Cemento (kg/m ³)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)	Agua (lts/bls)
1.00	3.03	4.54	23.71

Dentro de diseño de concreto que se va a aplicar en el informe, se consideró como dosis máxima de PCM de 6% por el volumen de cemento y aplico un 15% de arcilla expansiva y parafina como reemplazo del agregado grueso. Para el desarrollo del informe se cubico para 10 probetas, 1 viga y un prototipo de losa equivalente a 0.0625m³ y su dosificación se muestra en la tabla 22 con la adición del ECA 15%, en la figura 9 se muestra los materiales utilizados para la preparación.

Figura 9

Materiales utilizados para el diseño de concreto en el laboratorio



Dentro del diseño de concreto, primero se debe preparar el agregado grueso de la arcilla expansiva y parafina (ECA), para ellos se cambia de estado sólido al líquido a la parafina y se debe recubrir la arcilla expansiva para luego dejarlo secar, finalmente se debe cubrir el ECA en agua-cemento para poder cerrar por completo los poros de la arcilla. Ya trabajado este agregado hasta este punto se puede trabajar como un agregado más en el diseño de concreto. También es importante saber que el diseño tiene adicionales de agua en el diseño, una de estas adiciones se encuentra en la lechada cubierta por la arcilla.

3.2.4. Procedimiento de la elaboración del agregado grueso ECA 15%

La dosis máxima que se utiliza de PCM en el diseño es de 6% y 8% por volumen de cemento, debido a que afecta a la resistencia de compresión. Para el diseño de concreto con adición de arcilla expansiva y parafina: en agregado grueso el agregado triturado y arcilla expansiva menores a 20mm; para el agregado fino arena de río con gravedad específica de 2.66; se utiliza cemento portland ordinario; finalmente agua apta para beber, mezclar y curar. Se utiliza para el porcentaje de agregado grueso un 15% de arcilla expansiva (ECA) y material PCM del 6%.

Primero se seca a 110°C la arcilla expansiva durante 24 horas, para poder eliminar todo tipo de humedad dentro del material poroso. Se presenta en la figura 4 el secado a 110°C en el horno del laboratorio.

Luego la arcilla expansiva es sumergida a la parafina, material PCM que se cambia de solido a liquido en los hornos del laboratorio. Este proceso de cambio de fase demoró unos 30 minutos para poder verlo en estado líquido, luego se coloca una parte de la arcilla y se deja homogenizar con la parafina unos minutos como se puede visualizar en la figura 10, finalmente se retira el agregado y se deja secar por completo un ambiente templado.

Según Sukontasukkul et al. (2015) el impacto de la parafina al llenar los espacios también genera un efecto beneficioso en las propiedades térmicas del concreto. La pared construida con concreto que contiene agregados impregnados de parafina puede retener el calor en su interior, impidiendo que se propague más allá de la estructura.

Figura 10

Recubrimiento de la arcilla expansiva con la parafina liquida



Luego la arcilla expansiva y parafina se recubre con pasta de cemento para poder encapsular, debido a que en el diseño los materiales PCM no pueden entrar en contacto directamente con el concreto, debido a que reduce su resistencia de compresión. Es por eso que se utiliza un recubrimiento de agua-cemento para poder sellar toda porosidad de la arcilla como se presenta en la figura 11.

Figura 11

Recubrimiento del agua cemento con la arcilla expansiva y parafina



Finalmente, el agregado grueso de arcilla expansiva y parafina, encapsulado por el agua cemento se le denomina “ECA” y utilizado para el diseño de concreto, con su respectiva dosificación.

3.2.5. Análisis de resultados

El diseño de la vereda se basa en el cálculo estructural de la losa de concreto, la dosificación será suficiente para asegurar la resistencia mínima de 140 Kg/cm². Se realizó un diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina con un ECA 15% con el fin de cumplir con las propiedades mecánicas que están acorde a los objetivos específicos. Las tablas 11 y 12 permiten apreciar los datos requeridos y las dosificaciones a utilizar para el diseño de mezcla realizado.

Para obtener la resistencia para las veredas de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, se realizó el diseño de tal manera que la relación a/c encuentre un valor óptimo, considerando como objetivo dar al concreto fresco y endurecido las propiedades mecánicas que necesita para obtener un desempeño eficiente en la estructura para el que va a ser diseñado que se presenta en la tabla 23 dosificación en peso resultante.

Tabla 23

Dosificación de la mezcla de concreto con arcilla expansiva y parafina

Cemento (kg/m ³)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)	Agua (lts/bls)	ECA 15% (kg/m ³)
1.00	3.03	4.54	23.71	0.68

En la tabla anterior se muestra los resultados del diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina en los ensayos realizados en el laboratorio, expresados en cantidades de kg/m³ para un concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

3.3. Ensayos en estado fresco y endurecido

3.3.1. Ensayo en estado Fresco

Asentamiento del concreto. Informar el asentamiento de la muestra de concreto, medido en milímetros con aproximación a los 5 mm, durante el ensayo. Se puede mostrar en la tabla 24.

Tabla 24

Consistencia del concreto fresco

Consistencia	Asiento en cono de abrams	Compactación
Seca	0-2	Vibrado
	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Picado con barra
Fluida	10-15	Picado con barra
Liquida	16-20	Picado con barra

Nota. El diseño de concreto es seco y se aplica la compactación del vibrado

Para el diseño de concreto, se trabajó con el ECA 15% ya preparado y posteriormente se trabaja con la dosificación y se puede presentar en la figura 11. Finalmente, luego de tener el concreto preparado se procede a hacer los ensayos frescos: temperatura y asentamiento de concreto que se encuentra en la figura 12.

Figura 12

Preparación del concreto con arcilla expansiva y parafina



Figura 13

Slump del concreto de arcilla expansiva y parafina



Para determinar el slump del diseño de concreto, se coloca la varilla encima del cono de abrams, se muestra en figura 13, el cual se obtuvo un slump de 0" a 2", en la tabla 25 de la clase de asentamiento se puede verificar que es demasiado seco, debido a que la arena gruesa, piedra chanchada y el ECA no están aptos para dicho procedimiento, por eso se le agrego más agua de lo especificado para poder encontrar el Slump requerido.

Tabla 25

Clase de mezcla según su asentamiento

Características	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal

Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	De 5"	Muy Trabajable	Chuseo

Nota. Poco trabajable el diseño de concreto elaborado

Para el diseño de arcilla expansiva con parafina se tiene una mezcla seca, poco trabajable y su método de compactación es de vibración normal.

3.3.2. *Ensayo en estado Endurecido*

Resistencia a la compresión. Según la INACAL (2008) la resistencia a la compresión es la capacidad del concreto a resistir un fenómeno de aplastamiento y aplica para los concretos de peso unitario mayores a 800 kg/m³.

Máquina de ensayo. Es de capacidad conveniente para evaluar distintas pruebas, suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga continuamente y sin detenimiento según se determinará en el procedimiento de ensayo de tensión, de flexión y de modulo elástico (INACAL, 2008).

Probeta. Recopila información de datos de los resultados de los elementos de cada concreto en la construcción. Además, presenta información sobre las propiedades mecánicas del concreto para identificar los posibles defectos de manera temprana. Según American Society for Testing Materials (ASTM, 2009) las probetas con dimensiones 100 x 200 mm son las que se consideran como probetas normadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón. En la figura 14 se puede presentar el curado en el periodo de días establecidos de las probetas.

Figura 14

Probeta cilíndricas



Para el determinar la resistencia a la compresión de la probeta se realiza un cálculo que consiste en la división entre la carga máxima alcanzada por espécimen durante el ensayo, hasta la falla de este, entre el área promedio de la sección recta. Asimismo, se deberá expresar el resultado obtenido con una aproximación a 0.1 MPa. En la tabla 26 se muestra el resultado de esfuerzo kg/cm^2 de las muestras ensayadas, obteniendo resultados de 7 días que han variado de 160.81kg/cm^2 a 276.26kg/cm^2 .

Tabla 26

Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de la dosificación ECA-15% en kg/cm^2

Dosificación	Días de ensayo a la compresión		
	3 días	7 días	14 días
ECA - 15%			261.01
		179.13	236.94
			227.77
	119.27	160.81	246.65
		201.10	237.22
			276.26

Para poder determinar el esfuerzo promedio se necesitó un total de 10 ensayos con la dosificación ECA-15%. Se presenta los resultados de los ensayos de las probetas, cargas y esfuerzos en la tabla 27.

Tabla 27

Resultados de ensayos a 7 días para la dosificación ECA-15%

Muestra	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kgf)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
N°1	10.01	78.697	20540	261.01	25.60
N°2	10.03	78.933	18703	236.94	23.24
N°3	10.02	78.854	17960	227.77	22.34
N°4	10.01	78.697	19411	246.65	24.20
N°5	10.00	78.540	18631	237.22	23.27
N°6	10.01	78.697	21741	276.26	27.10
N°7	10.02	78.854	15857	201.10	19.73
N°8	10.00	78.540	12630	160.81	15.78
N°9	10.03	79.012	14154	179.13	17.57
N°10	10.02	78.854	9405	119.27	11.70

Nota. Las últimas 4 muestras fueran ensayadas en el día 7 y 14.

Como se puede apreciar en la tabla 27, el ensayo de resistencia a la compresión tuvo como resultado un promedio estandarizado para determinar el área de las probetas de la dosificación ECA-15% los que se muestran en la Tabla 28. Debido a la confiabilidad de los resultados, se presenta el resumen ordenado de menor a mayor de cada ensayo obtenido:

Tabla 28

Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados

Muestra	Resistencia (Kgf/cm ²)	Promedio de 3
N°3	227.767	
N°2	236.943	
N°5	237.216	233.975

N°4	246.652	240.270
N°1	261.005	248.291
N°6	276.258	261.305
Promedio	247.640	245.960

Resistencia a la tracción. En la norma E.060 del RNE y norma ACI 318S – 14 se tienen los parámetros del uso estructural del concreto, el diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina se encuentra dentro alcanzando una resistencia a la compresión de 245.960 kg/cm² a los catorce (14) días. Se muestra en la tabla 29 con un ensayo de 14 días con la dosificación ensayada.

Tabla 29

Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación

Dosificación	Muestra	b (cm)	b promedio (cm)	h (cm)	h promedio (cm)	Luz (cm)	P carga (kgf)	Módulo de Rotura (kgf/cm ²)
ECA - 15%	Viga 1	15.40 15.30	15.35	15.08 15.14	15.11	46.00	1935.00	25.40

En la Tabla 29 se puede visualizar el módulo de rotura (M_r) obtenido en kg/cm². Asimismo, se añade un apartado donde se ha realizado un comparativo con el módulo de rotura teórico que se obtiene mediante la fórmula $F_r = 0.62 \cdot 0.85 \cdot \sqrt{F'_c}$, donde el valor 0.85 resulta de un factor de reducción que se emplea para concretos elaborados con agregado grueso liviano y agregado fino de peso normal.

En base a todos los ensayos y estudios realizados, podemos indicar que la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida y parafina como agregado grueso, cumple los parámetros estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE el módulo de rotura 25.40 kg/cm² a los siete (7) días.

3.3.3. *Análisis de resultados*

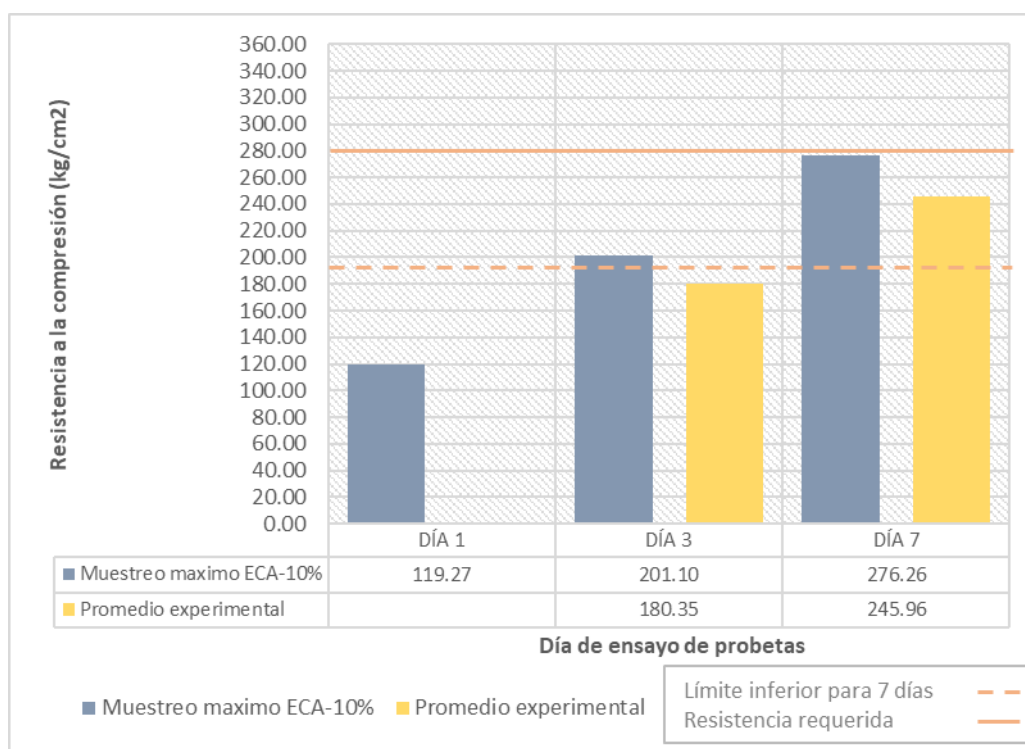
Ensayos en estado Fresco. El Slump y la granulometría son los 2 ensayos que se le realizaron al concreto permeable en estado fresco.

Como era previsto debido a la baja cantidad de agua que desarrolla este concreto debido a las adiciones propuestas, por lo que tiene una consistencia rígida y casi seca, se obtuvo valores de Slump de 0 a 2". El diseño de mezcla fue elaborado en función de la relación a/c de 0.62 presentando un slump más cercano al 0".

Ensayos en estado Endurecido. La resistencia diseño para el ensayo a la compresión fue elaborada para ensayos a los 3, 7 y 14 días, esperando obtener resultados mayores a 175 kg/cm² debido a que es la resistencia mínima que se requiere para las veredas, resistencia requerida de diseño para cumplir con las especificaciones técnicas de la norma CE-010 para pavimentos (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2010). Se muestra en la figura 15:

Figura 15

Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expansiva y parafina



Nota. Según la norma E.060 del RNE para concreto estructural en el día 7 se debe alcanzar el 70% de la resistencia requerida 175kg/cm².

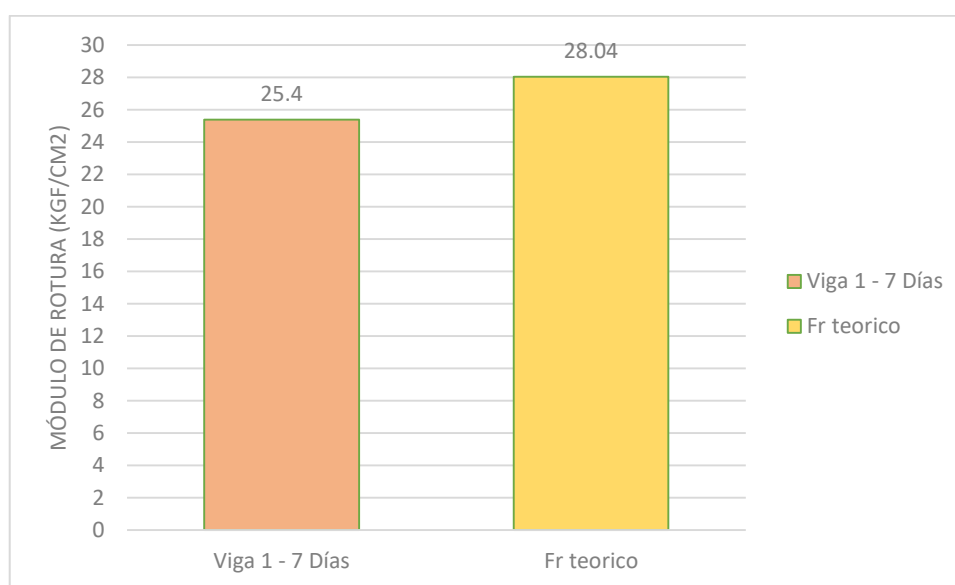
La Figura 15 permite visualizar e interpretar que la resistencia a la compresión obtenida en base a los ensayos realizados en laboratorio a los siete días (7) se encuentra

dentro de los límites establecidos en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE para concreto estructural.

En los resultados de la resistencia a flexión se planteaba obtener resultados de entre 10% y 25% de la resistencia a la compresión diseño. A continuación, la figura 16 se puede visualizar los resultados de las muestras ensayadas de resistencia a la flexión del concreto con arcilla expansiva y parafina ensayado a 7 días.

Figura 16

Gráfica de resultados de la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expansiva y parafina



La Figura 16 brinda la posibilidad de poder interpretar que la resistencia a la flexión obtenida a los catorce días (14) de acuerdo con los ensayos realizados en laboratorio, tiene como módulo de rotura experimental el valor de Fr promedio = 25.4 kg/cm²; siendo, menor al módulo de rotura teórico (Fr teórico = 28.04 kg/cm²) obtenido de la ecuación $0.62 \times 0.85 \times \sqrt{F'c}$ que se encuentra establecida en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE para concreto estructural.

El promedio obtenido para la resistencia a flexión, del concreto propuesto, según el método ACI 522R-10 fue un promedio de 26.72 kg/cm². Por otro lado, la resistencia a flexión se encontró óptima para este ensayo donde se empleó una relación a/c de 0.62.

3.4. Prototipo de vereda de concreto con adición de arcilla expansiva y parafina

3.4.1 Diseño

Se diseñó un prototipo de losa de concreto con arcilla expansiva y parafina y concreto convencional, para poder comparar la diferencia de temperaturas que presentan los diseños. Se muestra en la figura 17 el prototipo del diseño estudiado.

Figura 17

Prototipo de losa de concreto con arcilla expansiva y parafina



El prototipo de (41x41x13) cm tomando en consideración los criterios del artículo científico de Anupam et al. (2021) y tomando los criterios de los ensayos de los laboratorios por el método ACI. Dentro del prototipo se tomaron las mediciones de temperatura superficial del concreto, temperatura ambiental y humedad relativa.

Dentro de las mediciones consideradas en el prototipo de losa, se consideró los extremos de la losa, el medio y parte del espesor, se muestran en la tabla 27, en el diseño del prototipo se presenta unas diferencias notorias en función al diseño de concreto convencional, debido a su pigmentación blanca que tiene el prototipo y el concreto convencional es muy oscuro, también la rugosidad que se tiene mayor presencia en el prototipo y finalmente el peso, el prototipo es más pesado a diferencial del convencional.

3.4.2. Análisis de resultados

Luego de diseñar de mezcla y que cumpla con la resistencia requerida (175 kg/cm²) y realizar el ensayo en estado fresco y endurecido se procede a la construcción de un prototipo (41x41x13) cm tomando en consideración los criterios del artículo científico de Anupam et al. (2021) y tomando los criterios de los ensayos de los laboratorios por el

método ACI., el cual representara la muestra de mediciones en comparación al concreto convencional. Se muestra en la tabla 30 el control de medidas de temperatura superficial y ambiental del prototipo de losa.

Tabla 30

Medición de datos del prototipo de losa

Prototipo de losa	Temperatura			Temperatura			Humedad Relativa (%)		
	Superficial (C°)			Ambiental (C°)					
	10-11	12-13	14-15	10-11	12-13	14-15	10-11	12-13	14-15
Extremo superior	31.80	31.40	32.40						
Medio	33.60	31.10	31.30						
Extremo inferior	34.30	32.30	34.40	31.60	32.9	35.6	48.8%	33.1%	29.0%
Lateral Superior	32.80	30.60	31.60						
Lateral Inferior	29.10	32.00	29.60						
MIN	29.10	30.60	29.60						
MAX	34.30	32.30	34.40						
Prom	32.32	31.48	31.86	31.60	32.90	35.60	48.80%	33.10%	29.00%

Se debe considerar en las mediciones, una presencia diminuta de algunas fisuras de la probeta en los extremos mostrando temperaturas un poco más altas del promedio, trabajando con estos datos en función del promedio para poder tener un rango preciso de los cambios de temperatura en el diseño. Se muestra los datos de medición del concreto convencional en la tabla 31:

Tabla 31

Medición de datos del concreto convencional

Concreto convencional	Temperatura			Temperatura			Humedad Relativa (%)		
	Superficial (C°)			Ambiental (C°)					
	10-11	12-13	14-15	10-11	12-13	14-15	10-11	12-13	14-15
Extremo superior									
Medio									
Extremo inferior	41.20	38.80	39.50	32.50	33.40	37.85	47.5%	33.8%	28.6%
Lateral Superior									
Lateral Inferior									

MIN	41.20	38.80	39.50							
MAX	41.20	38.80	39.50							
Prom	41.20	38.80	39.50	32.50	33.40	37.85	47.50%	33.8%	28.6%	

Se muestra la gran variación que tiene el diseño de concreto con arcilla expansiva en función del concreto convencional, una variación de 3.4°C a 6.5°C grados en temperatura superficial de la vereda

A diferencia de otros métodos, el diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina pudo alcanzar una reducción de temperatura superficial de la vereda de 3.4°C a 6.5°C. Como el diseño de pavimento reflectante y evaporativos afirman los autores Croce et al. (2021):

La sustitución de pavimentos convencionales por materiales frescos supone una reducción del suelo temperaturas de la superficie de hasta 14,0 °C y la consiguiente disminución de la temperatura del aire en las zonas peatonales de nivel entre 0,6 y 1,2 °C. (p. 13)

3.4. Análisis del costo unitario del concreto propuesto

El cálculo de los presupuestos del concreto convencional se realizó en base a un estudio de mercado de los diferentes proveedores que ofrecen este tipo de concreto y se calculó el precio promedio. En base a ello se determinó que el costo unitario del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ tiene un costo promedio de S/ 260.00 por cada m³.

Asimismo, en base a la especialidad de costos y presupuestos de un proyecto en la Provincia de Lima que se obtuvo mediante comunicación propia, se tuvo contemplado la construcción de vereda de 4" de espesor por lo que en la figura 18 se muestra en análisis de precios unitarios de la partida donde se indica que la subpartida de concreto $f'c = 175 \text{ kg/m}^3$ tiene un valor promedio de S/ 270 por cada m³. Ver Figura 18

Figura 18

Análisis del precio unitario de la partida de vereda de concreto $E = 4''$

Partida	03.03.01.09	VEREDA DE CONCRETO, E=4" ACABADO CEMENTO PULIDO Y BRUÑADO						
(003)03.03.01.09								
Rendimiento	m2/DIA	MO. 15,0000	EQ. 15,0000			Costo unitario directo por : m2		65,10
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ			hh	0,1000	0,0533	28,68	1,53
0101010003	OPERARIO			hh	1,0000	0,5333	23,47	12,52
0101010004	OFICIAL			hh	1,0000	0,5333	18,54	9,89
								23,94
Materiales								
02010500010003	ASFALTO LIQUIDO MC-30			gal		0,1000	7,86	0,79
02070200010002	ARENA GRUESA			m3		0,1000	31,98	3,20
								3,99
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		3,0000	23,94	0,72
								0,72
Subpartidas								
010104020106	BASE GRANULAR E=0.10 m.COMPACTADA CON EQUIPO LIVIANO			m2		0,1000	16,01	1,60
010313090202	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO			m2		0,1000	76,27	7,63
010703081102	TRANSPORTE DE AGUA			m3		0,0050	32,64	0,16
010713000101	CONCRETO Fc=175 kg/cm2 CON MEZCLADORA			m3		0,1000	270,57	27,06
								36,45

Nota. Comunicación personal

Por otro lado, de acuerdo al diseño realizado, un metro cubico de concreto con arcilla expansiva y parafina tiene el siguiente costo que se detalla en la tabla 32.

Tabla 32

Costo unitario del concreto $F'c = 175$ con adiciones de arcilla y parafina

	Volumen (kg)	Volumen (Lts.)	Precio unitario	Sub total (\$/.)	Total (\$/.)
Cemento	267.00		0.56	149.52	
Agregado fino	807.66		0.05569	44.98	
Agregado Grueso	1,031		0.03981	48.31	
Agua		166.82	0.0042	0.70	
Arcilla expansiva	182		0.040	7.28	
Parafina	16.02		0.636	10.19	253.71

Como se puede visualizar de la figura 18 y tabla 32, el concreto propuesto tiene un menor valor respecto a los concretos convencionales que significa un 2.42% y 6.03% de ahorro tanto en el mercado mismo como en el costo cuando se elaboran expedientes técnicos.

Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda en la preparación del ECA 15%, utilizar una malla para poder retirar la arcilla expansiva de la parafina líquida, debido a que se desprende fácilmente la capa fina de parafina de la arcilla ante el contacto, la malla permite retirarlo de forma correcta y efectiva. Debido a que todas las porosidades de la arcilla deben ser cubiertas por la parafina

En la preparación del concreto, se recomienda una vibración más prolongada del concreto, debido a que la piedra chancada más la arcilla expansiva que tiene mayor tamaño impiden un esparcimiento correcto en el prototipo.

Se recomienda realizar nuevos ensayos con diferentes diseños utilizando cementos adicionados o aditivos sólidos, con el fin de conocer las variaciones en el desempeño mecánico y poder obtener mejores propiedades en estado endurecido.

Se recomienda mantener limpio el agregado grueso de impurezas, puesto que la presencia de finos en este tipo de concreto altera la cantidad de agua a utilizar, por lo que se puede generar un desbalance de agua en el concreto en comparación con lo diseñado.

Debido al diseño con agregado grueso y parafina, tomar el control de la cantidad de parafina utilizada porque reduce la resistencia de compresión si supera el 10% del volumen del cemento utilizado.

Se recomienda someter un prototipo a otras pruebas como el albedo y la radiación solar interna que emana al exterior en el prototipo de vereda.

Los resultados obtenidos mediante los ensayos elaborados en la presente tesis de concreto con arcilla expansiva y parafina diseñadas con un porcentaje ECA 15% permiten concluir que el diseño cumple con las propiedades mecánicas requeridas según la norma CE-010 de pavimentos urbanos.

La resistencia a la compresión del concreto propuesto en base a arcilla expansiva y parafina como reemplazo parcial del agregado grueso, se encuentra dentro de los parámetros de un concreto para uso estructural de acuerdo a lo estipulado en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE. El concreto propuesto ha alcanzado una resistencia a la compresión de 276.26 kg/cm² a los catorce (14) días.

La resistencia a la flexión del concreto con arcilla expansiva y parafina como agregado grueso, cumple los parámetros estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE el módulo de rotura 25.40 kg/cm² a los catorce (14) días.

Los resultados del diseño de concreto con arcilla expansiva y parafina muestran una reducción de temperatura superficial del pavimento de 3.4°C a 6.5°C en los horarios (12:00-13:00) y (14:00-15:00) que son los horarios con mayor temperatura en el ambiente, estos grados de temperatura reducidos del diseño fueron en una temperatura ambiental de la Av. Domingo Orué de 32°C a 35°C.

Del análisis económico realizado, el concreto propuesto tienen un valor S/ 253.71 en comparación del concreto convencional que está entre S/ 260.00 y S/ 270.00. Con ello se obtiene un ahorro en la fabricación de 2.42% y 6.03% respectivamente.

La puesta en marcha del prototipo en la zona de estudio dio como resultados que el concreto propuesto presenta una variación del 3.4% a 6.5% respecto a la temperatura superficial del concreto. Por lo que el concreto propuesto si logra reducir la temperatura superficial de la vereda.

Capítulo V. Referencias bibliográficas

- American Society for Testing Materials. (2009). Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically (ASTM C470/C470M). <https://goo.su/59xq9t>
- Anupam, B. R., Sahoo, U. C., & Rath, P. (2020). Phase change materials for pavement applications: A review. *Construction and Building Materials*, 247, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118553>
- Anupam, B. R., Sahoo, U. C., & Rath, P. (2021). Thermal and mechanical performance of phase change material incorporated concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 23 (6), 1287-1304. <https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1884590>
- Cemex. (2019, 19 de junio). Hablando de cementos portland. Recuperado el 25 de noviembre, de <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- Chan, J., Carcaño, R. & Moreno, E. (2003). *Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto*. Universidad Autónoma de Yucatán, 7(2), 39-46.
- Croce, S., D'Agnolo, E., Caini, M., & Paparella, R. (2021). The Use of Cool Pavements for the Regeneration of Industrial Districts. *Sustainability*, 13(11), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su13116322>
- Ferrari, A., Kubilay, A., Derome, D., & Carmeliet, J. (2020, setiembre 6-9). *Design of smart wetting of building materials as evaporative cooling measure for improving the urban climate during heat waves*. [Conferencia]. 12th Nordic Symposium on Building Physics, Tallinn, Estonia. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017203001>
- Google (s.f.). [Mapa de Google Maps de Surquillo]. Recuperado el 25 de noviembre del 2023, de <https://www.google.com/maps/@-11.9876429,-77.0909697,15z?entry=ttu>
- Instituto Nacional de Calidad (2001). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (Norma Técnica Peruana 400.012). <https://goo.su/SAA3>
- Instituto Nacional de Calidad (2008). *Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas* (Norma Técnica Peruana 339.034). <https://goo.su/jJfEcU>

- Instituto Nacional de Calidad (2009). *Hormigón (Concreto). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto del cemento Portland* (Norma Técnica Peruana 339.035). <https://goo.su/qLUR>
- Instituto Nacional de Calidad (2012). *Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo* (Norma Técnica Peruana 339.078). <https://goo.su/FUTDzh>
- Instituto Nacional de Calidad (2013). *Cementos. Cementos portland. Requisitos*. (Norma Técnica Peruana 334.009). <https://es.slideshare.net/ianjaelespinozacandia/356376665ntp334009cementosportlandrequisitospdf>
- Kubilay, A., Derome, D., & Carmeliet, J. (2019, setiembre 4-6). *Coupled numerical simulations of cooling potential due to evaporation in a street canyon and an urban public square*. [Conferencia]. Climate Resilient Cities - Energy Efficiency & Renewables in the Digital Era, Lausanne, Switzerland. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012016>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Marani, A., & Nehdi, M. L. (2019). Integrating phase change materials in construction materials: Critical review. *Construction and Building Materials*, 217, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.064>
- McCormac, J. C., Brown, R. H., & Arriola Juárez, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. Alfaomega Grupo Editor.
- Osorio, J. (s.f.). Hidratación del concreto: Agua de curado y agua de mezclado. 360 en concreto. Recuperado el 25 de noviembre del 2023, de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/hidratacion-del-concreto-agua-de-curado-y-aguademezclado/#:~:text=o%20a%20sus%20subordinados.,El%20agua%20es%20el%20componente%20del%20concreto%20que%20entra%20en,s%C3%B3lido%20compacto%20con%20los%20agregados.>

- Qin, Y., Wei, P., Wang, S., & Tan, K. (2021). Experimental study on the thermal characteristics of urban mockups with different paved streets. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 63008-63016.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-15234-1>
- Rashad, A. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An Overview. *Construction and Building Materials*, 170, 757–775.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009>
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2010). *NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. <https://goo.su/pKFPy>
- Rodríguez, P. C. A. (2020). Un método simplificado de predicción de hinchamiento de arcillas expansivas debido a cambios de humedad. *Obras y proyectos*, 28, 35–44.
- Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M., & Nicolini, A. (2016). Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. *Energy & Buildings*, 126, 340–352.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.036>
- Sharifi, N. P., Askarinejad, S., & Mahboub, K. C. (2020). Fracture performance of a PCM-Rich concrete pavement under thermal stresses. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(4), 1–10.
<https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1738436>
- Silva, O. (s.f.). Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla de concreto. 360 en concreto. Recuperado el 25 de noviembre del 2023, de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcladeconcreto/#:~:text=De%20acuerdo%20al%20tama%C3%B1o%20de,N%C2%B0%204%20o%20superior.>
- Somani, P., & Gaur, A. (2020). Evaluation and reduction of temperature stresses in concrete pavement by using phase changing material. *Materials Today: Proceedings*, 32(4), 856-864. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.214>
- Sukontasukkul, P., Intawong, E., Premanoch, P., & Chindaprasirt, P. (2015). Use of paraffin impregnated lightweight aggregates to improve thermal properties of concrete panels. *Materials and Structures*, 49(5), 1793-1803.
<https://doi.org/10.1617/s11527-015-0612-8>