



Universidad **Mariana**

Diseño de prototipo mecánico que aproveche la energía calórica almacenada en el asfalto de las vías para el beneficio de las viviendas

Edward Santiago Reina Narvárez

Juan David López Andrade

Luis Alejandro Sapuyes Ortiz

Valeria Rincones Arellano

Universidad Mariana

Facultad De Ingeniería

Programa Ingeniería Civil

San Juan de Pasto2024

Diseño de prototipo mecánico que aproveche la energía calórica almacenada en el asfalto de las vías para el beneficio de las viviendas

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Civil

Edward Santiago Reina Narvárez

Juan David López Andrade

Luis Alejandro Sapuyes Ortiz

Valeria Rincones Arellano

Mg. Oscar Ricardo Jurado Zambrano

Asesor

PhD. Diego Valencia Enríquez

Co-asesor

Universidad Mariana

Facultad De Ingeniería

Programa Ingeniería Civil

San Juan de Pasto 2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones,
Universidad Mariana

Agradecimientos

En primera instancia agradecer a Dios por permitirme finalizar el presente trabajo y por todas sus bendiciones a lo largo de nuestra vida académica.

A la Universidad MARIANA, por la oportunidad de estudiar, desarrollar y ser una profesional llena de valores inculcados en la misma.

También agradecer a todos y cada uno de los profesores, ya que han aportado con un granito de arena en nuestra formación profesional y como persona ética.

Son muchas las personas que han formado parte de este camino a las que nos da gusto agradecerles su amistad, sus consejos, el apoyo, el ánimo y compañía en los momentos más difíciles de la vida. Algunas están con nosotros y otras en nuestros recuerdos, sin importar en donde estén queremos darles las infinitas gracias por formar parte de nuestra vida, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones.

Para todos Muchas gracias y que Dios los bendiga.

Juan David López Andrade

Edward Santiago Reina Narváez

Valeria Rincones Arellano

Luis Alejandro Sapuyes Ortiz

Contenido

Introducción	12
1. Resumen De La Propuesta	13
1.1. Tema.....	13
1.2. Formulación Del Problema	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. Antecedentes	15
1.5.1. Internacionales	15
1.5.2. Nacionales.....	19
1.6. Metodología	20
1.6.1. Realizar un estudio teórico y experimental sobre el aprovechamiento de la energía calórica en usos domésticos.....	20
1.6.1.1. Revisión de investigaciones sobre aprovechamiento de energía calórica en hogares	20
1.6.1.2. Análisis de las características del asfalto de las vías para determinar su capacidad de transferencia de energía calórica	21
1.6.1.3. Uso de un equipo efectivo experimental para medir la energía calórica del asfalto....	22
1.6.1.4. Estudio de condiciones climáticas	22
1.6.2. Seleccionar los materiales y equipos adecuados para la construcción e implementación del prototipo mecánico.....	25
1.6.2.1. Selección de materiales conductores y fluidos para un prototipo de almacenamiento de energía térmica.	25
1.6.2.2. Diseño detallado del prototipo mecánico, seleccionando los materiales y equipos requeridos	27
1.6.2.3. Análisis de compactación y construcción del prototipo mecánico	28
1.6.2.4. Pruebas de funcionamiento del prototipo en condiciones controladas.	32

1.6.3. Evaluar la viabilidad técnica del prototipo mediante pruebas de campo, en el aprovechamiento de la energía calorífica almacenada en el asfalto.....	32
1.6.3.1. Inspección Visual del Prototipo.....	32
1.6.3.2. Evaluación de la eficiencia del prototipo en condiciones controladas	33
1.6.3.3. Uso de Termómetros y monitorización de temperatura.....	34
1.6.3.4. Proyección de instalación del prototipo y aprovechamiento doméstico.....	34
1.6.3.5. Toma de datos de tensión (mV) y corriente (mA).....	34
2. Presentación de resultados	37
2.1. Recopilación de Datos.....	37
2.1.1. Recopilación de datos en Pasto, Nariño.....	37
2.1.2. Recopilación de datos del municipio de Chachagüí, Nariño.....	37
2.1.3. Análisis de las características del asfalto de las vías para determinar su capacidad de transferencia de energía calórica.....	38
2.2 Selección De Materiales Conductores Y Fluidos Para Un Prototipo De Almacenamiento De Energía Térmica.....	39
2.2.1 Diseño detallado del prototipo mecánico, seleccionando los materiales y equipos requeridos. 40	
2.2.2 Evaluación de la disponibilidad y costo de los materiales y equipos necesarios y adquisición 41	
2.2.3 Estudio de compactación.....	42
2.2.4 Construcción del prototipo.....	42
2.2.5 Implementación del prototipo	43
2.2.6 Prueba de funcionamiento.....	43
2.2.7. Mejoras Necesarias para el Prototipo Tras Inspección Exhaustiva.....	43
2.2.8. Evaluación de la eficiencia del prototipo en condiciones controladas.....	44
2.2.9. Uso de Termómetros y monitorización de temperatura	44

2.2.10. Revisar los datos y observaciones para identificar cualquier problema o área de mejora en el prototipo.	45
2.2.11. Estudio teórico de aprovechamiento de temperatura en uso doméstico.....	48
2.2.12. Proyección de instalación del prototipo y aprovechamiento doméstico.	48
2.2.13. Toma de datos de Voltaje (V) y corriente (A)	49
2.2.14. Explicación grafica temperatura (C°) vs corriente (I).....	54
3. Conclusiones	59
4. Recomendaciones.....	62
Referencias Bibliográficas	63
Anexos.....	66

Índice de Tablas

Tabla 1. Grafica de promedio de temperaturas de asfalto, aire y agua Pasto (Nariño).....	38
Tabla 2. Tabla de la conductividad eléctrica de los metales	39
Tabla 3. Registro de temperaturas prototipo controlado	46
Tabla 4. Voltaje y Corriente mínima de un LED según su tipo	49
Tabla 5. Promedio de registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en serie	56
Tabla 6. Promedio de registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en paralelo	56
Tabla 7. Resultado de numero de termocuplas requerida, para la temperatura promedio asfáltica de la ciudad de Pasto (38°) con circuito en serie	57
Tabla 8. Resultado de numero de termocuplas requerida, para la temperatura promedio asfáltica de la ciudad de Pasto (38°) con circuito en paralelo	57

Índice de Figuras

Figura 1. (A) Medición temperatura del ambiente mediante una termocupla y multímetro, (B) medición de la carpeta asfáltica mediante un termómetro laser.....	22
Figura 2. Medición temperatura de la carpeta asfáltica con termocupla.....	23
Figura 3. Vista satelital lugar de muestreo en Pasto	24
Figura 4. Vista satelital lugar de muestreo en la vía al aeropuerto Antonio Nariño kilómetro Vista satelital lugar de muestreo en la vía al aeropuerto Antonio Nariño kilómetro 30	24
Figura 5. Conductividad térmica de los metales	26
Figura 6. Conductividad térmica de los fluidos	26
Figura 7. Temperatura tomada de los materiales a temperatura ambiente de 23°C e iguales condiciones.....	27
Figura 8. Esquema tuberías AutoCAD.....	27
Figura 9. (A) Tubos de cobre ¼” de 10 cm, (B) Se añaden los tubos en medio del ensayo de compactación y (C) Probeta del ensayo de compactación	28
Figura 10. Molde de madera y el serpentín de cobre ¼” y 7 m de longitud	29
Figura 11. (A), (B) Se compacta y se enraza la primera capa y (C) Añadir el cobre aprovechando el asfalto que está caliente para que se adhiera con facilidad	30
Figura 12. (A) Se coloca el tubo de cobre en medio de la primera capa asfáltica, (B) se acomoda el tubo que quede de tal forma como se diseñó y (C) se pone un sobrepeso para que se adhiera	31
Figura 13. Elaboración de la segunda capa asfáltica del prototipo	32
Figura 14. Prueba de funcionamiento	32
Figura 15. Prototipo con condiciones climáticas reales vs prototipo con condiciones controladas	33
Figura 16. Uso de termómetros y termocuplas para medir las temperaturas	34
Figura 17. Conexión en serie de las termocuplas para una toma de tensión (mV)	35
Figura 18. Conexión en paralelo de las termocuplas para una toma de corriente (mA)	35
Figura 19. Conexión para toma de corriente en el prototipo.....	36
Figura 20. Grafica de promedio de temperaturas de asfalto, aire y agua Pasto (Nariño)	37
Figura 21. Grafica de promedio de temperaturas de asfalto, aire y agua Pasto (Nariño)	38

Figura 22. (A) Vista en planta del prototipo mecánico, (B) Vista isométrico del prototipo mecánico y (C) Vista en perfil del prototipo mecánico.....41

Figura 23. Resultado de prueba de compactación con diferentes MDC42

Figura 24. Implementación final del prototipo.....43

Figura 25. Prototipo cámara controlada con bombillas.....44

Figura 26. Variación de temperaturas en nuevo prototipo (asfalto entrada de agua y salida del agua)45

Figura 27. Comparación temperatura asfalto con temperatura de salida agua.....47

Figura 28. Grafica de temperatura (C°) vs la corriente (mA) en un circuito en serie50

Figura 29. Grafica de temperatura (C°) vs tensión (mV) en un circuito en serie.....50

Figura 30. Grafica de temperatura (C°) vs la corriente (mA) en un circuito en paralelo.....51

Figura 31. Grafica de temperatura (C°) vs la corriente (mA) en un circuito en paralelo.....52

Índice de Anexos

Anexo A. Recolección de muestras Pasto (Nariño)	66
Anexo B. Recolección de muestras de temperaturas Chachagüí (Nariño)	72
Anexo C. Estudio y experimentos efecto Seebeck.....	89
Anexo D. Estudio realizado de comparación de propiedades térmicas entre el concreto y asfalto	92
Anexo E. Realización de evaluación de disponibilidad y costo de materiales y equipo para construcción de prototipo	94
Anexo F. Selección de proveedores y solicitud de cotizaciones.....	95
Anexo G. Análisis realizado a proveedores	96
Anexo H. Verificación de calidad de los componentes adquiridos para construcción de prototipo	100
Anexo I. Revisión de datos y observación en la construcción del prototipo para mejorar y evitar problemas en el prototipo.....	101
Anexo J. Realización de estudio teórico para uso de aprovechamiento en las viviendas	102
Anexo K. Estudio teórico de aprovechamiento de temperatura en uso doméstico	103
Anexo L. Instalación y calibración de instrumentación de conversión energética	104
Anexo M. Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en serie (tabla resumen de datos obtenidos)	107
Anexo N. Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en paralelo (tabla resumen de datos obtenidos)	108
Anexo O. Planos del prototipo	109
Anexo P. Video de prueba de funcionamiento.....	113
Anexo Q. Planos del prototipo en proyección real.....	114

Introducción

La energía es un recurso fundamental para el desarrollo de las actividades humanas y el bienestar de la sociedad. Sin embargo, la mayor parte de la energía que se consume proviene de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles, que generan impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Por esta razón, es necesario buscar alternativas que permitan aprovechar las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica o la geotérmica.

Una de estas fuentes de energía renovable es la energía calorífica almacenada en el asfalto de las vías. El asfalto es un material que absorbe gran cantidad de calor durante el día y lo libera durante la noche. Este calor puede ser utilizado para generar electricidad o para calentar agua o aire para las viviendas. Sin embargo, no existen muchos estudios ni prototipos que hayan explorado esta posibilidad.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un prototipo mecánico que aproveche la energía calorífica almacenada en el asfalto de las vías para el beneficio de las viviendas. Para ello, se plantea realizar un estudio teórico y experimental sobre los principios físicos y los mecanismos que permiten la transformación de la energía calorífica en energía eléctrica o térmica.

La importancia de este proyecto radica en que contribuye a la generación de energía limpia y sostenible, aprovechando un recurso abundante y gratuito como es el calor del asfalto. Además, este proyecto puede generar beneficios sociales para las comunidades que habitan cerca de las vías, al reducir sus costos de energía y mejorar su calidad de vida.

1. Resumen De La Propuesta

Este proyecto de trabajo de grado tiene como objetivo diseñar un prototipo mecánico que aproveche la energía calórica almacenada en el asfalto de las vías para mejorar el suministro energético de las viviendas en la ciudad de San Juan de Pasto. Se realizará un análisis exhaustivo tanto teórico como el experimental sobre el aprovechamiento de esta energía calórica en usos domésticos, así como la selección de materiales y equipos adecuados para la construcción e implementación del prototipo.

Este proyecto se enmarca en la necesidad de encontrar fuentes de energía sostenibles y accesibles que contribuyan a reducir la pobreza energética.

1.1. Tema

En un mundo con una población en crecimiento, una rápida urbanización y una demanda energética en aumento, es muy importante encontrar alternativas para la producción de energía la cual sea más amigable con el medio ambiente, ya que la mayoría de los medios de producción de energía actuales generan grandes cantidades de contaminación ambiental lo cual perjudica a todos los ecosistemas y la salud de todas las personas.

Además, en varias partes de mundo se presenta un gran índice de pobreza energética y de difícil acceso a diferentes regiones que presentan estos problemas, en Colombia según un estudio realizado en el año 2023 por PROMIGAS, el índice multidimensional de pobreza energética (IMPE) específica que 2 de cada 10 personas en el país son pobres energéticos, es decir que aproximadamente 9.6 millones de personas se encuentra en situación de pobreza energética (PROMIGAS, 2023).

Este estudio clasifica a los departamentos de Colombia en un ranking del 1 al 33, donde 1 representa al departamento con menor porcentaje de población en situación de pobreza energética y 33 es el departamento con mayor porcentaje de población en situación de pobreza energética, Nariño dentro de este ranking clasifica en el número 19 indicando que 44.7% de la población de

este departamento se encuentra en situación de pobreza energética, es decir que 728.137 personas presentan estas dificultades.

1.2. Formulación Del Problema

¿Cómo diseñar un prototipo mecánico que aproveche la energía calórica almacenada en el asfalto de las vías para el beneficio de las viviendas en la ciudad de San Juan de Pasto?

1.3. Justificación

La energía es un recurso fundamental para el desarrollo humano, pero también es una de las principales causas del cambio climático y la contaminación ambiental. Por eso, es necesario buscar formas de generar y utilizar la energía de manera más eficiente y limpia, aprovechando las fuentes renovables que ofrece la naturaleza. Una de estas fuentes es el aprovechamiento de la energía térmica acumulada en el asfalto.

El proyecto de investigación se centra en la viabilidad técnica de aprovechar la energía térmica acumulada en las carreteras para el aprovechamiento de energía, considerando su potencial para abordar la creciente demanda energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático en un contexto de rápido crecimiento poblacional y urbanización. Para ello, se requiere diseñar un prototipo mecánico que sea capaz de extraer la energía calórica del asfalto y transferirla a un sistema de calefacción doméstico.

La importancia de llevar a cabo esta investigación radica en la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y eficaces para satisfacer la creciente demanda energética y abordar los desafíos ambientales que enfrenta al planeta en constante evolución. Con la población global en aumento y una rápida urbanización, la dependencia de fuentes de energía no renovables está generando problemas significativos, como el agotamiento de recursos y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático.

Es esencial encontrar formas más limpias y eficientes de generar energía debido a su impacto en el cambio climático y la contaminación ambiental. Este proyecto de investigación se enfoca en aprovechar la energía térmica del asfalto de las carreteras, con el objetivo de abordar la creciente demanda energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo mecánico que aproveche la energía calórica almacenada en el asfalto de las vías para el beneficio de las viviendas en la ciudad de San Juan de Pasto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio teórico y experimental sobre el aprovechamiento de la energía calórica en uso domésticos.
- Seleccionar los materiales y equipos adecuados para la construcción e implementación del prototipo mecánico.
- Evaluar la viabilidad técnica del prototipo mediante pruebas de campo, en el aprovechamiento de la energía calorífica almacenada en el asfalto.

1.5. Antecedentes

1.5.1. Internacionales

El “*Estudio del comportamiento térmico de pavimentos de mezcla bituminosa y análisis de un colector solar asfáltico multicapa.*” (Pascual M., 2012). Una tesis doctoral de la Universidad de Cantabria, Proyecto "Fénix", es realizada en la ciudad Santander de España, ejecutada con el objetivo es estudiar el comportamiento térmico de mezclas bituminosas expuestas a radiación solar para desarrollar un nuevo colector asfáltico que optimice la captación de energía solar térmica en pavimentos.

Se desarrolló una nueva metodología para determinar en laboratorio la distribución de temperaturas en probetas de tres tipos diferentes de mezclas asfálticas (AC16S, BBTM 11A y PA16) cuando se someten a la acción de la radiación solar. Las probetas de estas mezclas, junto con probetas de hormigón convencional con y sin asfalto, se sometieron a irradiación con una lámpara simuladora de la radiación solar.

El objetivo principal es investigar si los pavimentos asfálticos pueden aprovechar parte de la energía solar térmica, estudiando para ello su comportamiento térmico y desarrollando un nuevo colector solar asfáltico optimizado.

El trabajo de grado conocido como “Diseño y construcción de un prototipo para la extracción de energía térmica del asfalto” (Universidad Politécnica de Madrid, 2018), en el que se diseña y construye un prototipo basado en un circuito cerrado de agua que circula por unos tubos empotrados en el asfalto. El estudio evalúa el rendimiento térmico del prototipo y su potencial aplicación para calefacción o refrigeración (Universidad Politécnica de Madrid, 2018).

Power Road (Anjolras, 2022), un sistema desarrollado por Eurovias en España que convierte carreteras, calles y estacionamientos en recolectores de energía al utilizar el calor del asfalto. Este sistema permite calentar hogares o edificios comerciales, derretir nieve y combatir las islas de calor urbanas. Consiste en instalar un intercambiador de calor debajo del pavimento, que circula un fluido para capturar y transmitir el calor.

Power Road puede funcionar como un recolector de energía térmica o como un emisor de calor, dependiendo del uso deseado. Puede integrarse con bombas de calor solares o fuentes de calor de bajo carbono. Las aplicaciones potenciales de Power Road van desde hogares individuales hasta vecindarios sostenibles, piscinas, centros comerciales y aeropuertos. La instalación de Power Road debajo de las pistas de los aeropuertos, por ejemplo, podría ayudar a derretir la nieve y el hielo, lo que resultaría en ahorros significativos.

Eurovia afirma que 25 metros cuadrados de Power Road pueden cubrir el 100% de las necesidades de calefacción anuales de una vivienda de 70 metros cuadrados. En un vecindario de

aproximadamente 55,000 metros cuadrados, 4 kilómetros de Power Road podrían proporcionar suficiente energía para suministrar agua caliente y calefacción a toda el área.

Además, Power Road se puede utilizar para combatir altas temperaturas al capturar y almacenar calor bajo tierra durante el verano, enfriando el pavimento y ayudando a mitigar el efecto de isla de calor urbano. El sistema ha sido probado para derretir nieve y hielo, así como para calentar un edificio cerca de un estacionamiento.

Power Road se encuentra ahora en la fase comercial, con el primer proyecto instalado en un estacionamiento escolar en Pontalier, Francia, para mantener las carreteras y la terminal de autobuses libres de nieve.

La tesis sobre el análisis del potencial energético del pavimento asfáltico como fuente renovable de energía, realizado por la Universidad Nacional Tecnológica de Argentina (2017), en el que se analiza la cantidad de energía térmica que se puede extraer del pavimento asfáltico mediante un modelo matemático.

El estudio determina los factores que influyen en la temperatura del asfalto y su capacidad calorífica (Universidad Nacional Tecnológica de Argentina, 2017). Este estudio examinó cómo aprovechar la energía térmica del pavimento asfáltico e identificar los factores clave que afectan la temperatura y la capacidad calorífica del asfalto. Gracias a este hallazgo es posible desarrollar sistemas de energía renovable en entornos urbanos, impulsando la sostenibilidad y la diversidad energética.

Los científicos del Instituto Politécnico de Worcester en el Reino Unido están trabajando en un proyecto que tiene como objetivo convertir el calor recogido de las carreteras en una fuente de energía alternativa. Así el proyecto liderado por el profesor Rajib Mallick de Worcester se encuentra en sus primeras etapas, con las primeras plataformas publicadas y la investigación activa. Han descubierto que el asfalto alcanza su temperatura máxima a pocos centímetros de la superficie mientras investigan la permeabilidad al calor y la posibilidad de convertirlo en agua corriente.

Destaca que esta fuente de energía alternativa podría ser tan útil como los paneles solares, ya que el calor generado por el asfalto persiste incluso durante la noche, lo que podría hacer que carreteras y estacionamientos sean autosuficientes (Univision, 2008)

El proyecto Pavener en España (Camos, 2012) pretende aprovechar la energía térmica acumulada en el pavimento mediante su transporte de un fluido que circulará por tuberías metálicas ubicadas por debajo del mismo, según el centro tecnológico vasco, que implementar dicho sistema puede ser implementado bajo cualquier superficie pavimentada expuesta a radiación solar, como carreteras, aparcamientos, aeropuertos, etc. El proyecto, de dos años de duración, es liderado por el grupo Campezo.

Actualmente, las actividades que se desarrollan en el laboratorio de Investigación y Control de Calidad de este grupo son dos, principalmente: control de calidad y desarrollo de proyectos de investigación. Según Tecnalia, integrando el sistema desarrollado con un almacenamiento térmico y una bomba de calor, la energía térmica acumulada puede ser utilizada en aplicaciones de baja temperatura, tales como la climatización de edificios, polideportivos, piscinas o la producción de agua caliente sanitaria (TECNALIA, 2011).

Otra aplicación potencial del sistema es, según el centro tecnológico vasco, su utilización en invierno, según TECNALIA (2011), "para mantener la temperatura del asfalto por encima del punto de congelación, previniendo la formación de hielo en carreteras" (pág. 1), lo cual, además, mejoraría la seguridad vial y ahorraría sal a las administraciones públicas (la sal es el medio más utilizado actualmente para evitar la formación de hielo en la vía pública).

Otras de las ventajas que menciona el centro tecnológico vasco son el ahorro en materia de mantenimiento de carreteras, pues "tanto en invierno como en verano se mantiene una temperatura más estable, lo que reduce la formación de grietas y surcos en los pavimentos", y la reducción del efecto isla de calor en ciudades "por el efecto beneficioso que supone la extracción de calor de las superficies pavimentadas".

Al presente, la Unidad de Construcción de TECNALIA está investigando las propiedades térmicas y mecánicas del sistema, mediante simulaciones y mediciones experimentales, con el objeto de optimizar la configuración del mismo en función de su aplicación. Finalmente, tras construir el prototipo, se estudia el rendimiento del mismo.

1.5.2. Nacionales

El artículo "Energía renovable a partir de un pavimento flexible" de la revista *Asfaltos y Pavimentos* (Rodríguez, Garnica, Rodríguez G., & Rodríguez U., 2015), explora la posibilidad de aprovechar la energía térmica presente en el asfalto para generar electricidad utilizando semiconductores que forman un circuito entre un punto caliente y uno frío. Este enfoque ofrece la ventaja de utilizar la amplia extensión de superficie pavimentada disponible para la instalación de estos sistemas. Aunque la cantidad de electricidad producida puede ser modesta, representa una contribución potencialmente significativa a la generación de energía renovable.

El trabajo de investigación sobre el estado del arte de la universidad Piloto de Colombia en Bogotá, Colombia. (Rodríguez G. & Garnica Q., 2015), propone examinar los avances alcanzados en las diversas tecnologías investigadas para obtener de distintos tipos, como la térmica, mecánica, eléctrica o en el caso de las superficies de rodaje, existen otras opciones aparte de los pavimentos asfálticos o flexibles. En Colombia, las condiciones climáticas favorables, marcadas por altas temperaturas, presentan un entorno propicio para la exploración de sistemas de obtención de energía a partir de pavimentos. La extensa red de carreteras ofrece una oportunidad única para aprovechar esta tecnología. Aunque la investigación sobre la generación de energía térmica a partir de pavimentos asfálticos y su conversión en energía eléctrica se ha llevado a cabo en otros países, aún no se ha desarrollado en Colombia.

Este documento busca promover la investigación y el desarrollo de sistemas similares en el país, con el objetivo de proporcionar energía en zonas aisladas y vulnerables que carecen de acceso a la electricidad. Se proponen diversos enfoques, como sistemas basados en tuberías, fluidos y piezoeléctricos, con el fin de adaptar la tecnología a las necesidades y condiciones específicas de Colombia y aprovechar su potencial para mejorar la calidad de vida en áreas remotas.

La tesis doctoral llamada Aprovechamiento de la energía térmica residual del pavimento asfáltico para calefacción doméstica realizado por la Universidad Nacional de Colombia en 2019, en el que se propone un sistema compuesto por un colector solar térmico integrado al pavimento asfáltico y un intercambiador de calor para transferir la energía térmica al agua. El estudio concluye que el sistema es viable y eficiente, y que podía reducir el consumo de energía eléctrica y las emisiones de Co2 (Universidad Nacional de Colombia, 2019).

El trabajo de grado de pavimentos flexibles como fuente de energía renovable de la Universidad Católica de Colombia. (Chavez Saldaña & Sanabria V., 2022), habla sobre el avance tecnológico y el aumento en el consumo de energía en la sociedad actual. Se menciona que los combustibles fósiles representan la mayor parte del consumo energético, pero se destaca la energía renovable como una alternativa efectiva para reducir las emisiones de carbono y combatir el cambio climático.

También se menciona que, aunque aún existen desafíos en el acceso a la electricidad en muchas partes del mundo, se han logrado avances significativos en el desarrollo de sistemas energéticos modernos y seguros. Además, se menciona que la infraestructura vial, como las carreteras inteligentes, puede contribuir a la generación de energía limpia. En Colombia, se busca la evolución de los pavimentos para que sean duraderos, sostenibles y capaces de captar energía, como parte de los esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático (Chaves Saldaña & Sanabria Velasquez, 2022).

1.6. Metodología

1.6.1. Realizar un estudio teórico y experimental sobre el aprovechamiento de la energía calórica en usos domésticos.

1.6.1.1. Revisión de investigaciones sobre aprovechamiento de energía calórica en hogares. Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos web, utilizando para su búsqueda palabras clave relacionadas con el tema, como "aprovechamiento de energía calórica en usos

domésticos", "energía geotérmica urbana", "sistemas de captación de energía térmica en carreteras", entre otras. Se seleccionaron los artículos que cumplan con los criterios de inclusión, como estar relacionados directamente con el aprovechamiento de energía calórica en usos domésticos y tenga efectividad en una zona urbana. Se extrajeron datos relevantes de los artículos seleccionados, como los métodos utilizados, los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas.

1.6.1.2. Análisis de las características del asfalto de las vías para determinar su capacidad de transferencia de energía calórica. Para determinar las características de la transferencia de calor de la mezcla asfalto se realizó por tres diferentes métodos: por radiación el cual ocurre cuando la mezcla asfáltica no está en contacto con otro elemento u objeto y aun así ocurre transferencia de calor, por conducción el cual consiste en analizar la transferencia cuando la mezcla asfáltica está en contacto con otro objeto o elemento y por convección cuando dicha transferencia de calor ocurre por el movimiento de líquidos.

Para calcular dicha transferencia de calor mediante los diferentes métodos se empleó las siguientes formulas:

Transferencia de calor mediante conducción

$$Q = \lambda * A * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Transferencia de calor mediante convección

$$Q = h * A * \Delta T$$

Transferencia de calor mediante radiación

$$Q = \lambda * A * \Delta T$$

Donde:

Q = Transferencia de calor (Watts)

A = Área de la superficie (m²)

λ = Coeficiente de transferencia de calor

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección

ΔT = Diferencia de temperatura

Δx = distancia

1.6.1.3. Uso de un equipo efectivo experimental para medir la energía calórica del asfalto.

Con el fin de comprender propiedades térmicas del asfalto, llevando a cabo, un procedimiento experimental que incluyan condiciones controladas, en el cual se permite controlar la temperatura del mismo. Se recopilan los datos que posteriormente se deben analizar, para obtener los respectivos valores se utilizaron diferentes equipos como lo es una termocupla en un multímetro (elementos utilizados para medir temperatura) y termómetro láser, se usan los 2 para asegurar que los datos obtenidos sean fiables.

Figura 1

(A) Medición temperatura del ambiente mediante una termocupla y multímetro, (B) medición de la carpeta asfáltica mediante un termómetro laser



(A)



(B)

1.6.1.4. Estudio de condiciones climáticas. Se realizaron diferentes pruebas pilotos en la ciudad de Pasto y en la vía al aeropuerto Antonio Nariño kilómetro 30, para poder determinar cuál era la zona más óptima en la cual se podría instalar este prototipo, dentro de estas pruebas se realizó la toma de datos de la temperatura del aire, la temperatura del agua la cual salía de un grifo cercano

a la zona y la temperatura de la carpeta asfáltica, la cual contaba con un espesor de 10 cm, para la medición de esta se la realizó en tres diferentes capas de profundidad, la primera capa es el contacto directo del asfalto con el aire (profundidad = 0), posteriormente a una profundidad de 5 cm y por último a una profundidad de 10 cm. Para poder tomar las medidas a estas profundidades se perforó el pavimento con ayuda de un taladro y posteriormente con ayuda de una termocupla y un multímetro se realizó la medición de las temperaturas.

Figura 2

Medición temperatura de la carpeta asfáltica con termocupla



Esta toma de temperaturas para la ciudad de Pasto se realizó durante 25 días; desde el 9 de febrero hasta el 4 de marzo del 2024, en tres diferentes horas del día, a las 8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm, en la dirección de calle 19a #31c 22 Barrio Las Cuadras (ver Figura 3). Para el municipio de Chachagüí, la recolección de datos se realizó durante los meses de julio y agosto del 2023, en la vía al aeropuerto Antonio Nariño kilómetro 30 (ver Figura 4), en las horas de 8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm, aunque también tomaron datos en otras horas para poder realizar un análisis más amplio respecto a los resultados.

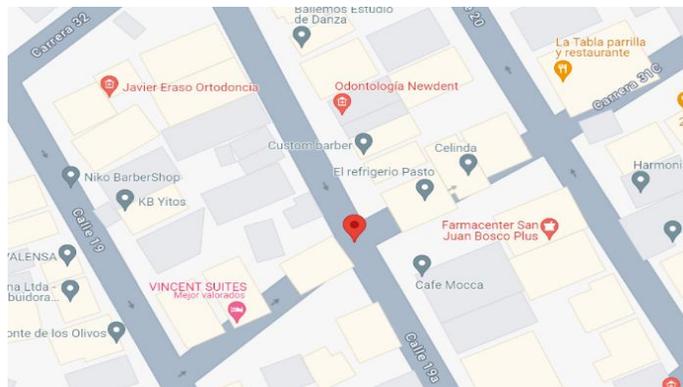
Es importante destacar que se escogieron estos respectivos lugares para la toma de datos ya que se observó que en estos transcurren un número significativo de vehículos de diferentes categorías y además se observó que en las calles de estos lugares los rayos solares tienen contacto directo con la carpeta asfáltica sin que ningún objeto y/o estructura generen alguna obstaculización de estos

rayos solares. Con respecto a las horas asignadas para la toma de datos se decidieron según el posicionamiento del sol y poder analizar el comportamiento de la carpeta asfáltica según esta.

A las 8:00 am el sol por lo general ya salió y está ascendiendo en el cielo y su solar es suave, mientras que a las 12:00 pm el sol se encuentra en su punto más alto y su luz solar es más intensa y brillante, y por último a las 4:00 pm el sol comienza a descender del cielo preparándose para ponerse, y la luz solar en este punto es más suave y cálida.

Figura 3

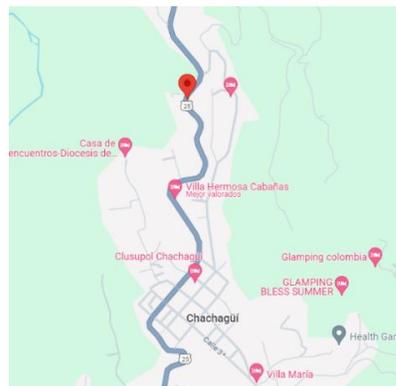
Vista satelital lugar de muestreo en Pasto



Google Map (2024)

Figura 4

Vista satelital lugar de muestreo en la vía al aeropuerto Antonio Nariño kilómetro 30



Google Map (2024)

Después de realizar esta recopilación de datos, se procedió a analizar la profundidad del asfalto donde se encuentra una mayor concentración de calor. Este análisis permitió identificar cómo la temperatura varía a diferentes niveles de profundidad, lo cual es crucial para entender el comportamiento térmico del asfalto durante su exposición al ambiente y la carga vehicular. Además, se demostró la diferencia de temperatura entre las localidades de Pasto y Chachagüí, dos zonas con condiciones climáticas distintas. El análisis de estas diferencias es clave para comprender cómo las condiciones climáticas de cada zona afectan la temperatura del asfalto.

1.6.2. Seleccionar los materiales y equipos adecuados para la construcción e implementación del prototipo mecánico.

1.6.2.1. Selección de materiales conductores y fluidos para un prototipo de almacenamiento de energía térmica. Se realizó una investigación de materiales conductores que presenten condiciones de calor adecuadas, teniendo en cuenta la recopilación de información sobre diferentes tipos de materiales y sus propiedades conductivas.

Todo esto con el fin de seleccionar los materiales adecuados para la construcción del prototipo que tengan amplia potencia como conductor de calor, se tuvo en cuenta factores como la conductividad térmica, la disponibilidad, el costo (ver tabla 2). Demostrando así cuales son los mejores materiales, explicando las mejores propiedades teniendo en cuenta valores numéricos, durabilidad, resistencia a la corrosión y la humedad.

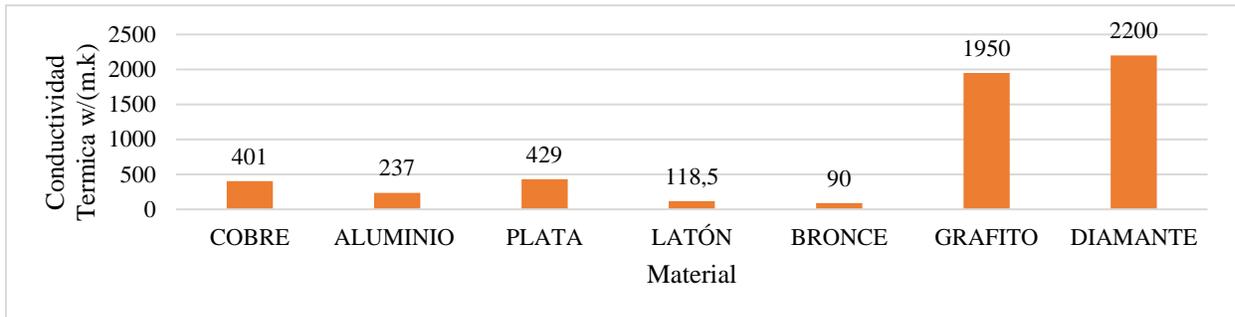
Tubería

Principalmente se consultó el tipo de material en este caso será de un metal, puesto que, presentan diferentes características que servirán para el prototipo como la resistencia estructural, durabilidad, capacidad de conducción térmica y eléctrica, flexibilidad y resistencia a la temperatura. (Cuitiño, Rotondaro, & Esteves, 2020).

Se eligió el material por la característica que proporciona más conductividad térmica teniendo en cuenta la gráfica de la Figura 4.

Figura 5

Conductividad térmica de los metales



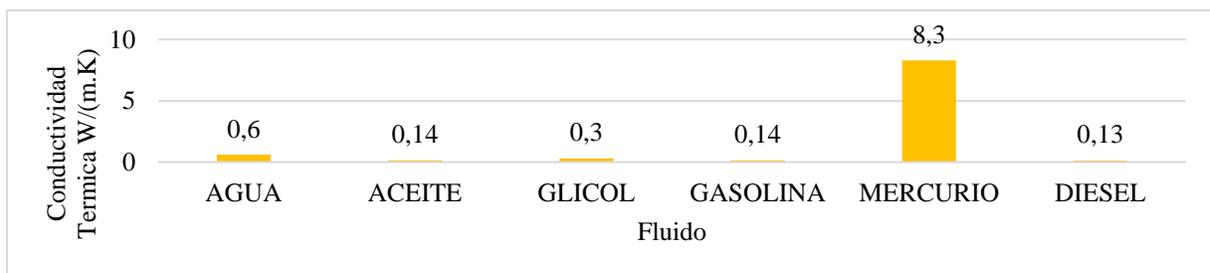
Se puede observar que el grafito y el diamante son los materiales que tienen mejores características térmicas, pero en el comercio no existe las tuberías de dichos materiales, por otra parte, la plata es un material que tienen un costo muy elevado, por lo cual se recurre a usar una tubería de cobre que tienen buenas características para el desarrollo del prototipo.

Fluido

Por otra parte, para el fluido que pasara por la tubería se tuvo en cuenta la característica más importante en este tema conductividad térmica, costos, en caso de algunos la seguridad personal, y riesgo ambiental.

Figura 6

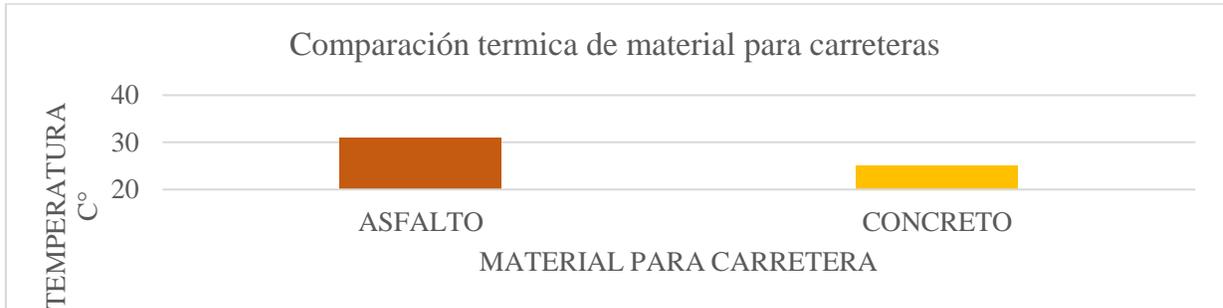
Conductividad térmica de los fluidos



La figura 6 indica la conductividad térmica de diferentes fluidos la mayor sería del mercurio, pero NO se va usar por temas de costos, sustancia altamente química y tóxica y causa daños irreversibles a los ecosistemas. Por ende, pasará agua por la tubería.

Figura 7

Temperatura tomada de los materiales a temperatura ambiente de 23°C e iguales condiciones

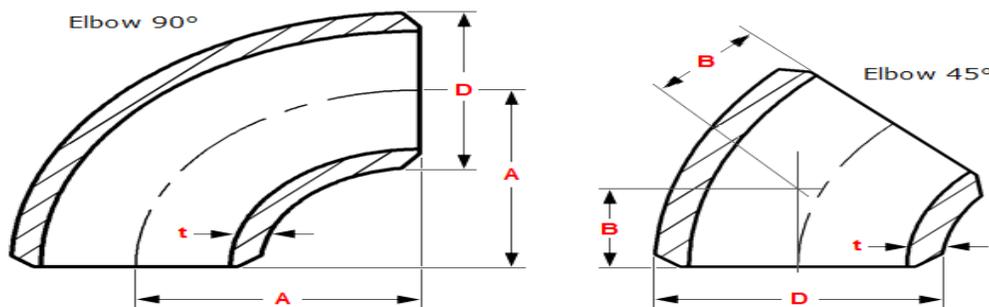


1.6.2.2. Diseño detallado del prototipo mecánico, seleccionando los materiales y equipos requeridos. Para diseñar el prototipo fue necesario comprender el material a usar en este caso el cobre, por medio de la teoría los codos de tubería, se calcula el radio de curvatura al que se deberá doblar el tubo para maximizar su capacidad de conducción, mejor intentando tener las menores pérdidas posibles, una vez determinado el radio, por medio del software “AutoCAD” se determinan las demás medidas correspondientes completando el diseño. (ver figura 8)

Teoría del codo: El codo de radio largo significa que el radio de curvatura del codo es 1,5 veces el diámetro del codo. Los codos de radio largo 1.5D son los codos más populares en los proyectos. Normalmente el grado de los codos LR es de 45°, 90° y 180°. Carbón, S. (2023). Long radius elbow.

Figura 8.

Esquema tuberías AutoCAD



Fuente: Tomada de “Long Radius Elbow” por Hebei Haihao Group (2021)

1.6.2.3. Análisis de compactación y construcción del prototipo mecánico. Para la construcción de este prototipo, se realizaron diversas pruebas de compactación para determinar el método adecuado para compactar la mezcla asfáltica. Se utilizaron probetas con diferentes diámetros de material: MDC10, MDC19 y MDC25, siendo MDC25 el más grueso y MDC10 el más fino. (Ver figura 9).

Figura 9

(A) Tubos de cobre 1/4" de 10 cm, (B) Se añaden los tubos en medio del ensayo de compactación y (C) Probeta del ensayo de compactación



(A)



(B)



(C)

Con esta decisión, se procedió a buscar los materiales necesarios para la construcción del prototipo, que tenía unas dimensiones de 10x60x50 cm. Entre los materiales seleccionados, se incluyó tubería de $\frac{1}{4}$ la cual fue doblada en modo de serpentín, con el fin de que, esta tenga un mayor recorrido y área de contacto.

Figura 10

Molde de madera y el serpentín de cobre $\frac{1}{4}$ " y 7 m de longitud.



Se llevó a cabo la mezcla asfáltica en capas. Primero, se compactó la primera capa y se colocó un serpentín de cobre para que se adhiriera al asfalto (ver figura 11). Al día siguiente, tras el secado de la primera capa, se aplicó una segunda capa de asfalto sobre la primera y el serpentín de cobre (ver figura 12). Esta segunda capa también fue compactada y se dejó secar durante un día. Posteriormente, realizar sus pruebas.

Las dimensiones del prototipo fueron seleccionadas para optimizar la eficiencia del sistema y la accesibilidad. Al tener un área mayor, se incrementa la superficie de contacto, lo que mejora la captura de la radiación solar en el asfalto. Esta configuración permite una transferencia de calor más efectiva, aprovechando la relación entre área y eficiencia térmica.

Además, las dimensiones elegidas garantizan que el prototipo sea manejable y accesible, considerando su peso y la facilidad de transporte. Este balance entre tamaño, eficiencia y accesibilidad fue clave en la selección de las medidas del prototipo, buscando un diseño que fuera tanto funcional como práctico.

Figura 11

(A), (B) Se compacta y se enraza la primera capa y (C) Añadir el cobre aprovechando el asfalto que está caliente para que se adhiera con facilidad.



(A)



(B)



(C)

Figura 12

(A) Se coloca el tubo de cobre en medio de la primera capa asfáltica, (B) se acomoda el tubo que quede de tal forma como se diseñó y (C) se pone un sobrepeso para que se adhiera.



(A)



(B)



(C)

Figura 13

Elaboración de la segunda capa asfáltica del prototipo.



1.6.2.4. Pruebas de funcionamiento del prototipo en condiciones controladas. En la primera prueba del prototipo, tras su construcción, se evaluará la circulación del agua a través del sistema. El objetivo era comprobar la ausencia de fugas y asegurar que el agua fluyera normalmente con un caudal constante (ver figura 14). Para realizar esta prueba, se conectó el prototipo a un grifo mediante una manguera.

Figura 14

Prueba de funcionamiento



1.6.3. Evaluar la viabilidad técnica del prototipo mediante pruebas de campo, en el aprovechamiento de la energía calorífica almacenada en el asfalto.

1.6.3.1. Inspección Visual del Prototipo. Antes de realizar las respectivas pruebas, se realiza una inspección visual del prototipo para observar que este no tenga fallas y posteriormente funcione

correctamente, entre estas inspecciones se tiene que ver que las mangueras conectadas al prototipo las cuales ayudarán a transportar el agua no tengan fisuras y estén bien conectadas, también observar que la tubería de cobre no presente ninguna alteración física grave.

1.6.3.2. Evaluación de la eficiencia del prototipo en condiciones controladas. Con el fin de evaluar la eficiencia del prototipo y de diferentes materiales en la captura y conversión del calor, se debió realizar pruebas en un entorno controlado, ya que, debido a la baja eficiencia del sistema en climas inestables, se debió construir una cámara que simula un clima controlado y previene pérdidas y datos mal estipulados, con el fin de que, esta encerrara al mismo prototipo, mediante materiales como vidrio para que este prevenga pérdidas de calor, se utilizaron bombillas para proporcionar una fuente de calor constante, además, esta fue recubierta en cartón, permitiendo simular condiciones térmicas estables dentro de esta cámara.

Se midió la eficiencia del sistema con estos materiales a diferentes temperaturas, para obtener su detallado rendimiento. Los resultados revelaron que estos materiales ofrecen mejor captura de temperatura, con el objetivo de que este opere de manera más adecuada.

Figura 15

Prototipo con condiciones climáticas reales vs prototipo con condiciones controladas

Antes



Despues



1.6.3.3. Uso de Termómetros y monitorización de temperatura. Una vez el prototipo tenga las condiciones necesarias, se realiza la toma de datos de la temperatura en puntos estratégicos del prototipo y del ambiente, como lo es la superficie de la carpeta asfáltica, la temperatura del agua antes de ingresar al prototipo y en su salida, esta toma de temperaturas se realiza con ayuda de una termocupla.

Figura 16

Uso de termómetros y termocuplas para medir las temperaturas



1.6.3.4. Proyección de instalación del prototipo y aprovechamiento doméstico. Se plantea el lugar adecuado para la instalación del prototipo cerca de una vivienda, donde se evaluará la mejor manera de aprovechar la diferencia de temperatura obtenida. Además, se indicará el sistema de instalación y la correcta conexión al lavaplatos de la casa para su óptimo aprovechamiento doméstico.

En este caso, se utilizó 3 termocuplas tipo J. Gracias a sus características, se comprobó que es la más óptima para trabajar en asfalto y con las temperaturas que se puedan manejar.

1.6.3.5. Toma de datos de tensión (mV) y corriente (mA). Durante la toma de datos de tensión, se utilizaron 3 termocuplas tipo J conectadas a un solo multímetro de forma paralela y las termocuplas en distintas ubicaciones dentro de la muestra de asfalto. Las termocuplas, que son sensores de temperatura altamente sensibles, generan una pequeña tensión eléctrica en respuesta a las diferencias de temperatura entre sus uniones caliente y fría.

Figura 17

Conexión en serie de las termocuplas para una toma de tensión (mV)



A medida que la muestra de asfalto se calienta, las termocuplas empiezan a registrar la temperatura local en cada punto donde se encuentran ubicadas. La tensión generada por cada termocupla se mide en milivoltios (mV) y es proporcional al aumento de temperatura. Por ejemplo, en un ensayo, se registraron tensiones que varían entre 3,4 mV y 4,3 mV, lo cual corresponde, aproximadamente, a un rango de temperaturas entre 60°C y 90°C.

Para la toma de datos para la corriente (mA), se utilizaron 3 termocuplas, un par de caimanos, un par de puntas conectadas a un multímetro y los polos de las termocuplas se conectan en serie y cada una de las termocuplas en diferentes profundidades y diferentes ubicaciones dentro de la muestra de asfalto.

Figura 18

Conexión en paralelo de las termocuplas para una toma de corriente (mA)



Al momento de medir la corriente fue necesario poner el multímetro en un circuito de amperaje directo es decir el tipo DC que es para tomas de corriente con una respuesta directa, ya que las termocuplas son dispositivos diseñados para medir temperaturas y generar una pequeña tensión (en

milivoltios) como respuesta a la diferencia. de temperatura entre sus uniones, no para generar corrientes significativas como una fuente de energía, el cual varía según las diferencias de temperatura en las diferentes profundidades de la muestra, permitiendo una medición precisa de los gradientes térmicos dentro del asfalto

Figura 19

Conexión para toma de corriente en el prototipo



2. Presentación de resultados

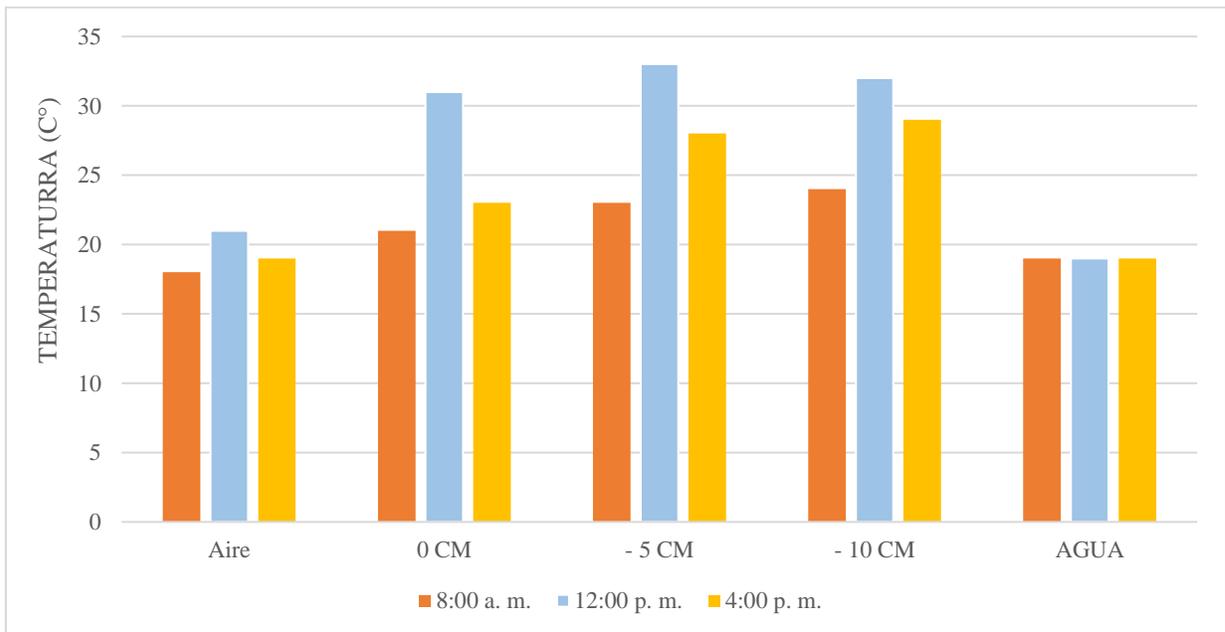
2.1. Recopilación de Datos

2.1.1. Recopilación de datos en Pasto, Nariño.

Durante el 9 de febrero y el 4 de marzo del 2024 se recopilaron los datos sobre la temperatura del aire a una distancia de 1.20 metros sobre el nivel de la carpeta asfáltica, la cual representa la temperatura del aire registrada en tres diferentes horas del transcurso del día (8:00 a.m., 12:00 p.m. y 4:00 p.m.) durante 25 días y se observa que en la mayoría de los días la temperatura alcanzó su mayor valor a las 12:00 p.m. y siendo 23 °C el mayor valor registrado. (ver figura 20).

Figura 20

Grafica de promedio de temperaturas de asfalto, aire y agua Pasto (Nariño)



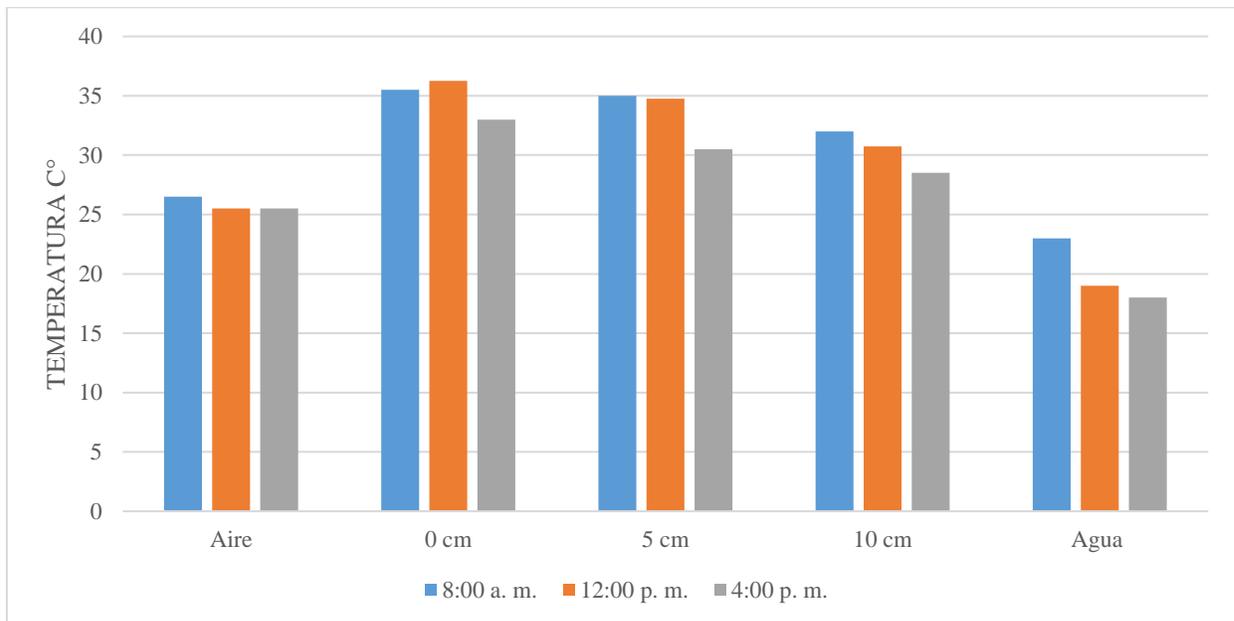
2.1.2. Recopilación de datos del municipio de Chachagüí, Nariño.

Entre los meses de julio y agosto del 2023 se recopilaron los datos sobre la temperatura del aire a una distancia de 1.20 metros sobre el nivel de la carpeta asfáltica, el agua a la cual se le tomo la

temperatura fue obtenida de un grifo el cual estaba cercano a la zona, y la temperatura del asfalto se la tomo a tres diferentes profundidades, el promedio de las diferentes temperaturas obtenidas se registra en la figura 21.

Figura 21

Gráfica de promedio de temperaturas de asfalto, aire y agua Chachagüí (Nariño).



2.1.3. Análisis de las características del asfalto de las vías para determinar su capacidad de transferencia de energía calórica.

Mediante los diferentes métodos de transferencias de calor como lo son: convección, conducción y radiación, se analiza que en la mezcla asfáltica con la tubería de cobre implementada el método de la transferencia de calor generada es mediante conducción y además se observa que el cobre al tener un mayor coeficiente de conductividad térmica genera una mayor transferencia de calor por lo tanto produciendo más watts.

Tabla 1

Transferencia de calor generada en el asfalto

Método de	Área de	T (diferencia	Tramo	Distanci	λ	Q
-----------	---------	---------------	-------	----------	-----------	---

transferencia	contacto	de		a (m)		
ia	m2	temperatura				
		°C)				
Redacción	1	10	Aire - Asfalto	1.2	5.5 5	55.5
Conducción	1	1,6	Asfalto – Parte externa tubería cobre	0,04682	0.7	23.92
Conducción	1	0,4	Parte superior cobre – Parte inferior cobre	0.00635	38 5	97007.87
Conducción	1	1.6	Parte inferior cobre - Asfalto	0,04682	0.7	23.92

Donde:

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W/m*k)

Q = Transferencia de calor (Watts)

2.2 Selección De Materiales Conductores Y Fluidos Para Un Prototipo De Almacenamiento De Energía Térmica.

Después de evaluar varias opciones de conductividad térmica, resistencia y costo, se determinó que el material más adecuado de usar para la tubería era el cobre. Aunque otros materiales como el grafito y el diamante cuentan con mejores propiedades térmicas, sin embargo, no son viables por razones económicas y comerciales. El cobre, por su equilibrio entre conductividad térmica, disponibilidad y costo.

Tabla 2

Tabla de la conductividad eléctrica de los metales

Metales	Conductividad Eléctrica (MS/m)
Plata	63

Cobre	59
Oro	45
Aluminio	37
Wolframio	18
Hierro	15

Fuente: Tomada por "Materiales conductores", s.f. (2024)

Mediante análisis comparativos de líquidos, se seleccionó el agua como fluido de trabajo debido a su alta disponibilidad, baja toxicidad, seguridad y asequibilidad. Aunque el mercurio tiene la conductividad térmica más alta, se ha abandonado debido a los peligros y los costos de eliminación. Además de ser segura y económica, el agua tiene suficiente conductividad térmica para cumplir con los requisitos del sistema.

Se eligió el pavimento sobre el cual se iba trabajar la investigación, en la comparación el asfalto y el concreto como materiales para absorber y almacenar energía térmica, los resultados preliminares muestran que el asfalto es más oscuro y tiene una mayor capacidad para absorber la radiación solar y por tanto tiene una mayor capacidad para retener el calor.

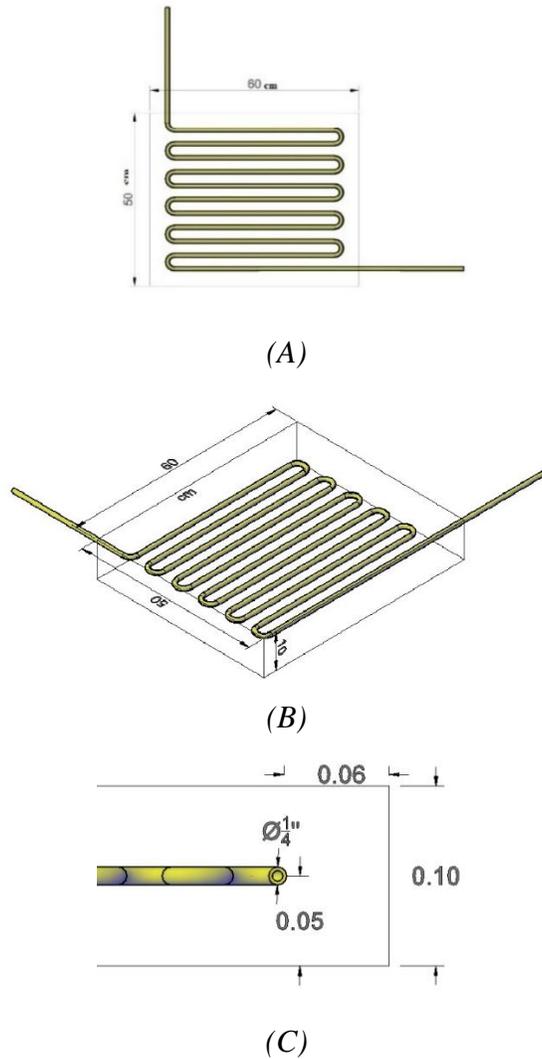
2.2.1 Diseño detallado del prototipo mecánico, seleccionando los materiales y equipos requeridos.

Se realiza el diseño del prototipo en el programa de AutoCAD, en el cual se observa cómo está ubicado dicho prototipo con sus respectivas mediciones, los materiales que se emplearon son tuberías de cobre de 1/4", el cual se instalaron sobre un bloque de asfalto el cual tiene como dimensiones de 60 cm * 50 cm * 10 cm.

Las tuberías de entrada y salida del fluido por el cual se transportará el fluido presentan un largo de un metro, mientras que las tuberías ubicadas entre codo y codo de la infraestructura tienen una dimensión de 86 cm y cada codo que se empleó tiene un radio de 2 cm.

Figura 22

(A) Vista en planta del prototipo mecánico, (B) Vista isométrico del prototipo mecánico y (C) Vista en perfil del prototipo mecánico.



2.2.2 Evaluación de la disponibilidad y costo de los materiales y equipos necesarios y adquisición

Para la adquisición de los materiales seccionados necesarios y previamente estudiados se tuvo un proceso de evaluación en cuanto a disponibilidad y costos. (Ver anexos E, F Y G)

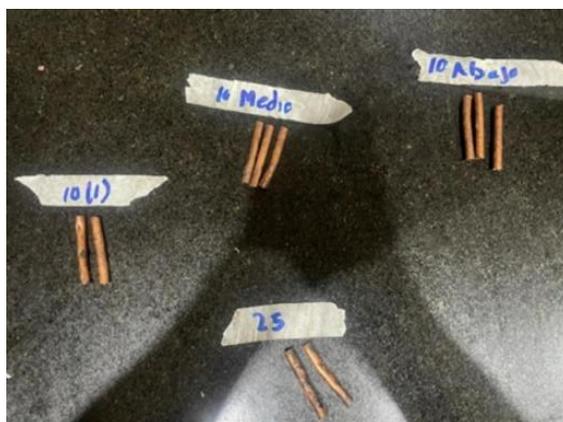
2.2.3 Estudio de compactación

Con la prueba de compactación se comprobó que MDC19 Y MDC25 son compuestos por granulometría más gruesa, lo que evidenció el estado del cobre tras la prueba de compactación y se concluyó que no son viables debido a que él tubo de cobre no resiste la compactación y puede presentar fisuras o deformaciones.

Mediante este método se obtuvo que la granulometría correcta para usar es la del MDC 10, donde este tiene partículas y agregados más pequeños que las otras, siendo un agregado más fino, permitiendo que a la hora de compactar el tubo de cobre no tenga fisuras y no haya fugas.

Figura 23

Resultado de prueba de compactación con diferentes MDC



2.2.4 Construcción del prototipo

Por otro lado, se llevó a cabo la construcción de un prototipo inicial, el cual fue sometido a una serie de pruebas. Estas pruebas tuvieron como objetivo evaluar de manera detallada el aprovechamiento del calor almacenado en el asfalto, permitiendo así determinar su eficacia y potencial en aplicaciones de almacenamiento de energía térmica.

Este proceso fue fundamental para validar el diseño y mejorar las características del prototipo antes de avanzar a las siguientes etapas desarrollo.

2.2.5 Implementación del prototipo

Se realizó una prueba que consistía en correr el agua por la tubería que se encontraba ya compactada y enfrascada en el asfalto y fue satisfactoria puesto que no se observó ninguna anomalía en cuanto a fisuras o daños, por lo tanto, la actividad de construcción resultó exitosa, validando tanto el proceso de compactación como la elección de materiales.

El prototipo final demostró las propiedades físicas y mecánicas esperadas, lo que confirma la viabilidad del diseño y metodología empleados.

Figura 24

Implementación final del prototipo.



2.2.6 Prueba de funcionamiento

Se realizó la prueba, la cual arrojó un resultado satisfactorio. Como se observa se observa en el Anexo P, por medio de un video se evidencia como fluido recorre todo el sistema hasta la salida sin ninguna fuga en su interior.

2.2.7. Mejoras Necesarias para el Prototipo Tras Inspección Exhaustiva

Por inconvenientes climáticos, causados por la época del año en curso, se tuvo la obligación de estimar y simular las condiciones a las que debe estar expuesto el prototipo en un laboratorio. Para

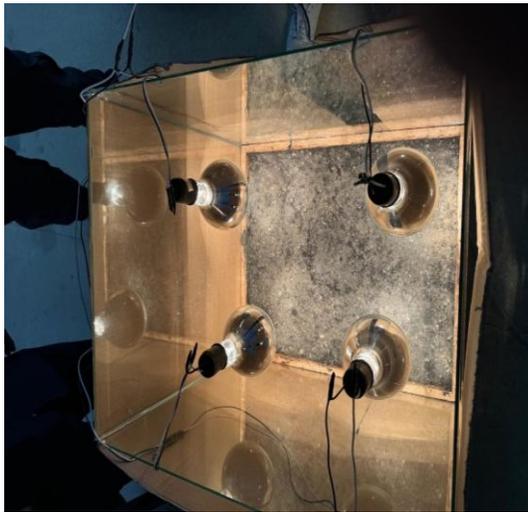
esto, se propone construir una cámara controlada que consta de cuatro vidrios laterales, forrados con una capa de cartón para evitar que el vidrio se fracture debido a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. En ella se instalaron cuatro bombillas, que representan la fuente de calor para el prototipo, así permitirá comprobar su correcto funcionamiento.

2.2.8. Evaluación de la eficiencia del prototipo en condiciones controladas

Se realizaron pruebas en una cámara de clima controlado para evaluar la eficiencia del prototipo en la captura y conversión del calor. La cámara, construida con vidrio, minimizó pérdidas de calor y proporcionó una fuente constante de calor mediante bombillas. Las pruebas a diferentes temperaturas mostraron que estos materiales mejoran la captura de calor y optimizan el rendimiento del sistema.

Figura 25

Prototipo cámara controlada con bombillas



2.2.9. Uso de Termómetros y monitorización de temperatura

Se realizaron mediciones de temperatura del agua en dos puntos clave: en la entrada, justo antes de que el agua ingresara a la tubería, y en la salida, después de haber sido calentada. Además, se registró la temperatura del asfalto para analizar su impacto en el proceso de calentamiento del agua.

Este procedimiento tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del sistema en la transferencia de calor.

Figura 26

Variación de temperaturas en nuevo prototipo (asfalto entrada de agua y salida del agua)



2.2.10. Revisar los datos y observaciones para identificar cualquier problema o área de mejora en el prototipo.

Al analizar los resultados obtenidos anteriormente, se observa que el mayor diferencial obtenido entre todos los datos registrados es de 13 °C y el promedio de diferencias de temperatura entre los datos obtenidos es de 11°C, por lo tanto se analiza teniendo en cuenta estudios anteriores en los cuales se observaba que el calor acumulado en la carpeta asfáltica se encontraba en la mitad de la profundidad de esta capa, por lo tanto se determinó que la tubería de cobre en este punto iba a

aumentar la temperatura del agua o fluido que circulara por este, y con los resultados obtenidos se comprobó que el prototipo no presenta fallas al momento de realizar la transferencia de calor ya que se encuentra ubicado en el punto de la carpeta asfáltica en el cual se concentra mayor concentración de calor.

Tabla 3

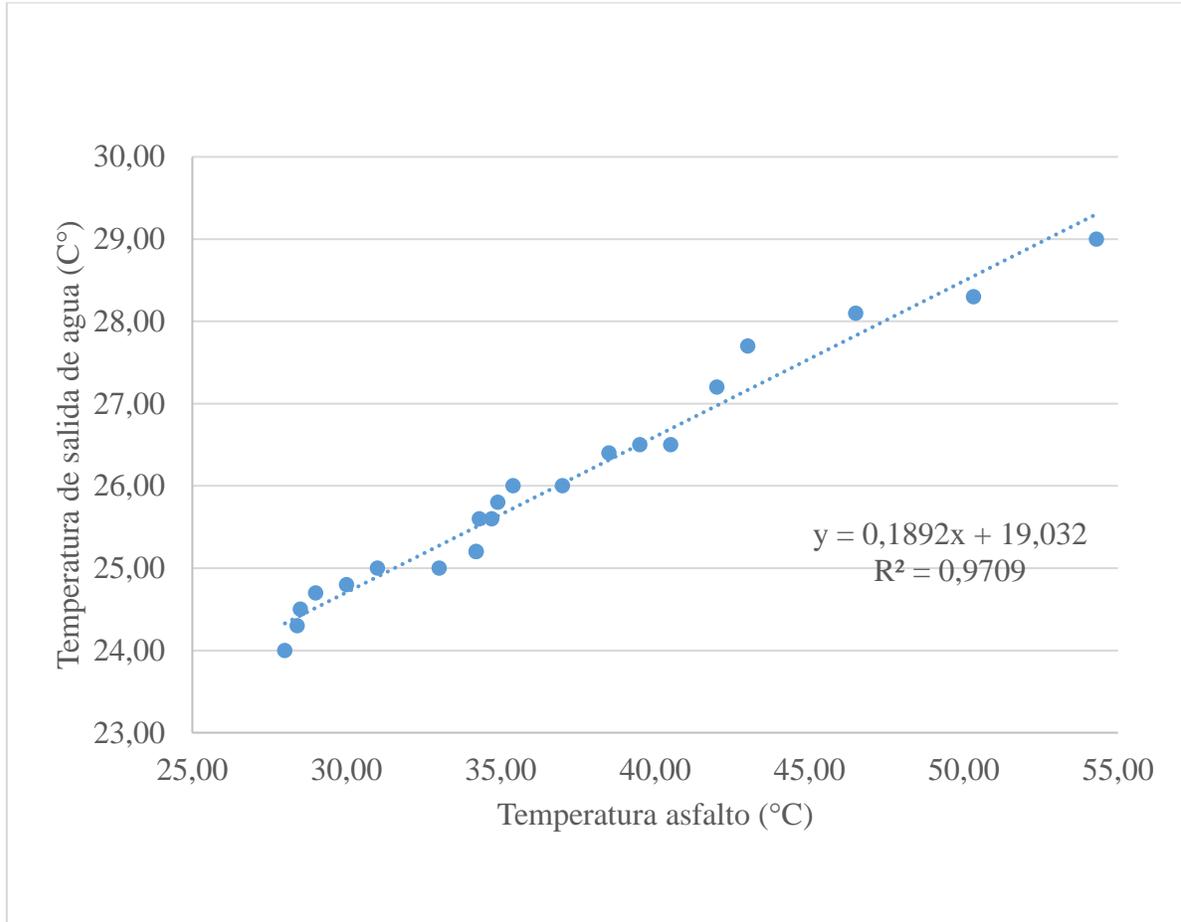
Registro de temperaturas prototipo controlado

Registro de temperaturas prototipo con bombillas				
Dato	Minuto	Temperatura de asfalto	Temperatura de entrada de agua	Temperatura de salida de agua
1	32	54.30	16.00	29.00
2	24	50.32	16.00	28.30
3	35	46.50	16.00	28.10
4	36	43.00	16.00	27.70
5	37	42.00	16.00	27.20
6	39	40.50	16.00	26.50
7	40	39.50	16.00	26.50
8	41	38.50	16.00	26.40
9	43	37.00	16.00	26.00
10	44	35.40	16.00	26.00
11	46	34.90	16.00	25.80
12	47	34.70	16.00	25.60
13	48	34.30	16.00	25.60
14	49	34.20	16.00	25.20
15	50	34.20	16.00	25.20
16	52	33.00	16.00	25.00
17	53	31.00	16.00	25.00
18	54	30.00	16.00	24.80
19	56	29.00	16.00	24.70
20	57	28.50	16.00	24.50

21	59	28.40	16.00	24.30
22	60	28.00	16.00	24.00

Figura 27

Comparación temperatura asfalto con temperatura de salida agua



En la ciudad de Pasto, en el departamento de Nariño, la temperatura promedio del asfalto es de 35°C. Esta información resultó crucial para evaluar la viabilidad del uso del sistema de transferencia de calor en esta región.

Para determinar si este sistema es viable, se utilizó la ecuación presentada en la (figura 27) para calcular la temperatura de salida del agua al pasar por la tubería. Este cálculo permitirá identificar si el calor del asfalto es suficiente para calentar el agua a niveles adecuados para su uso previsto.

Se analizó los resultados obtenidos de la ecuación, se concluye si la implementación de este sistema en Pasto es factible o si se requieren ajustes adicionales para mejorar su eficiencia. Esta evaluación fue esencial para tomar decisiones informadas sobre la utilización de tecnologías de transferencia de calor en la ciudad.

$$y = 0.1892(35) + 19.032$$

$$y = 25.65^{\circ}\text{C}$$

Una temperatura de 25.65°C es tibia, lo que significa que es lo suficientemente cálida para facilitar la limpieza de platos y utensilios, eliminando eficazmente los restos de alimentos y grasa. Aunque no es una temperatura que elimine patógenos directamente, ayuda a reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos al evitar la acumulación de residuos orgánicos que podrían favorecer el crecimiento de bacterias.

2.2.11. Estudio teórico de aprovechamiento de temperatura en uso doméstico.

Se realizó un estudio para un aprovechamiento cotidiano de la temperatura obtenida. (Ver anexo K).

2.2.12. Proyección de instalación del prototipo y aprovechamiento doméstico.

A través del plano arquitectónico de una vivienda convencional, se puede identificar el lugar más adecuado para la instalación del prototipo. Este debe ubicarse de manera que pueda recibir calor del sol, estar expuesto a las condiciones climáticas adecuadas, y quedar cercano a la fuente de agua de la vivienda. Mediante la transferencia de calor que el prototipo proporciona, se conseguirá un aumento de temperatura considerable y utilizable para el lavaplatos.

Esta será una conexión distinta a la convencional, de modo que dicha actividad doméstica no dependa únicamente del prototipo como fuente, pero que su función sea aprovechada por los habitantes de la vivienda, quienes podrán beneficiarse de sus ventajas.

2.2.13. Toma de datos de Voltaje (V) y corriente (A)

Para encender un bombillo (LED) es necesario saber cómo funciona el voltaje y la corriente correspondiente a la energía generada, si se enciende un tipo led rojo necesita alcanzar un voltaje mínimo, al igual que la corriente ya que esta generará la potencia necesaria de cada bombillo, estos son los valores mínimos marcados de corriente y voltaje para cada LED; las variables de voltaje y corriente dependen de la temperatura interna del asfalto (ver Tabla 4).

Tabla 4

Voltaje y Corriente mínima de un LED según su tipo.

Tipo de LED	V	mA
Rojo estándar	1.2	15
Verde estándar	1.6	15
Amarillo estándar	1.6	15
Blanco	3.7	20
Rojo alta luminosidad	1.2	20
Azul	3.7	20

Fuente: Tomado de “Como conectar un led” por Inventable.eu, 2020.

En las figuras 28 y 29 se puede observar el registro de voltaje y corriente en función de la temperatura del asfalto, medidos en un circuito en serie. A medida que la temperatura disminuye, se observa una tendencia a la baja tanto en la corriente (mA) como en el voltaje (mV). Por ejemplo, a una temperatura de 62°C, la corriente es de 0.214 mA y el voltaje es de 3.9 mV, mientras que a 28.9°C, la corriente disminuye a 0.159 mA y el voltaje a 2.01 mV. Estos datos permiten analizar cómo la variación de la temperatura afecta el comportamiento eléctrico del asfalto.

En las gráficas presentadas muestran la relación de la temperatura (C°) con la corriente y la tensión en un circuito en serie. La primera gráfica (Figura 28) ilustra cómo la temperatura varía en función de la corriente, medida en miliamperios (mA). La segunda gráfica (Figura 29) muestra la variación de la temperatura en función de la tensión, medida en milivoltios (mV). Ambas gráficas

proporcionan datos relevantes para analizar el comportamiento térmico de los componentes del circuito a diferentes niveles de corriente y tensión.

Figura 28

Grafica de temperatura (C°) vs la corriente (mA) en un circuito en serie

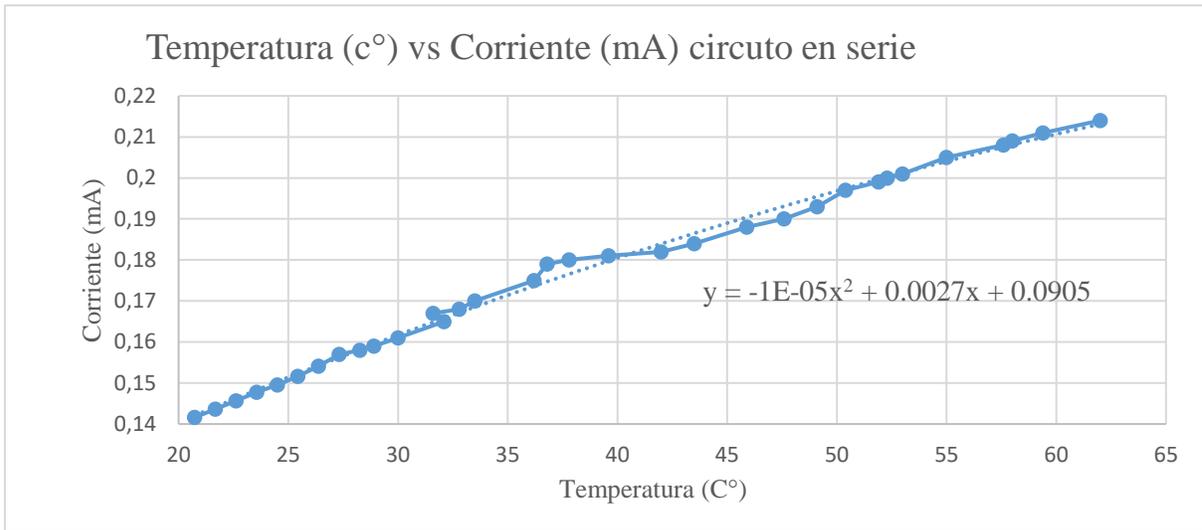
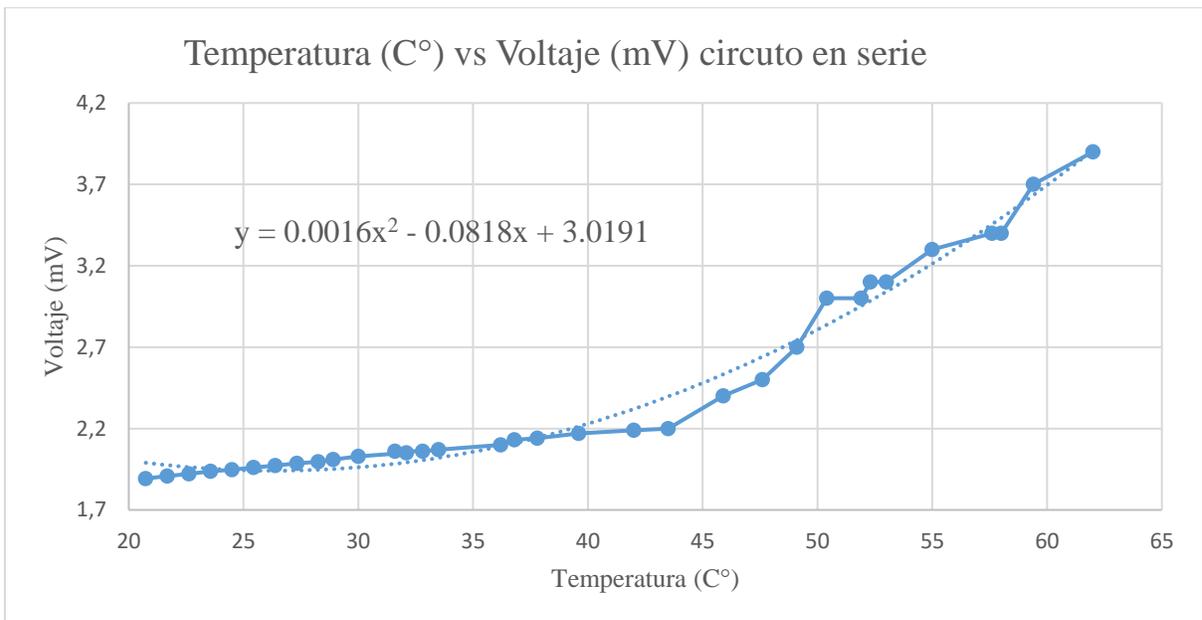


Figura 29

Grafica de temperatura (C°) vs tensión (mV) en un circuito en serie.



Al estudiar estas relaciones, se pueden establecer patrones y tendencias que facilitan la predicción del rendimiento del prototipo bajo diversas temperaturas. La figura 29 muestra el registro de corriente en función de la temperatura en un circuito en paralelo, con mediciones específicas tomadas en diferentes temperaturas del asfalto.

Las gráficas presentadas (Figuras 30 y 31) muestran la relación entre la temperatura y las variables eléctricas en un circuito en paralelo. La Figura 29 ilustra cómo la temperatura (C°) afecta la corriente, medida en miliamperios (mA), mientras que la Figura 30 muestra la variación de la temperatura respecto al voltaje, medida en milivoltios (mV). Ambas gráficas permiten visualizar cómo, a medida que la temperatura disminuye, también lo hacen la corriente y el voltaje, siguiendo un patrón que sugiere una relación directa entre el comportamiento térmico y las variables eléctricas del circuito.

Figura 30

Grafica de temperatura (C°) vs la corriente (mA) en un circuito en paralelo

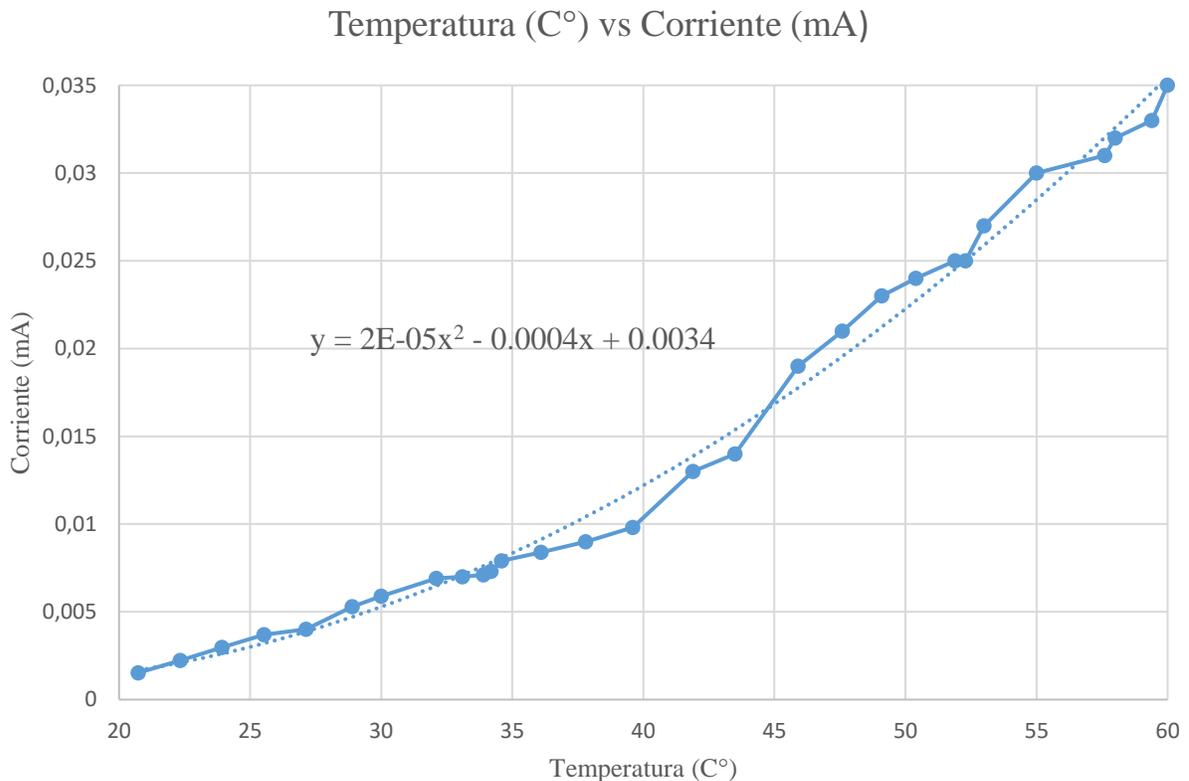
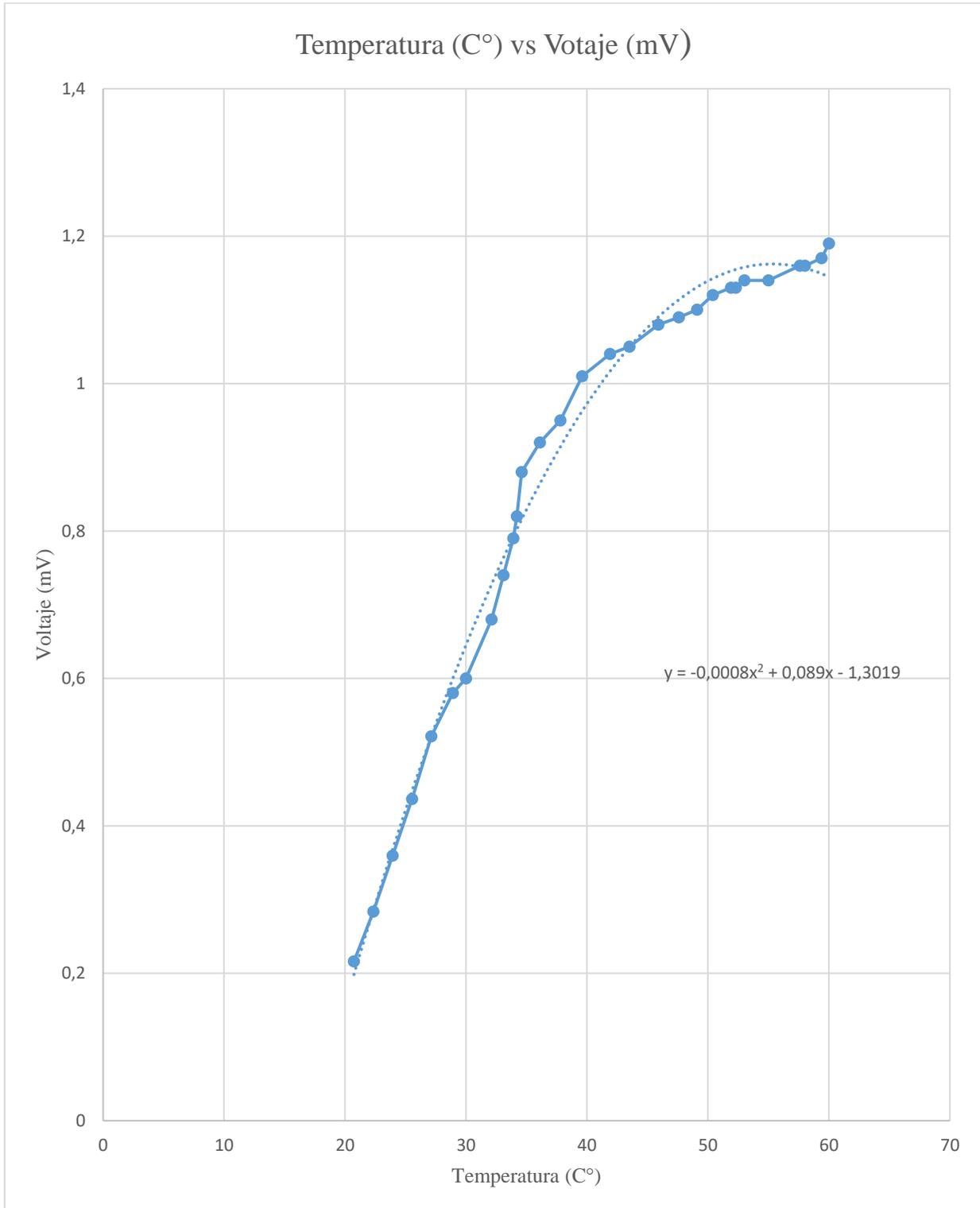


Figura 31.

Grafica de temperatura (C°) vs tensión (mV) en un circuito en paralelo



Explicación grafica temperatura (C°) vs corriente (I): Para poder transformar la energía térmica almacenada en el asfalto en corriente, varios factores se involucran:

Coefficiente de Seebeck(s): determina la cantidad de corriente generado por una diferencia de temperatura. Por otra parte, el coeficiente de Seebeck, también conocido como potencia termoeléctrica, es una medida de la magnitud de corriente termoeléctrica inducida en respuesta a una diferencia de temperatura a través de un material (Academia Lab. (n.d.). Coeficiente de Seebeck.)

Resistencia eléctrica R(T): Resistencia que varía con la temperatura, lo cual **NO varia de forma lineal**, esta resistencia de dicho material (termocupla), cambia de manera compleja con la temperatura, influyendo cómo se comportan los átomos dentro del material a diferentes temperaturas.

Para circuitos en serie esta resistencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = R1 + R2 + R3 \dots$$

La resistencia total es la suma de todas sus resistencias

Para circuitos en paralelo esta resistencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \dots$$

La resistencia total proporciona caminos alternativos, por lo cual, la resistencia total disminuye y se calcula dividiendo entre los caminos disponibles.

Diferencia de temperatura (ΔT): temperatura mayor menos temperatura menor.

Estos elementos son características principales del efecto Seebeck (principio básico efecto Seebeck), que describe como se genera corriente a partir de una diferencia de temperatura fundamental en a la termoelectricidad y explica como los materiales generan corriente cuando hay

una diferencia de temperatura (Thomas Seebeck, 1821; principio básico del efecto Seebeck) y se expresa mediante esta fórmula:

$$I(\text{serie}) = \frac{s * \Delta T}{R(T)}$$
$$I(\text{paralelo}) = \frac{s * \Delta T}{R_{\text{total}}(T)}$$

Donde se puede explicar porque la corriente de la gráfica en serie **NO es una ecuación lineal**, puesto que, principalmente este valor de corriente (eje y) depende de la temperatura (eje x) de manera cuadrática. Esto se puede revelar, porque a medida que la temperatura aumenta, varios factores como la resistencia y el coeficiente Seebeck cambian, de manera no combinándose y variando el corriente creando una relación más compleja que una ecuación lineal (**polinómica**).

La NO linealidad entre de la relación entre resistencia y temperatura afecta el rendimiento de resistencias de precisión y presenta métodos para calcular y evaluar esta no linealidad (Vishay. (n.d.). Nonlinear temperature coefficient.).

2.2.14. Explicación grafica temperatura (C°) vs corriente (I)

Para poder transformar la energía térmica almacenada en el asfalto en voltaje, varios factores se involucran:

Coefficiente de Seebeck(s): determina la cantidad de voltaje generado por una diferencia de temperatura, este coeficiente **NO es lineal**, porque su valor depende de la estructura de material (termocupla) y como los electrones interactúan con la temperatura a medida que la temperatura cambia, estas interacciones también cambian. Los coeficientes Seebeck NO son lineales en función de la temperatura absoluta, material y estructura molecular de los conductores.

Diferencia de temperatura (ΔT): variación de temperatura entre dos puntos del material.

Estos elementos son características principales del efecto Seebeck (principio básico efecto Seebeck), que describe como se genera voltaje a partir de una diferencia de temperatura fundamental en a la termoelectricidad. El efecto Seebeck describe la generación de voltaje en una

material conductor o semiconductor debido a una diferencia de temperatura entre dos puntos (Rowe, D.M. (1995) Principles and Applications of Thermoelectrics) y se expresa mediante esta fórmula:

$$V = S * \Delta T$$

Donde se puede explicar porque el voltaje NO es lineal, puesto que, depende de un coeficiente Seebeck que depende del material (resistencia del material).

Por otro lado, se puede demostrar que las dos graficas son de forma polinómica, puesto que, voltaje y corriente son directamente proporcionales, por lo cual las dos cambian de igual forma sabiendo que:

$$I = \frac{V}{R(T)}$$
$$V = I * R(T)$$
$$I = \frac{s * \Delta T}{R(T)}$$
$$V = I * R(T)$$
$$V = \frac{S * \Delta T}{R(T)} * R(T)$$
$$V = S * \Delta T$$

Donde:

Corriente (I)

Voltaje (V)

Resistencia que depende de temperatura R(T)

Coefficiente de Seebeck (s)

Variación de temperatura (ΔT)

En las gráficas presentadas, es posible asignar valores específicos a la temperatura, lo que permite analizar y comprender cómo varían el voltaje y la corriente en función de dicha temperatura. Al estudiar estas relaciones, se pueden establecer patrones y tendencias que facilitan la predicción del rendimiento del prototipo bajo diversas temperaturas. Obtenidos los resultados de medición de serie y paralelo, se obtiene un valor promedio de los datos obtenidos por medio de la

transformación de diferencia de temperatura de 3 termocuplas. Se trabaja con los datos promedios obtenidos para comprender el comportamiento y realizar estimaciones de manera general.

Tabla 5

Promedio de registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en serie

	TEMPERATURA ASFALTO °C	CORRIENTE	VOLTAJE
Promedios (Ma) y(mV)	44.458	0.187	2.613
Promedios (A) Y (V)	43.696	0.000186	0.00256

Tabla 6

Promedio de registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en paralelo.

	TEMPERATURA ASFALTO °C	CORRIENTE	VOLTAJE
Promedios (Ma) y(mV)	44.413	0.0177	0.986
Promedio (A) Y (V)	43.735	1.689E-05	0.000977

Para comprender el tamaño de los datos obtenidos se comparan con los valores específicos necesarios para encender un bombillo led según su tipo. Los valores mínimos necesarios de corriente y voltaje para encender correctamente un LED según su color y luminosidad son (ver Tabla 4).

Para una temperatura promedio de 38° (Temperatura promedio registrada en Pasto) número de termocuplas que se necesitan para encender un led rojo estándar si el circuito está en paralelo.

Tabla 7

Resultado de numero de termocuplas requerida, para la temperatura promedio asfáltica de la ciudad de Pasto (38°) con circuito en serie

¿A una temperatura promedio de 38° (Temperatura promedio registrada en Pasto) cuantas termocuplas se necesitan para encender un led rojo si el circuito está en serie?

Numero de termocuplas	Corriente generada por las 3 termocuplas (mA)	Voltaje generado por las 3 termocuplas (mV)	Numero Determocuplas Para 15 Miliamperios (corriente necesaria para encender un led rojo)	Termocuplas Para 1,2 Voltios (voltaje necesario para encender un led rojo)
3	0,178	2,136	252,653	1685,525

Tabla 8

Resultado de numero de termocuplas requerida, para la temperatura promedio asfáltica de la ciudad de Pasto (38°) con circuito en paralelo

¿A una temperatura promedio de 38° (Temperatura promedio registrada en Pasto) cuantas termocuplas se necesitan para encender un led rojo si el circuito está en paralelo?

Numero de termocuplas	Corriente generada por las 3 termocuplas (mA)	Voltaje generado por las 3 termocuplas (mV)	Numero Determocuplas Para 15 Miliamperios (corriente necesaria para encender un led rojo)	Termocuplas Para 1,2 Voltios (voltaje necesario para encender un led rojo)
3	0,00915	0,960	4916,867	3747,850

Se necesitaría un circuito serie de la misma manera con un total de 252 termocuplas para recolectar el amperaje necesario para la iluminación de un bombillo led rojo estándar. En cuanto al voltaje se necesitan aproximadamente 1685 termocuplas. Estos números son muy elevados cuando se pretende estimar la producción de energía eléctrica para una vivienda habitual, y los costos serían muy altos.

Para la generación de energía eléctrica aprovechable, el prototipo no genera picos de energía suficientes; sin embargo, la energía eléctrica generada es constante. A través del mismo circuito, se podría contemplar una manera de almacenamiento de energía, lo cual permitiría al prototipo generar energía aprovechable.

3. Conclusiones

Por medio de la realización del prototipo, se ha demostrado que la diferencia de temperatura obtenida puede ser utilizada de manera funcional en el entorno doméstico, especialmente en actividades cotidianas como el lavado de platos. Una temperatura de 25.43°C, considerada tibia y obtenida como promedio en la ciudad de Pasto (Nariño), no solo facilita la limpieza eficiente de utensilios al disolver restos de comida y grasa sin causar incomodidad, sino que también ofrece beneficios adicionales para la salud.

Al ser lo suficientemente cálida para promover una limpieza efectiva, pero sin llegar a temperaturas extremas, ayuda a prevenir enfermedades transmitidas por alimentos al reducir el riesgo de crecimiento bacteriano en los utensilios. Además, esta temperatura resulta ser una opción cómoda y ergonómica para quienes sufren de enfermedades articulares como la artritis, al aliviar la rigidez y reducir la tensión en las articulaciones, mejorando así la comodidad del usuario durante el proceso de lavado. En resumen, el prototipo ofrece una solución eficiente, saludable y accesible para las viviendas.

El estudio teórico y experimental sobre el aprovechamiento de la energía calórica del asfalto permitió determinar que las mezclas asfálticas tienen una gran capacidad de absorber y almacenar el calor en lugares con condiciones de alta radiación solar como San Juan de Pasto y Chachagüí, además se observa que este material mediante los procesos de transferencia de calor como lo es la conducción y radiación puede retener y transferir la energía térmica con facilidad, para poder obtener este análisis se incluyeron la evaluación de factores ambientales los cuales influyen en la eficiencia de este material para poder captar el calor, destacando la temperatura del ambiente de donde se realizaron la toma de datos y su propia conductividad térmica del asfalto.

Los resultados de este estudio destacan que el asfalto alcanza temperaturas que lo convierte en un material óptimo para la captación de energía térmica, lo cual lo puede ser aprovechado para usos simples en el hogar, como por ejemplo el calentamiento de agua en días con alta radiación solar.

La selección de materiales para la construcción del prototipo fue un proceso meticuloso que resultó en el uso de cobre para las tuberías, elegido por su excepcional conductividad térmica, resistencia a la corrosión y durabilidad, lo que permite maximizar la eficiencia en la transferencia de calor. El cobre no solo es un excelente conductor, sino que también facilita la manipulación y la instalación, asegurando la integridad del sistema a largo plazo. Por otro lado, se optó por el agua como fluido de transferencia debido a su alta capacidad calorífica, disponibilidad y bajo costo, lo que garantiza un funcionamiento seguro, ecológico y rentable.

El diseño del prototipo integró un serpentín de cobre incrustado en una estructura compactada de asfalto, optimizando el contacto térmico entre el fluido y el pavimento para mejorar la captación y transferencia de energía calórica. El asfalto se escogió una mezcla de granulometría conocida como MDC 10 la cual tiene agregados más pequeños que evitan daños al momento de compactar y dañar el serpentín de cobre. Durante las pruebas en un entorno controlado, el sistema demostró un desempeño satisfactorio, evidenciado por la ausencia de fugas y un flujo continuo y estable del fluido, lo que validó tanto la elección de materiales como el proceso de compactación asfáltica.

La estructura del prototipo, al incluir capas de asfalto bien compactadas alrededor del serpentín, contribuyó a un mayor aprovechamiento de la energía térmica captada del entorno, confirmando la eficiencia del diseño propuesto. Los resultados positivos en estas pruebas controladas indican que el prototipo tiene un potencial significativo para aplicaciones prácticas en la transferencia de energía calórica, aunque se recomienda realizar pruebas adicionales en condiciones de campo para evaluar su desempeño bajo variaciones climáticas reales y su capacidad para adaptarse a entornos domésticos, lo que permitiría comprobar su viabilidad a gran escala y su contribución al ahorro energético en sistemas de calefacción doméstica.

Así, se concluye que la implementación del cobre y el agua en este sistema innovador representa un avance en el aprovechamiento de fuentes de energía alternativas, destacando la importancia de continuar con estudios que optimicen su rendimiento y adapten su uso en aplicaciones residenciales, lo cual podría tener un impacto positivo tanto en la eficiencia energética como en la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

El prototipo desarrollado demostró un rendimiento aceptable durante las pruebas de laboratorio, especialmente en un entorno controlado donde se utilizó una cámara climatizada que simulaba un ambiente de calor constante. Estas pruebas revelaron que el sistema es capaz de capturar y transferir eficientemente el calor almacenado en el asfalto al fluido que circula por el serpentín, logrando un aumento significativo en la temperatura del fluido de salida, lo cual valida la capacidad del prototipo para convertir el calor residual del pavimento en energía utilizable.

Los resultados obtenidos en condiciones controladas son prometedores, ya que evidencian el potencial del prototipo para aprovechar el calor residual de los pavimentos asfálticos como una fuente alternativa de energía térmica, que podría ser aplicada en sistemas de calefacción de agua para viviendas, contribuyendo así al uso de fuentes renovables y la eficiencia energética.

4. Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo estudios de campo para evaluar el desempeño del prototipo bajo condiciones climáticas y ambientales reales, esto permitirá determinar su efectividad en escenarios domésticos reales y adaptar el diseño a variaciones climáticas, garantizando su funcionalidad y durabilidad en aplicaciones residenciales.

Deberían diseñar y probar mezclas asfálticas con mayor capacidad de almacenamiento térmico, mediante la incorporación de aditivos como polímeros, nanoarcillas o materiales con alta conductividad térmica, para mejorar la captación y transferencia de energía calórica.

Así como el evaluar la viabilidad de instalar prototipos similares en vías urbanas de alto tráfico, aprovechando el calor generado por la radiación solar y la fricción de los vehículos para alimentar sistemas de iluminación vial o señalización.

Al fin deberían Implementar un sistema de almacenamiento térmico para conservar el calor captado por el prototipo y garantizar su disponibilidad durante horarios de baja radiación solar, maximizando su eficiencia en aplicaciones domésticas.

Referencias Bibliográficas

- Anjolras, P. P. (2022). *Power Road; usa el calor del asfalto de las calles para la calefacción de viviendas*. Madrid: ECO INVENTOS. Obtenido de <https://ecoinventos.com/power-road-usar-el-calor-del-asfalto-de-las-calles-para-caleentar-viviendas/>
- Camos, J. (12 de Abril de 2012). *Pavener, una forma útil de aprovechar el calor del asfalto*. Obtenido de Motorpasion: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/pavener-una-forma-util-de-aprovechar-el-calor-del-asfalto>
- Chaves Saldaña, A. S., & Sanabria Velasquez, G. (2022). *PAVIMENTOS FLEXIBLES COMO FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE*. BOGOTÁ D.C: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Chavez Saldaña, A. S., & Sanabria V., G. (2022). Pavimentos flexibles como fuentes de energía renovable.
- Cuitiño, M., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura, vol.22 no.1*.
- Equipos y Laboratorio. (2023). *Evaluación de proveedores y obtención de ofertas*. Obtenido de <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-efecto-termoelectrico>
- Grande, A. (2016). *Estado del arte de sistemas de almacenamiento de energía térmica mediante cambio de fase, a media y alta temperatura*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Hernandez, S. (2022). *Conexiones Del Banco De Baterias: Recomendaciones generales*. Obtenido de cceea: <https://www.cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/conexiones-del-banco-de-baterias-recomendaciones-generales>.

Pablo, P. M. (Diciembre de 2012). *Estudio del Comportamiento Termico de Pavimentos de Mezcla Bituminosa y Analisis de un Colector Solar Asphaltico Multicapa*. Universidad de Cantabria, Santander, España.

PROMIGAS. (2023). *Informe del sector natural Colombia*. Obtenido de InfoGAS PROMIGAS: <https://www.promigas.com/Paginas/Eventos/ESP/Documentos/Fact%20Sheet%20InfoGas%202023.pdf>

Rodríguez, Garnica, Rodríguez G., & Rodríguez U. (2015). Energía renovable a partir de un pavimento flexible" de la revista *Asfaltos y Pavimentos*.

Rodriguez G., C. D., & Garnica Q., V. (2015). *Estado del arte: Pavimentos como fuente de energia*. BOGOTÁ D.C.: Universidad Piloto De Colombia.

Rodriguez, D., Garnica, V., Rodriguez Garcia, C., & Rodriguez Urrego, L. (Julio de 2015). *Energía Renovable a partir de un pavimento flexible*. (Icontec, Ed.) Obtenido de *Asfaltos y pavimentos*. Edición 31.: https://www.researchgate.net/publication/303565420_Energia_Renovable_a_partir_de_un_pavimento_flexible_Asfaltos_y_pavimentos_Edicion_31

TECNALIA. (07 de febrero de 2011). TECNALIA DESARROLLA UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO INTEGRADO EN PAVIMENTOS.

Universidad Nacional de Colombia. (2019). Aprovechamiento de la energía térmica residual del pavimento asfáltico para calefacción doméstica [Tesis doctoral]. *Repositorio Institucional UN4*.

Universidad Nacional Tecnológica de Argentina. (2017). Análisis del potencial energético del pavimento asfáltico como fuente renovable de energía [Artículo científico]. *Revista Tecnología e Innovación*.

Universidad Nacional Tecnológica de Argentina;. (2017). Análisis del potencial energético del pavimento asfáltico como fuente renovable de energía.

Universidad Politécnica de Madrid. (2018). Diseño y construcción de un prototipo para la extracción de energía térmica del asfalto [Trabajo fin de grado]. *Archivo Digital UPM5*.

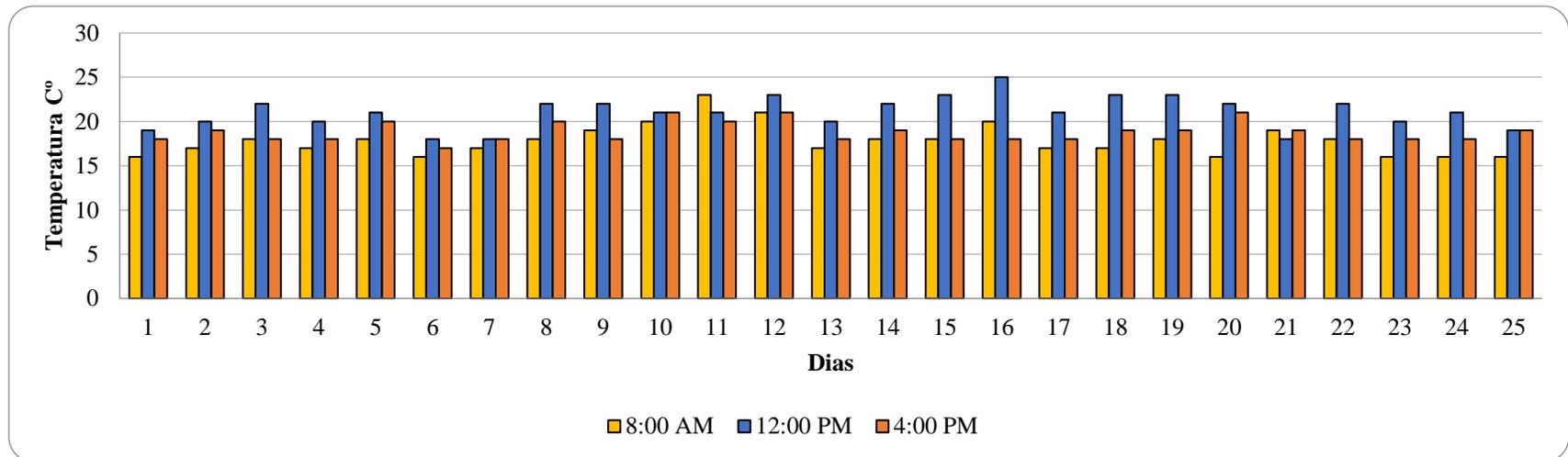
Univision, N. (14 de Agosto de 2008). *Calor del asfalto como fuente de energía*. Obtenido de Univision Communications Inc.: <https://www.univision.com/amp/explora/calor-del-asfalto-como-fuente-de-energia>

Anexos

Anexo A. Recolección de muestras Pasto (Nariño)

Anexo A1

Grafica de la temperatura del aire Pasto (Nariño).



Se realiza el promedio del valor de las temperaturas obtenidas para analizar a qué hora del día la temperatura del aire es mayor, obteniendo que a las 12:00 pm se presenta un promedio de temperatura más alto, como se observa en el anexo A2.

Anexo A2.

Promedio de temperaturas del aire Pasto (Nariño).

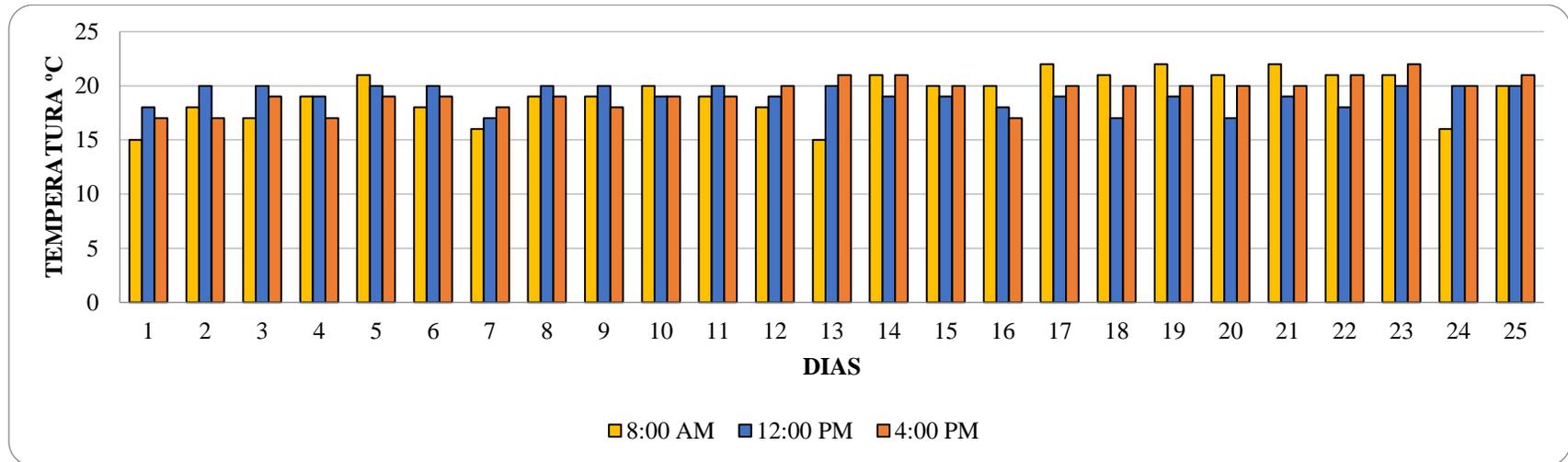
Hora	Temperatura °C
8:00 a. m.	18

12:00 p. m.	21
4:00 p. m.	19

Con respecto a los datos obtenidos sobre la temperatura del agua en la zona, se observa en la Anexo A3. que el valor de la temperatura del agua puede variar significativamente dependiendo la hora y el día, y da como resultado que el promedio de estas temperaturas tiene el mismo valor, como se refleja en el anexo A4.

Anexo A3.

Grafica de temperatura del agua.



Anexo A4.

Promedio de temperaturas del agua Pasto (Nariño).

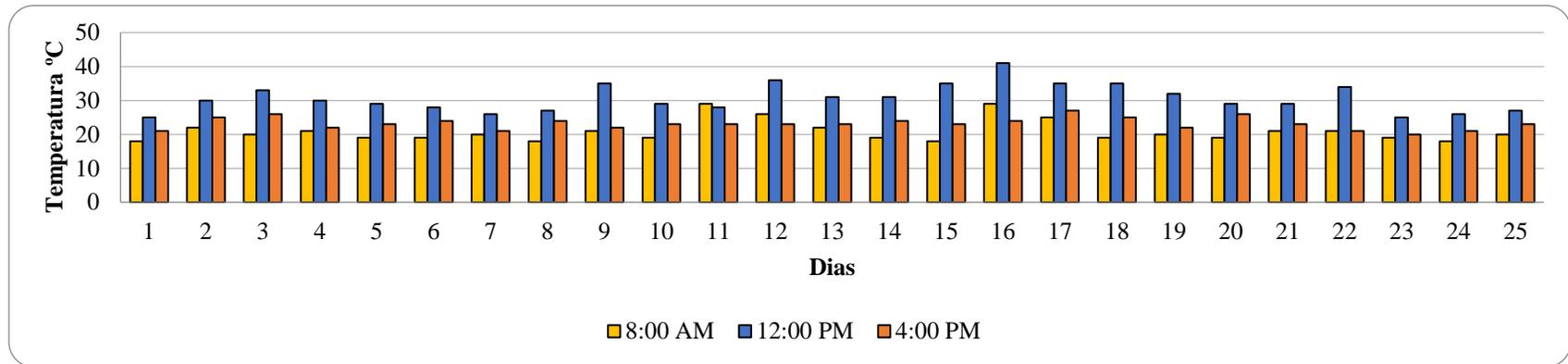
Hora	Temperatura °C
8:00 a. m.	19

12:00 p. m.	19
4:00 p. m.	19

Los datos obtenidos de la temperatura de la carpeta asfáltica a una altura de 0 centímetros sobre el nivel del asfalto se representaron en el anexo A5. Se observa que en la mayoría de los días la temperatura del asfalto alcanza su mayor nivel a las 12:00 pm destacando que el día 16 de la toma de datos se registró la temperatura más alta alcanzado los 41 °C y además el promedio realizado entre las diferentes horas analizadas demuestran el mismo resultado, lo cual se puede observar en el anexo A6.

Anexo A5.

Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 0 centímetros Pasto (Nariño).



Anexo A6.

Promedio de temperaturas de la carpeta asfáltica con profundidad de 0 cm Pasto (Nariño).

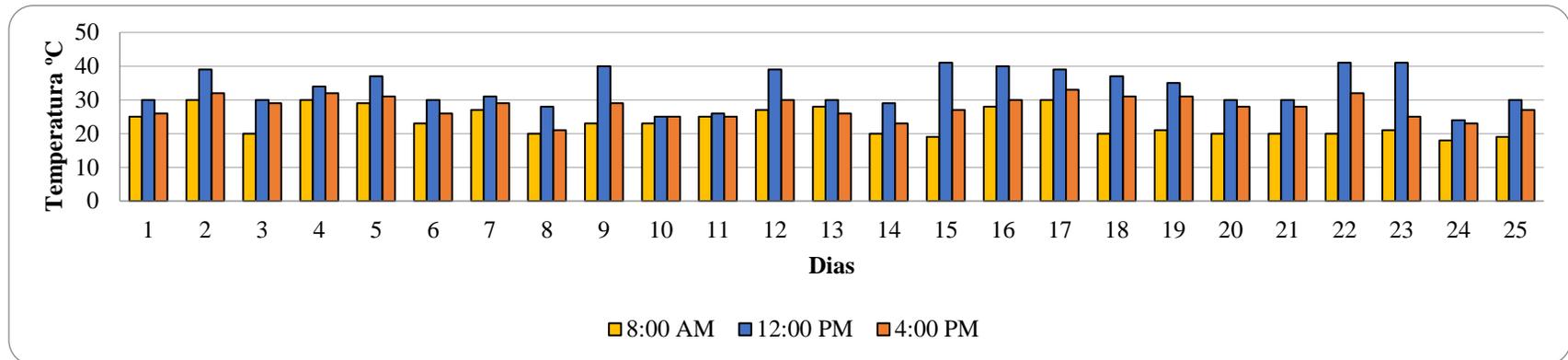
HORAS	Temperatura °C
8:00 a. m.	21

12:00 p. m.	31
4:00 p. m.	23

Para el análisis de la temperatura de la carpeta asfáltica a una profundidad de 5 centímetros, se observa que, en varios días estudiados, la temperatura máxima se presenta a las 12:00 pm y oscilan los 40 °C, esto lo podemos observar en el Anexo A7, el promedio de la temperatura para cada respectivo horario se encuentra en el Anexo A8, y se analiza que el valor del promedio de la temperatura más alta es de 33 °C la cual se presenta a las 12:00 pm.

Anexo A7.

Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 5 centímetros Pasto (Nariño).



Anexo A8.

Promedio de temperaturas de la carpeta asfáltica con profundidad de 5 cm Pasto (Nariño).

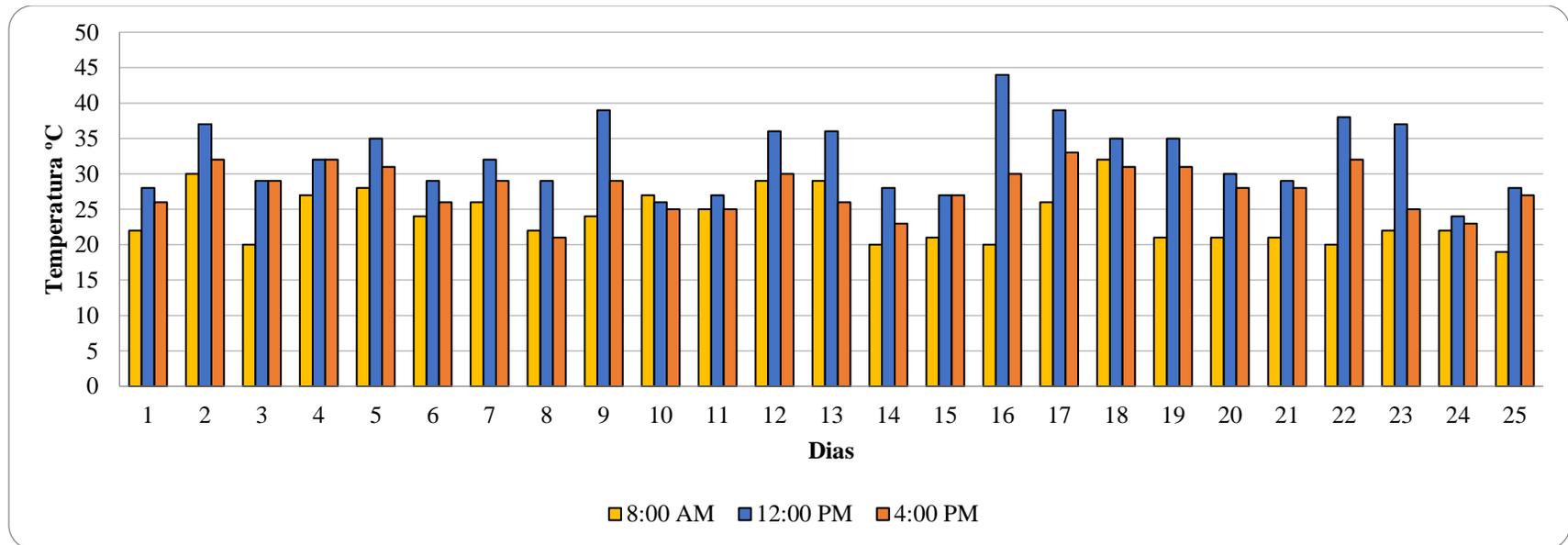
HORAS	Temperatura °C
8:00 a. m.	23

12:00 p. m.	33
4:00 p. m.	28

La última profundidad estudiada de la carpeta asfáltica es la de 10 centímetros, esta se encuentra en contacto directo con la base granular que conforma a la carretera, los datos registrados que se observan en el anexo A9. Indican que punto más alto que alcanzo la temperatura fue el día 16 con un valor de 44 °C a las 12:00 pm, y el valor de la temperatura promedio más alto fue de 32 °C alcanzado a las 12:00 pm, como se observa en el anexo A10.

Anexo A9.

Grafica de temperatura de la asfáltica con profundidad de 10 centímetros Pasto (Nariño).



Anexo A10.

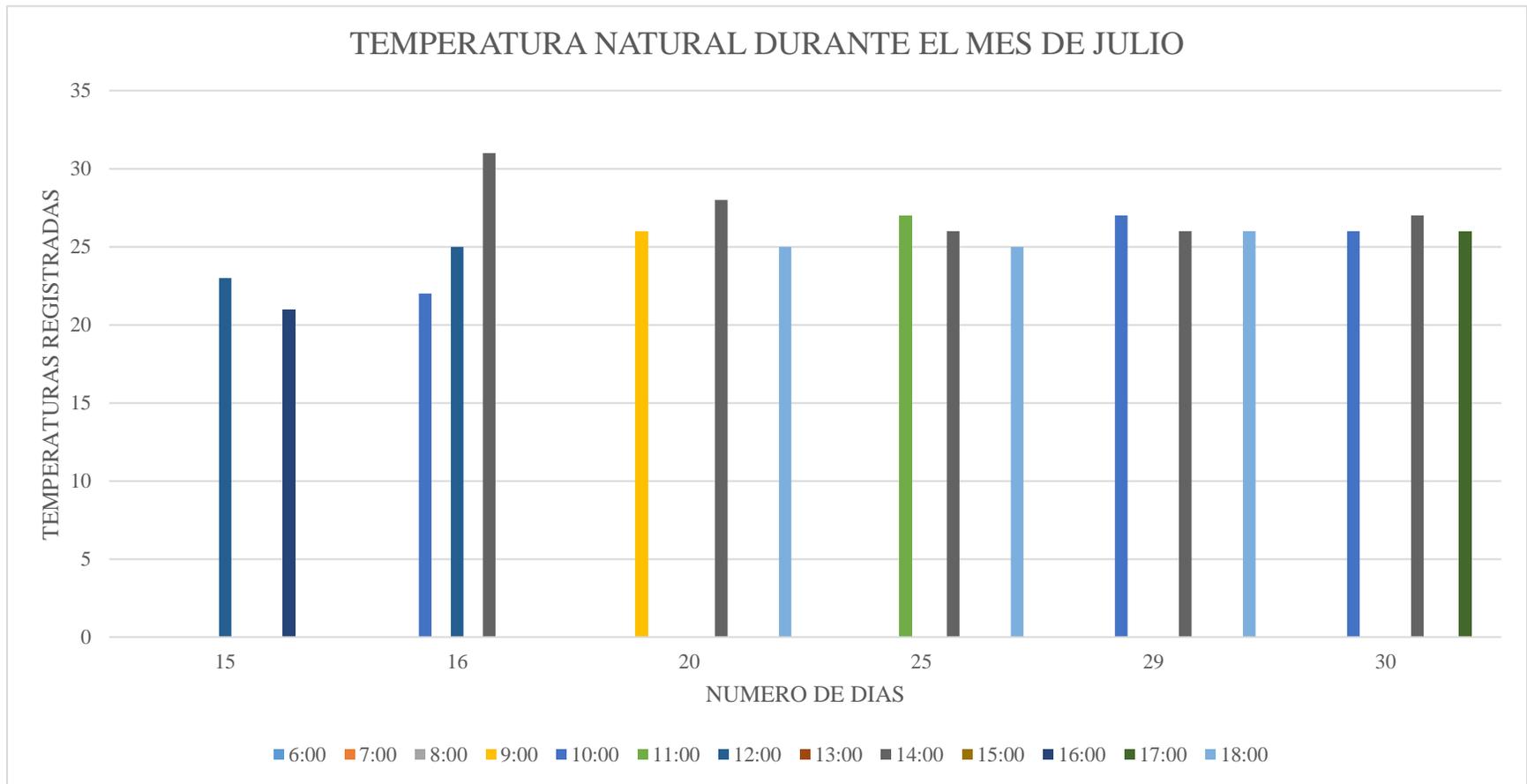
Promedio de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 10 cm Pasto (Nariño).

HORAS	Temperatura °C
8:00 a. m.	24
12:00 p. m.	32
4:00 p. m.	29

Anexo B. Recolección de muestras de temperaturas Chachagüi (Nariño)

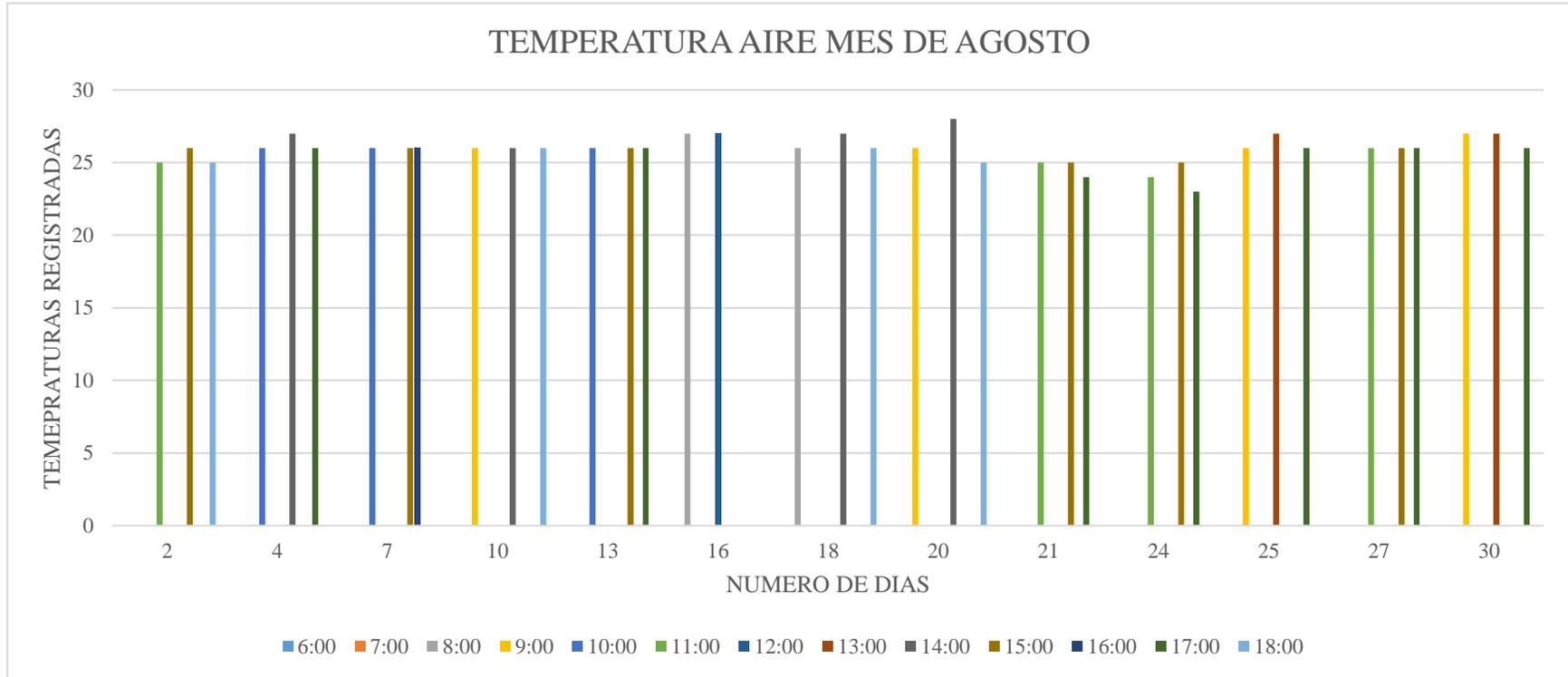
Anexo B1.

Grafica de temperatura del aire durante el mes de julio.



Anexo B2.

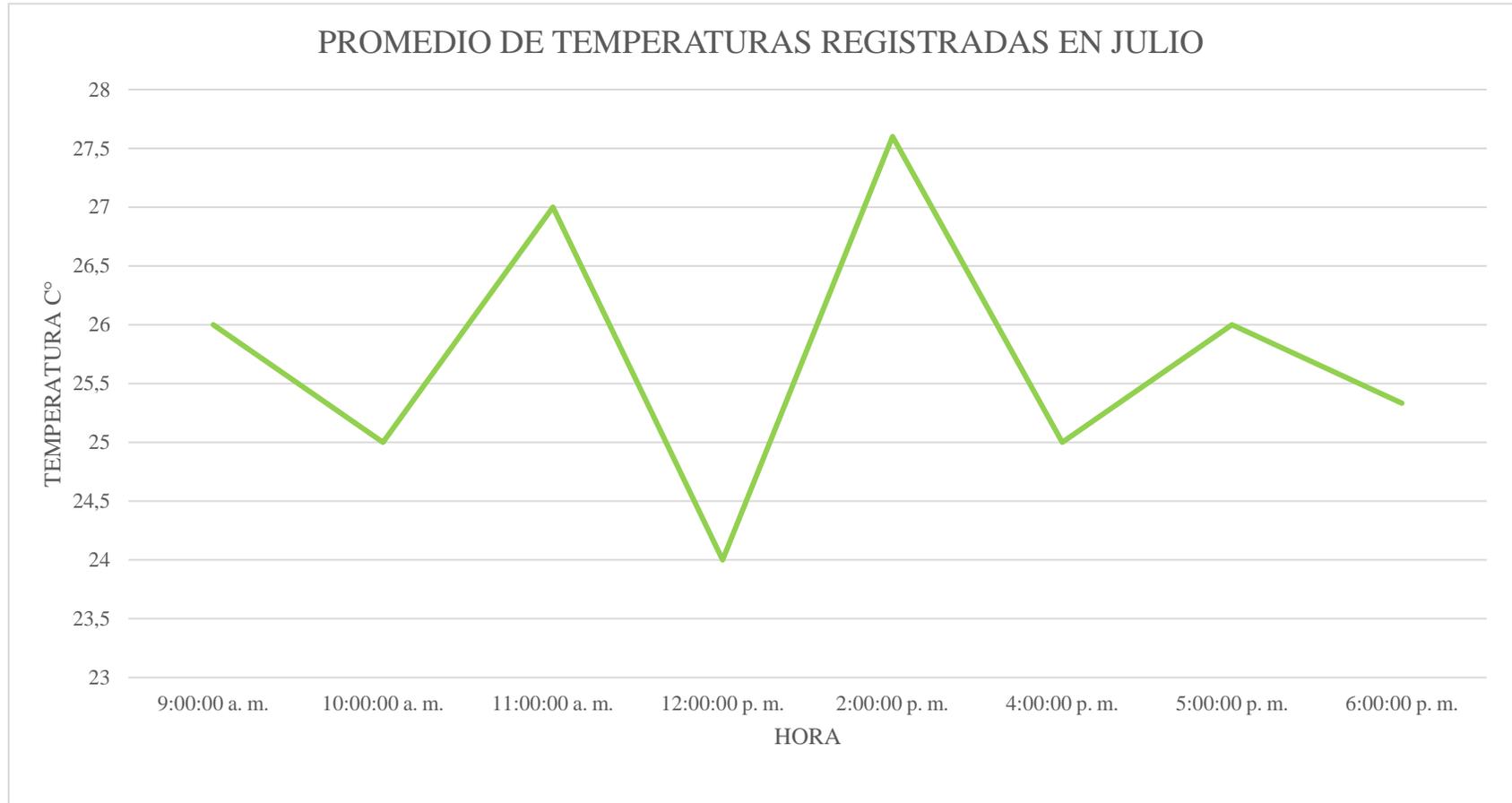
Grafica de temperatura del aire durante el mes de agosto.



Los Anexos B3 y B4 representan las temperaturas tomadas a diferentes horarios en la ciudad de Chachagüí (Nariño), donde se puede observar la temperatura más alta obtenida, al igual que la más baja; en este caso, para el mes de julio la temperatura más alta fue el día 16, en horas de las 2 de la tarde con una temperatura de 31° y la más baja el día 15 en horas de las 4 de la tarde con una temperatura de 21°. Por otro lado, para el mes de agosto, la mayor temperatura registrada fue el día 20 en horas de las 2 de la tarde, con una temperatura de 26° y la más baja el día 24 en horas de las 5 de la tarde con una temperatura de 23°.

Anexo B3.

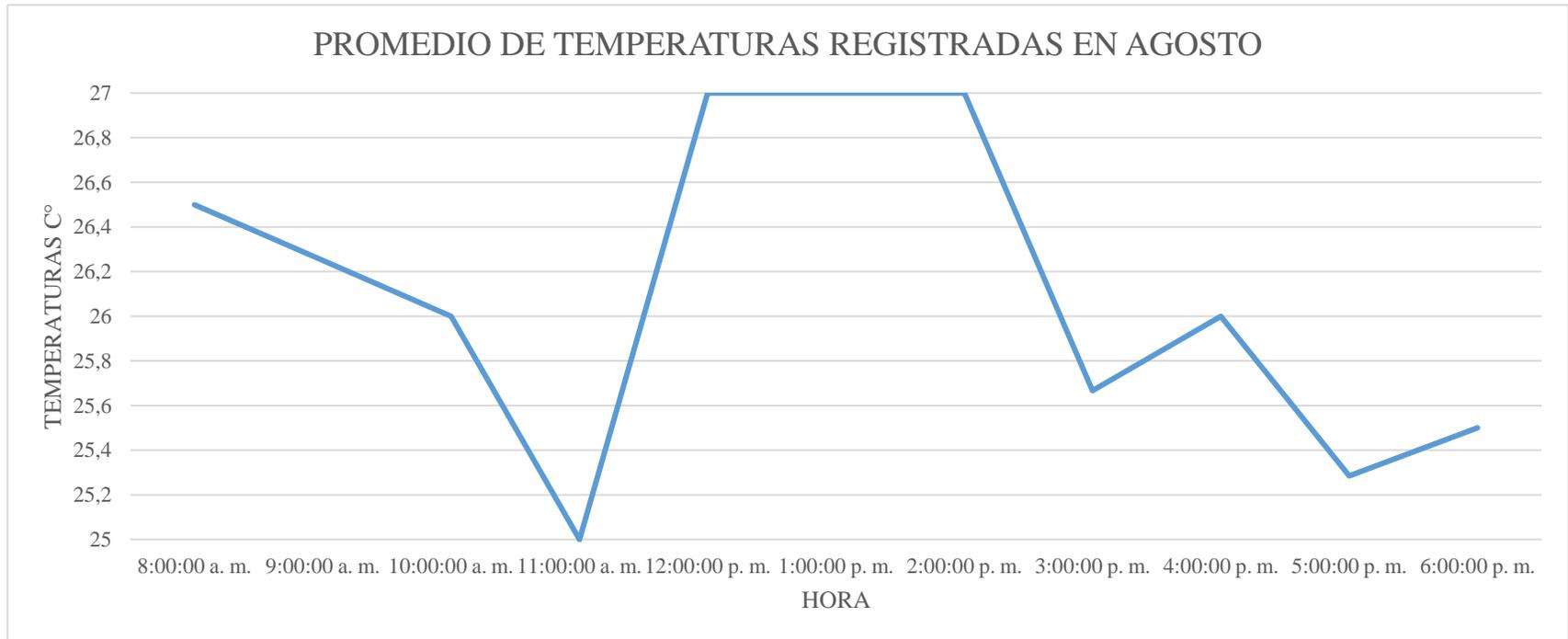
Grafica promedio de temperaturas del aire registradas en julio.



En el Anexo B4. Se observa el promedio de las temperaturas registradas en diferentes horas durante el mes de julio, de esto se logra analizar que entre las 11:00 am y las 2:00 pm se registraron las temperaturas más altas en dicho mes.

Anexo B4.

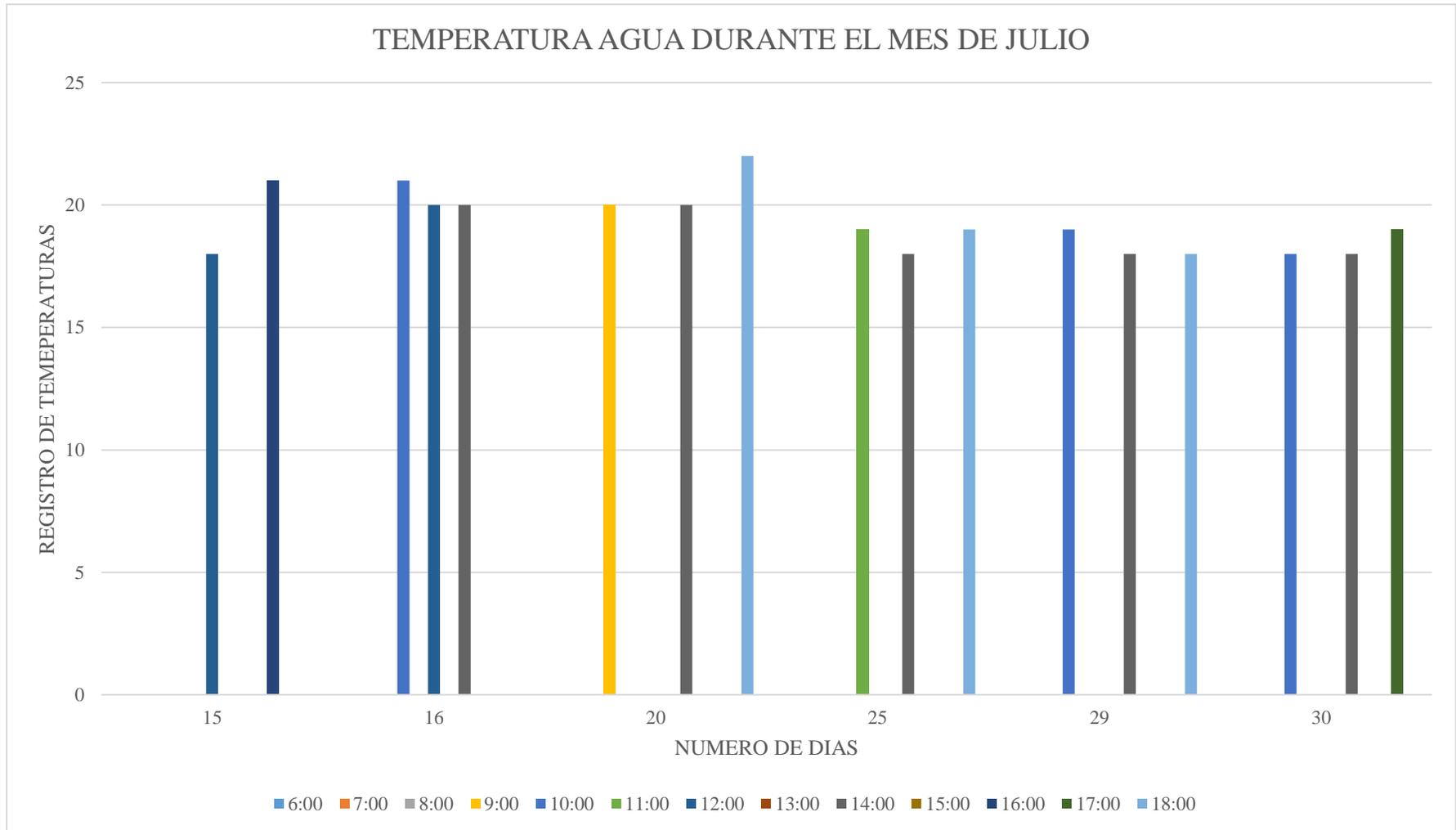
Grafica promedio de temperaturas del aire registradas en agosto.



En el Anexo B5. Se observa el promedio de las temperaturas registradas en diferentes horas durante el mes de agosto, de esto se logra analizar que entre las 11:00 am y las 2:00 pm se registraron las temperaturas más altas en dicho mes.

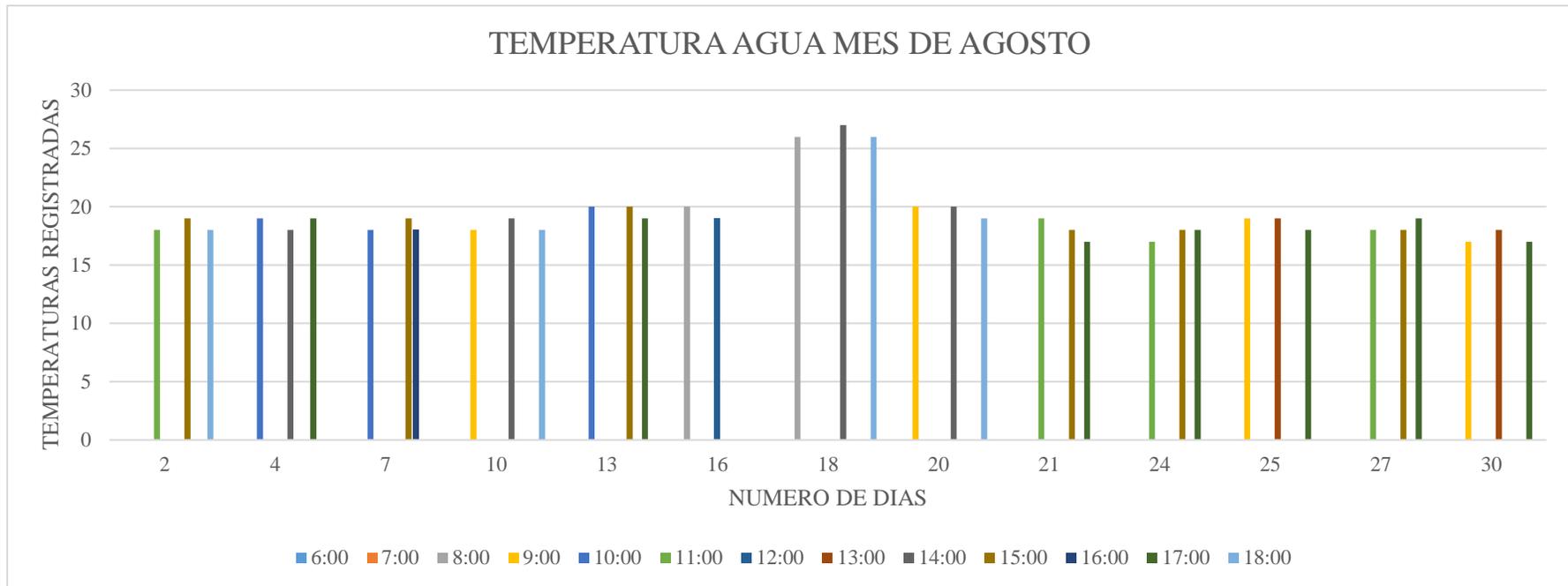
Anexo B5.

Grafica de temperatura del agua durante mes de julio.



Anexo B6.

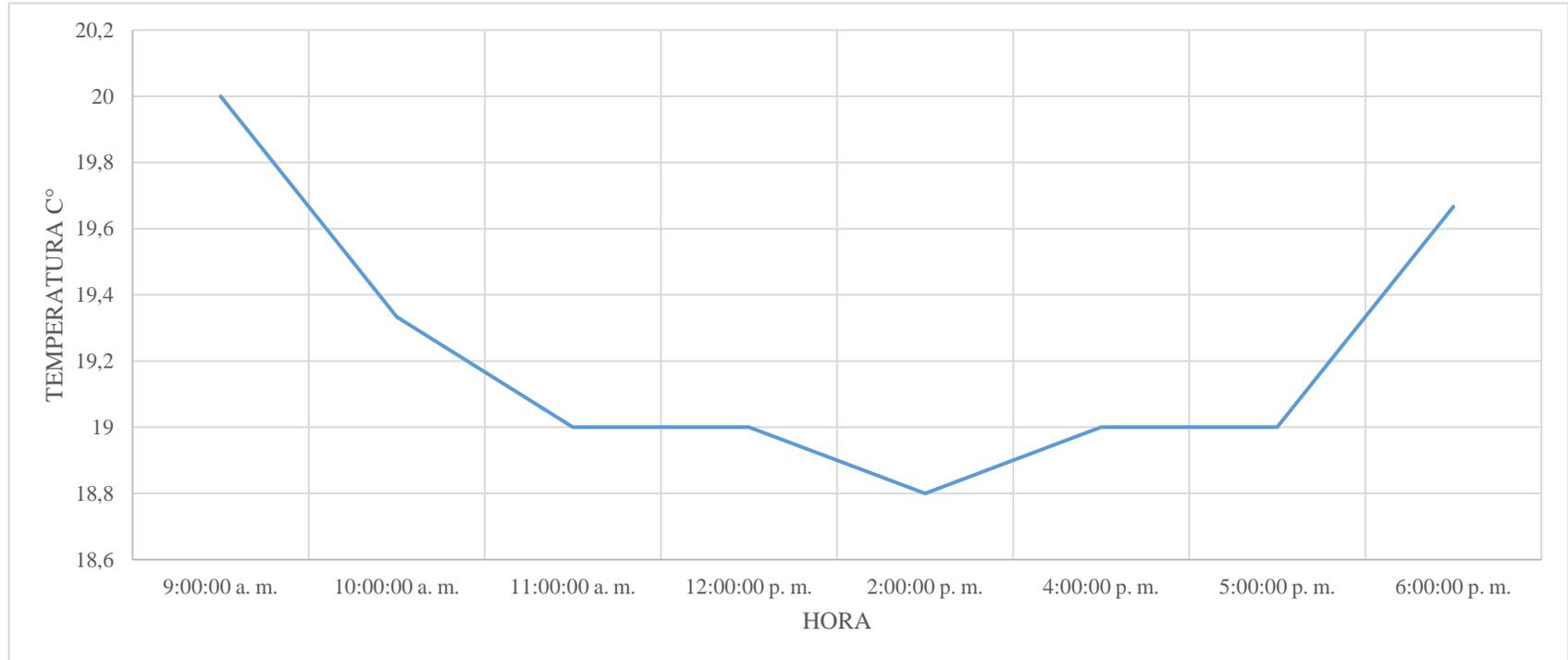
Grafica de temperatura del agua durante mes de agosto.



Para la recopilación de datos de la temperatura del agua durante el mes de agosto, se los represento en el anexo B7 y B8 respectivamente, en estas se observa que la temperatura más alta alcanzada el mes de julio, del agua del grifo es el día 20 a las 6 de la tarde, con una temperatura de 21°, mientras que la temperatura del agua más baja para este mes fue el día 15 a las 4 horas de la tarde, con una temperatura de 17 °C. Por otro lado, para el mes de agosto, la temperatura más alta registrada se obtuvo el día 18 a las 2 horas de la tarde siendo de 27 °C, mientras que, la temperatura del agua más baja para este mes fue el día 30 a las 5 horas de la tarde con una temperatura de 17 °C.

Anexo B7.

Grafica de promedio de temperaturas del agua registradas en julio Chachagiüi (Nariño).



Anexo B8.

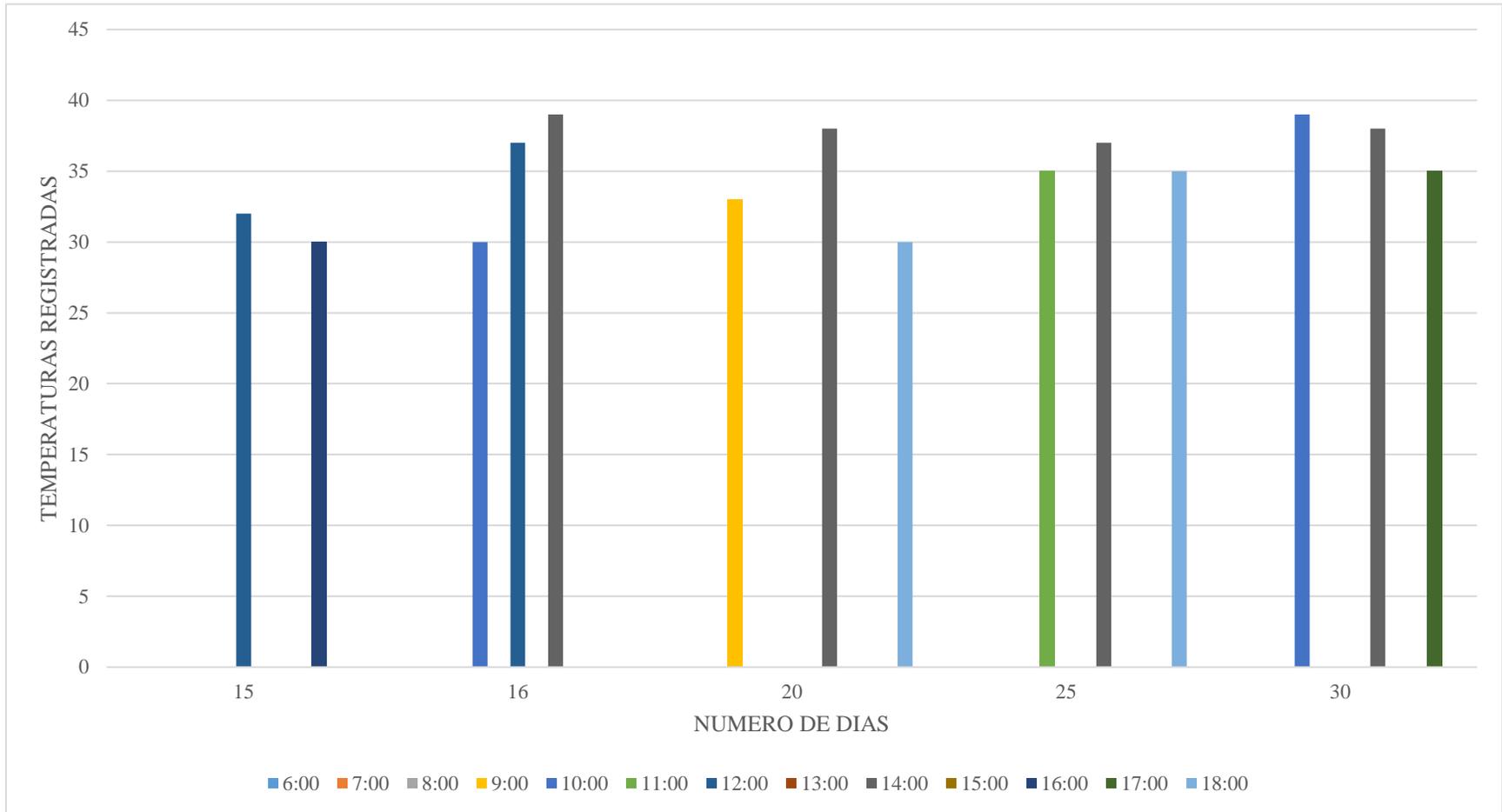
Grafica de promedio de temperaturas del agua registradas en agosto Chachagüí (Nariño).



La temperatura alcanza para la carpeta asfáltica con una profundidad de 0 centímetros está en el rango de 30 °C y 40 °C, como se encuentra graficado en los anexos B9 y B10.

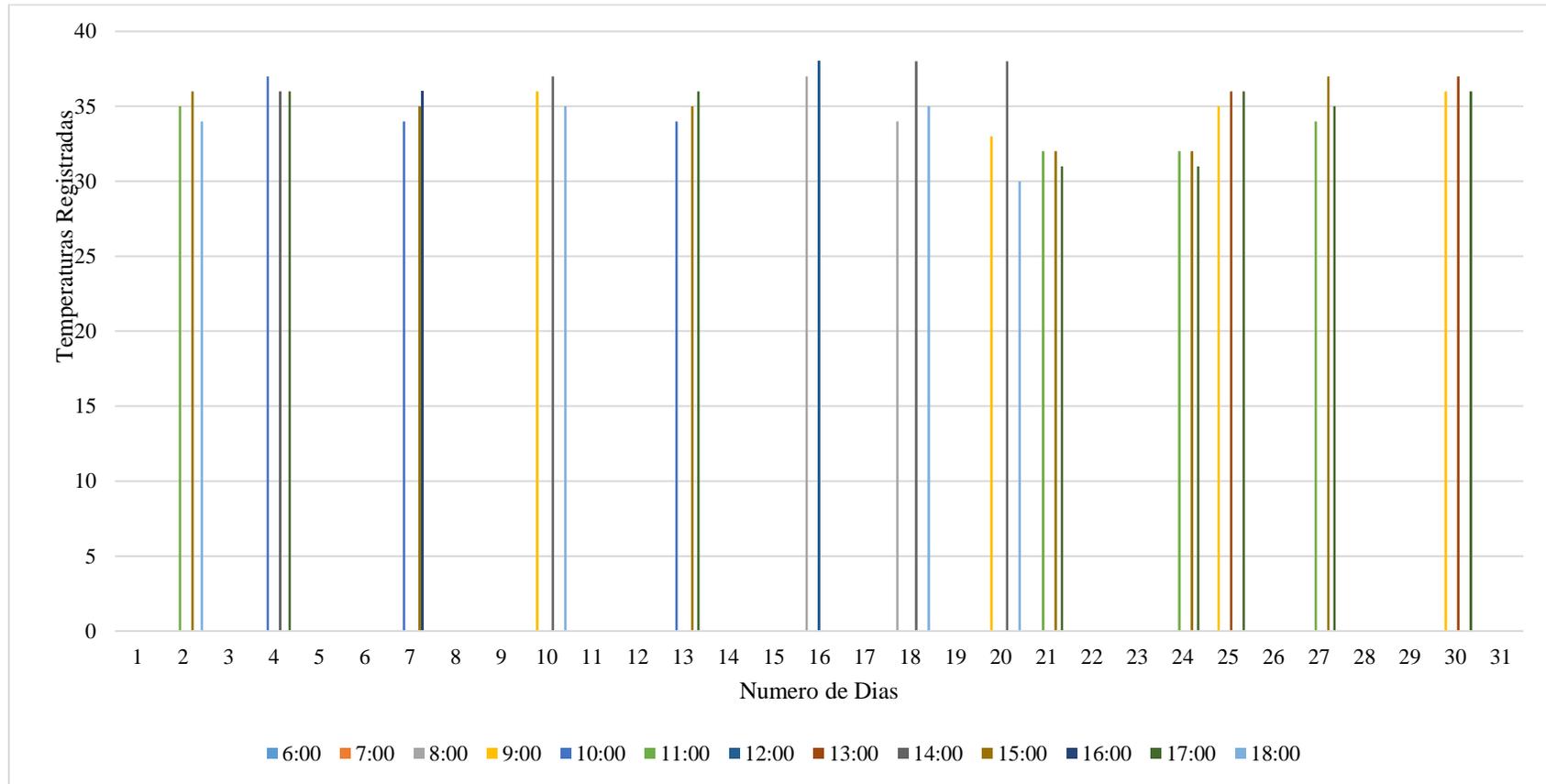
Anexo B9.

Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 0 cm durante el mes de julio Chachagüí (Nariño).



Anexo 10.

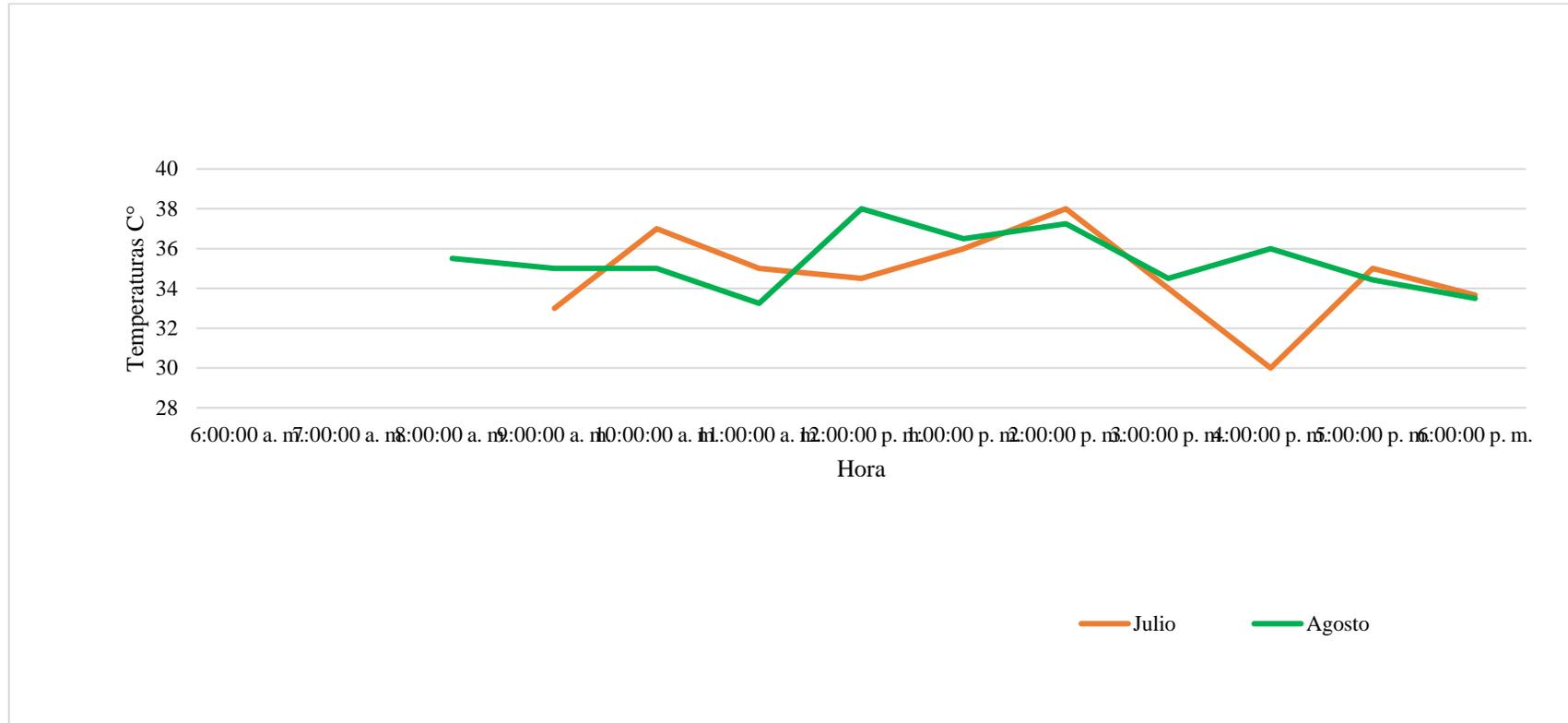
Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 0 cm durante el mes de agosto Chachagüí (Nariño).



Según el promedio de temperaturas según la hora analizada se obtiene que el promedio de la temperatura máxima alcanzada es de 38 °C a las 2:00 pm para el mes de julio mientras que en agosto este punto máximo ocurrió a las 12:00 pm con 38 °C.

Anexo B11.

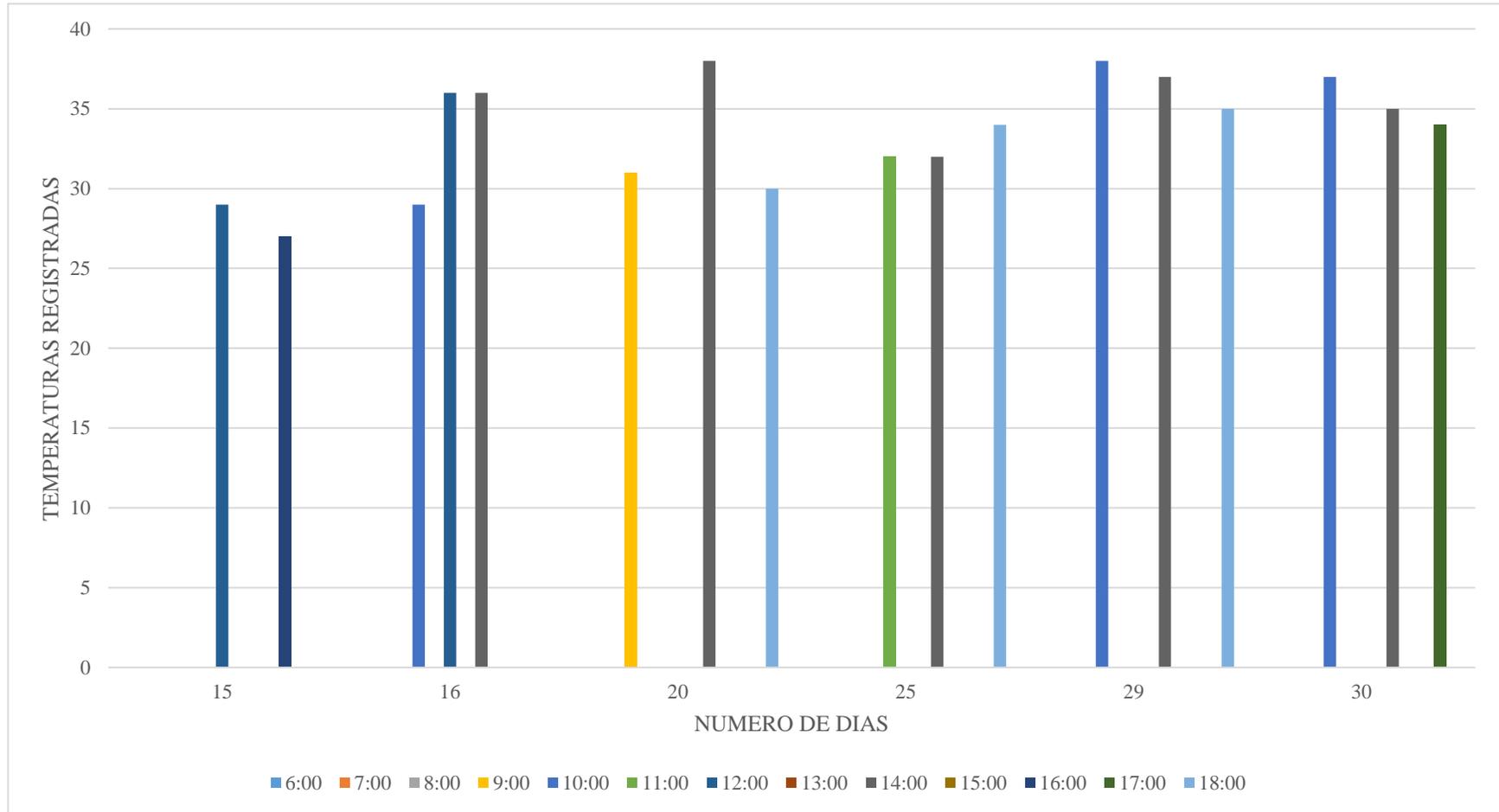
Grafica de promedio de temperaturas de la carpeta asfáltica registradas en julio y agosto con profundidad de 0 cm Chachagüí (Nariño).



El rango de temperatura alcanzado en la carpeta asfáltica para una profundidad de 5 centímetros esta entre 27 °C y 38 °C, alcanzando los valores máximos entre las 11:00 am y 2:00 pm.

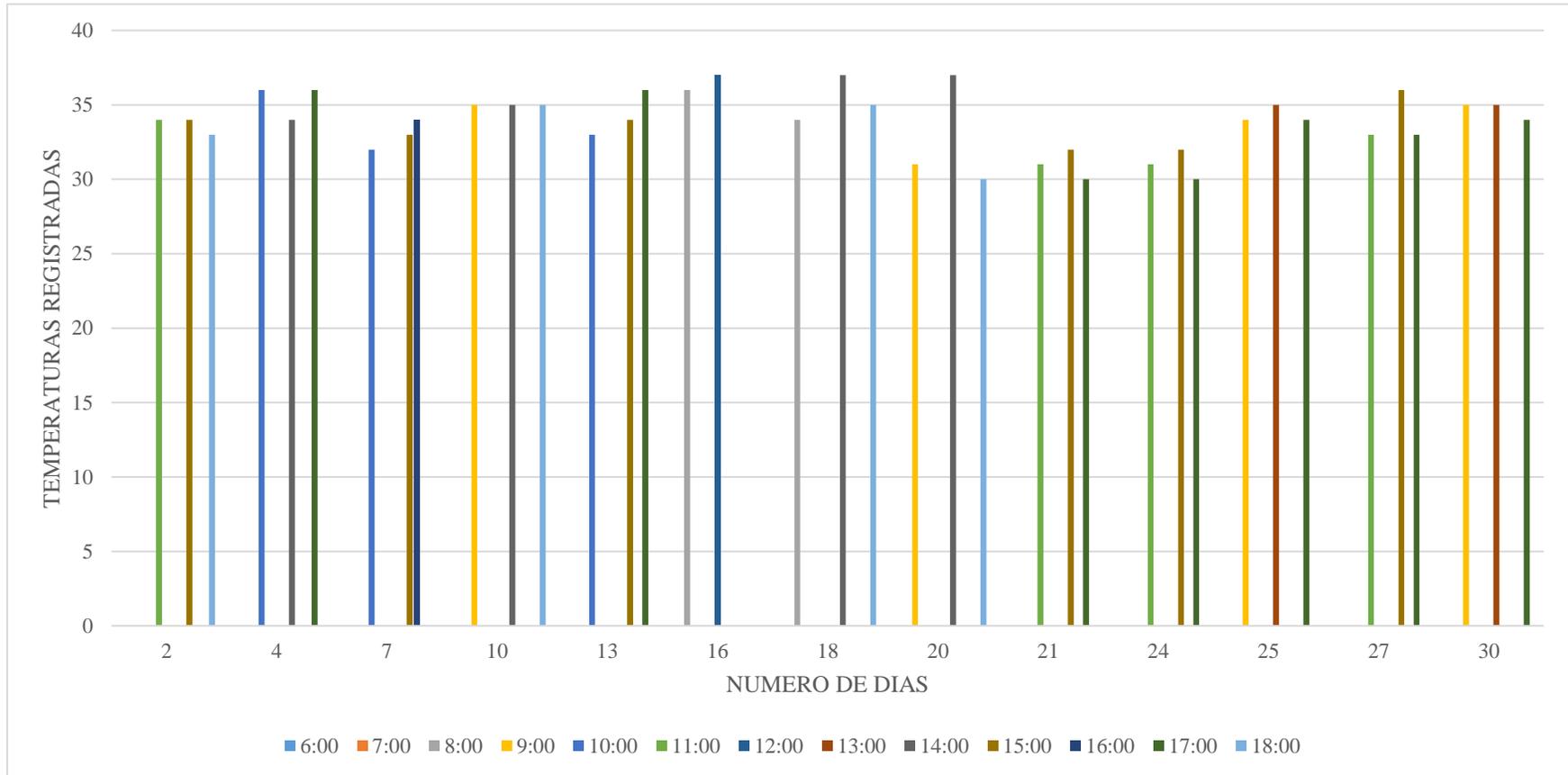
Anexo B12.

Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 5 cm durante el mes de julio Chachagüí (Nariño).



Anexo B13.

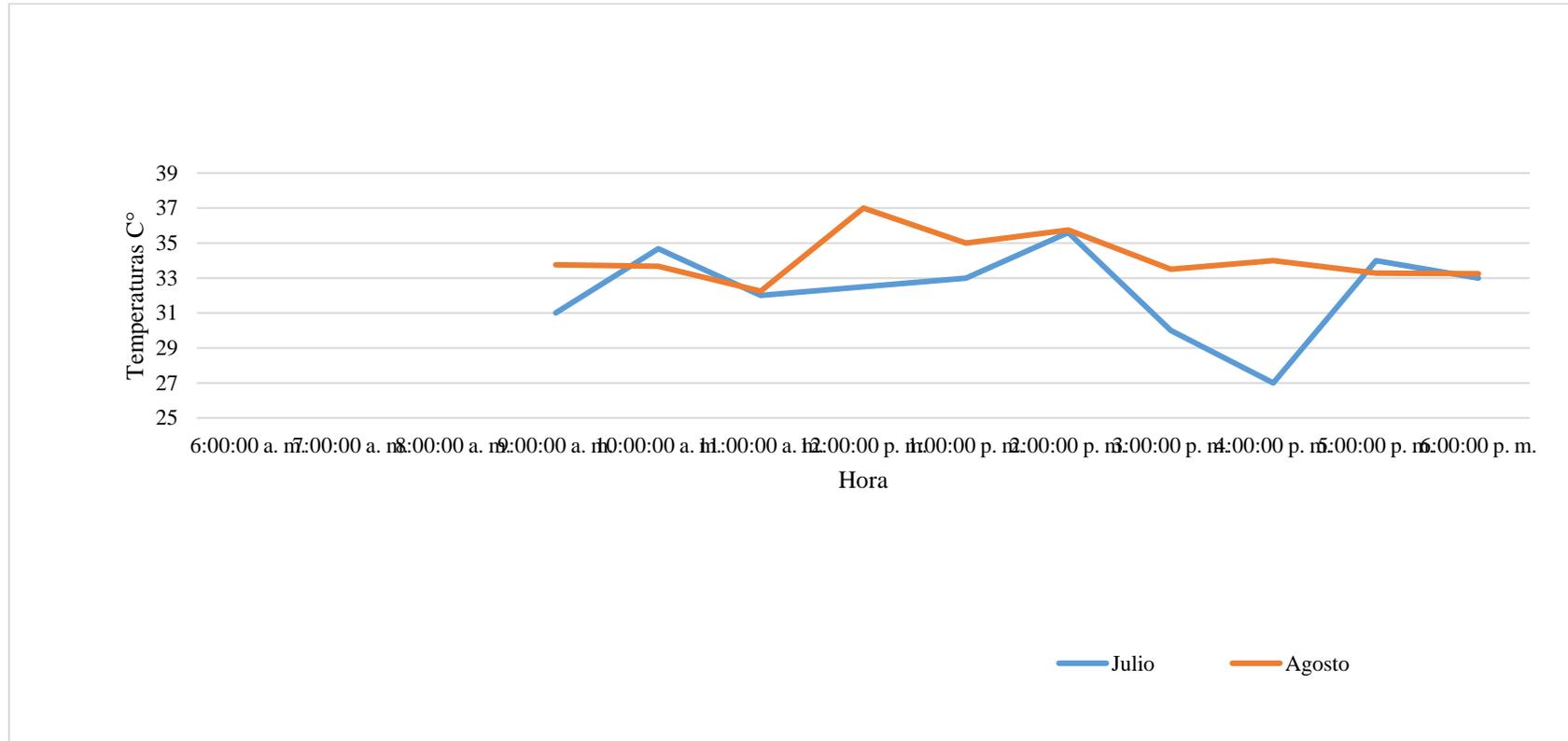
Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 5 cm durante el mes de agosto Chachagüí (Nariño).



Durante el mes de agosto se registró un promedio de temperatura mayor de la carpeta asfáltica a 5 centímetros de profundidad, siendo de 35 °C, mientras que durante el mes de julio la temperatura promedio máxima ocurrió a las 2:00 pm con valores de 33 °C.

Anexo B14.

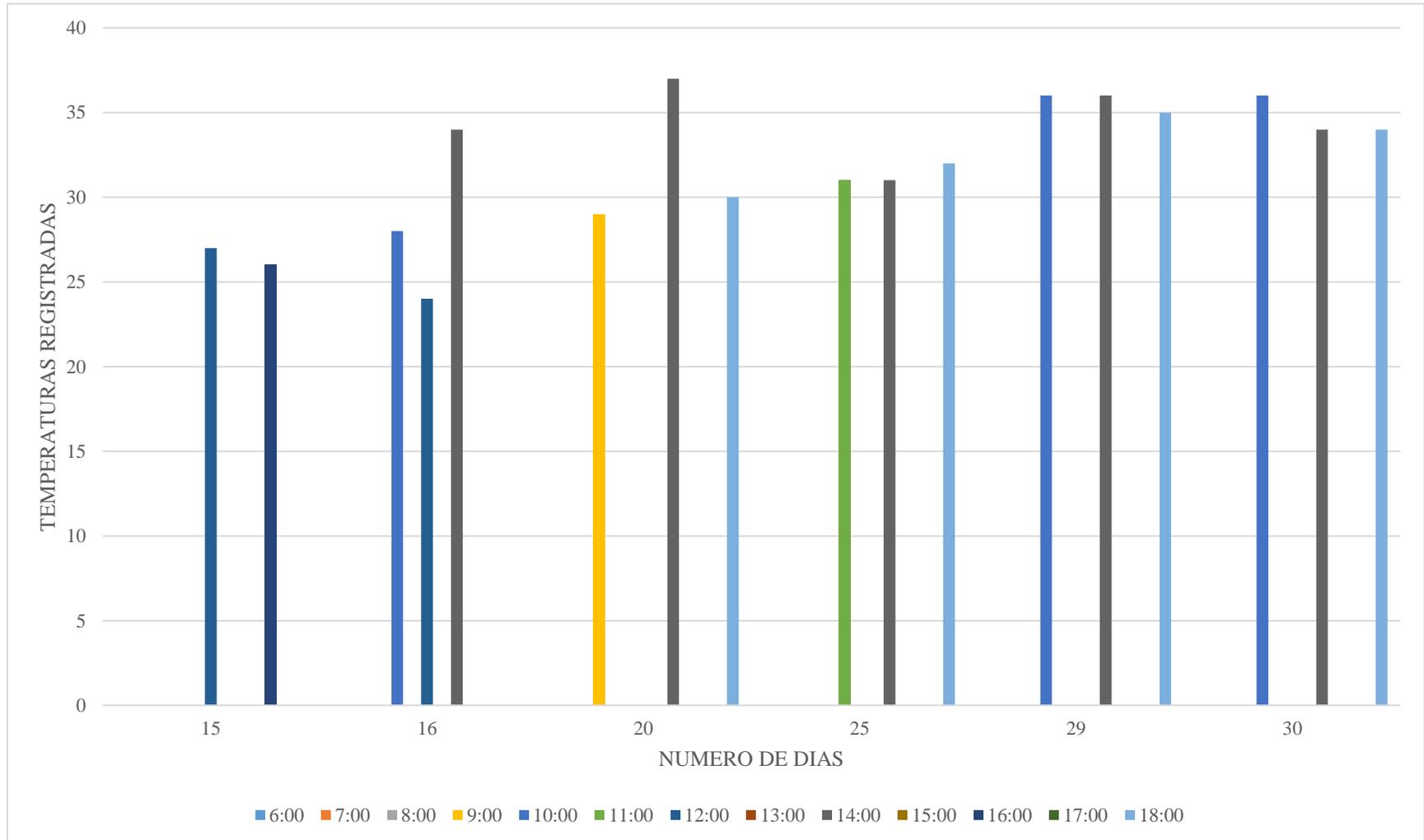
Grafica de promedio de temperaturas de la carpeta asfáltica registradas en Julio y agosto con profundidad de 5 cm Chachagüí (Nariño).



La carpeta asfáltica a una profundidad de 10 centímetros registro temperaturas entre 27 °C y 38 °C, alcanzando los valores más altos a las 2:00 pm

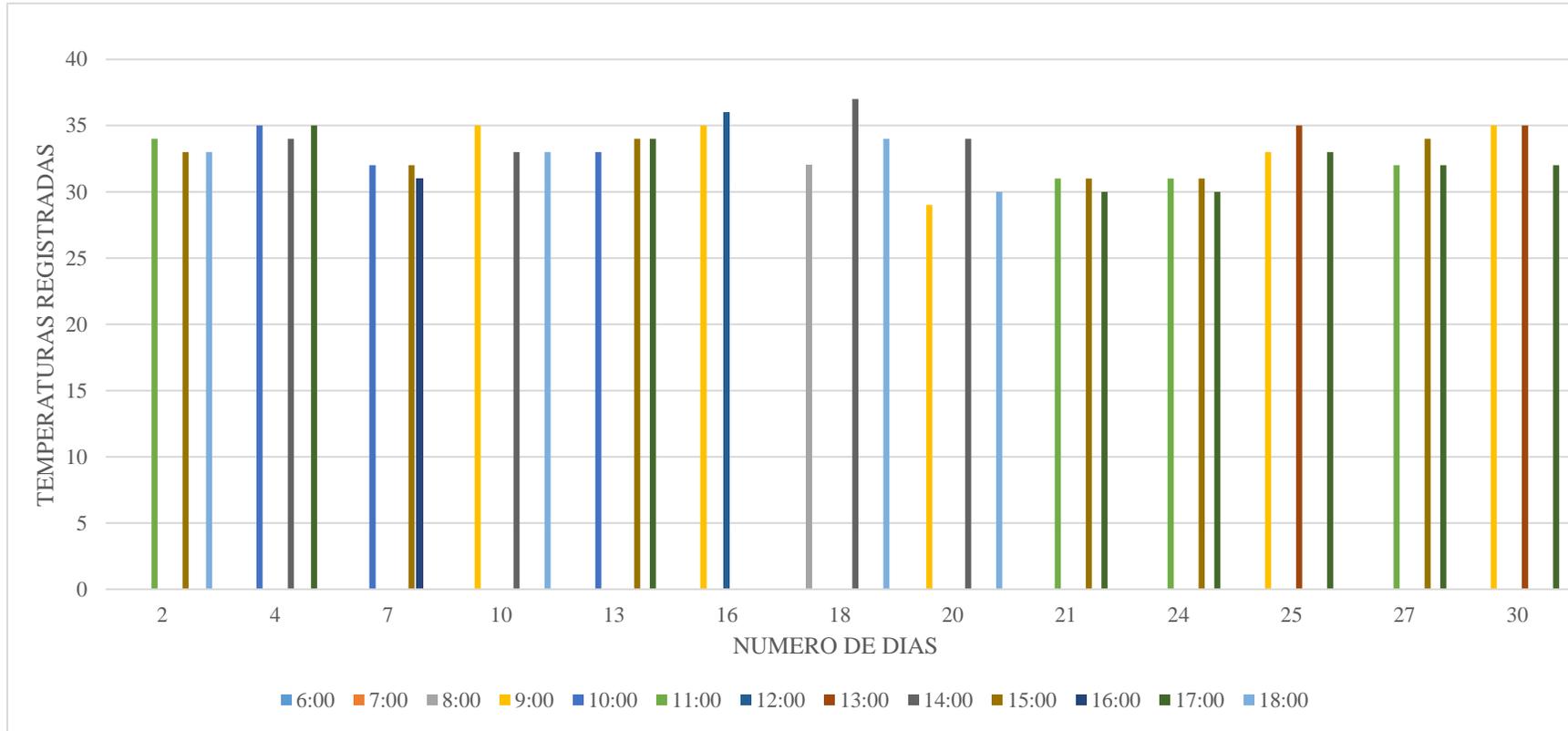
Anexo B15.

Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 10 cm durante el mes de julio Chachagüí (Nariño).



Anexo B16.

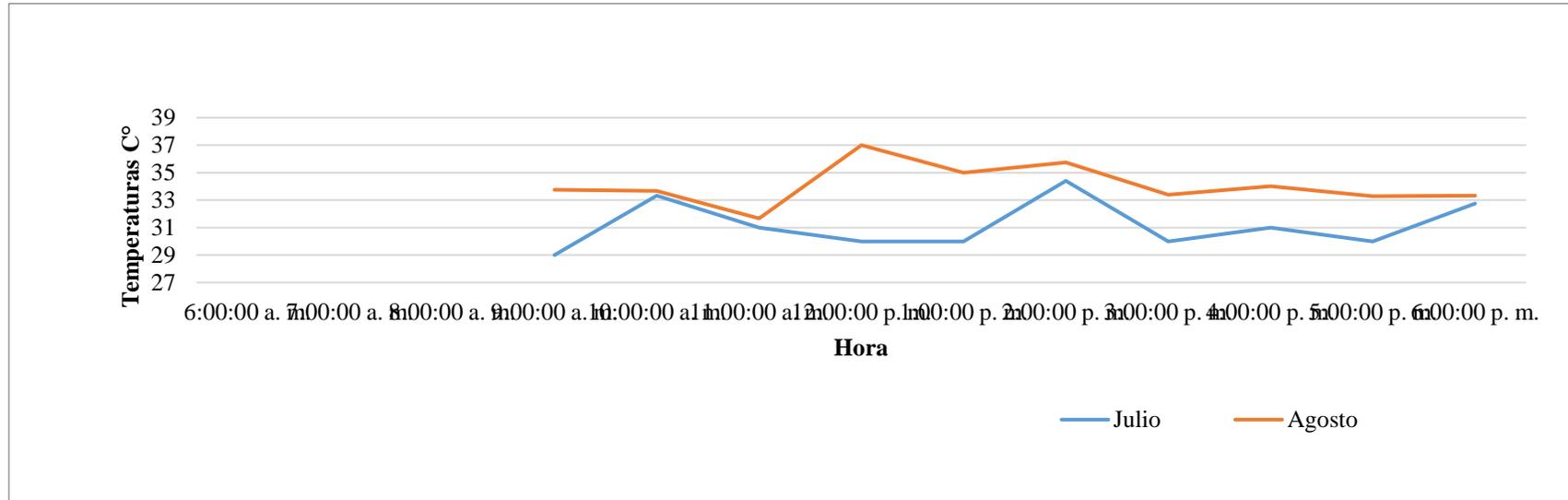
Grafica de temperatura de la carpeta asfáltica con profundidad de 10 cm durante el mes de agosto Chachagüí (Nariño).



El promedio de temperaturas tomadas en diferentes horas registradas para la carpeta asfáltica a una profundidad de 10 centímetros indica que en el mes de agosto tenía temperaturas más altas, alcanzando los 38 °C a las 12:00 pm mientras que en el mes de julio se registró el máximo promedio de temperatura con un valor de 36 °C a las 2:00 pm

Anexo B17.

Grafica de promedio de temperaturas de la carpeta asfáltica registradas en julio y agosto con profundidad de 10 cm Chachagüí (Nariño).



Cabe destacar que, entre los resultados obtenidos entre Pasto y Chachagüí, la temperatura concentrada en la carpeta asfáltica varía dependiendo la hora en la que se realiza la toma de datos, la profundidad y la zona en la que se realizó el estudio. En Pasto en la profundidad de 5 cm se concentró más el calor mientras que en Chachagüí esto sucedió a la profundidad de 10 cm. Esto debe a que, Pasto al ser una ciudad húmeda la base granular que conforma a la vía asfáltica conserva dicha humedad, haciendo que el contacto entre esta base y la carpeta asfáltica se vaya disipando el calor acumulado. Mientras que en Chachagüí ocurre lo contrario, al ser una zona de clima caliente, en la base granular es casi nula la humedad, por ende, al contacto de la carpeta asfáltica con esta base se disipa muy poco el calor.

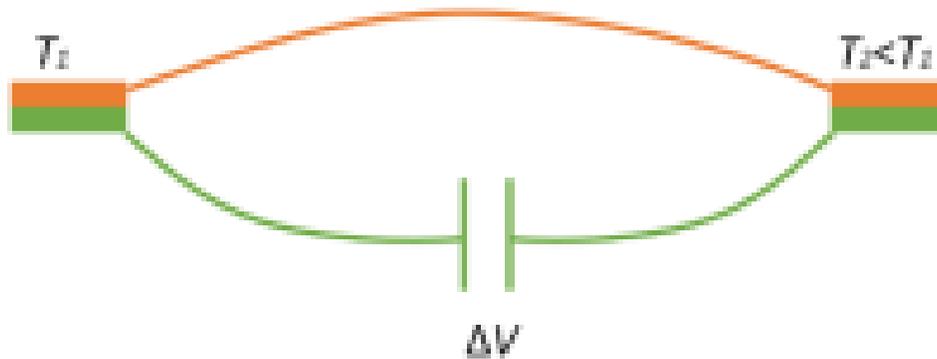
Anexo C. Estudio y experimentos efecto Seebeck

Efecto Seebeck

El efecto Seebeck es la conversión de diferencias de temperaturas directamente en electricidad como se observa en la Anexo C1

Anexo C1.

Efecto Seebeck



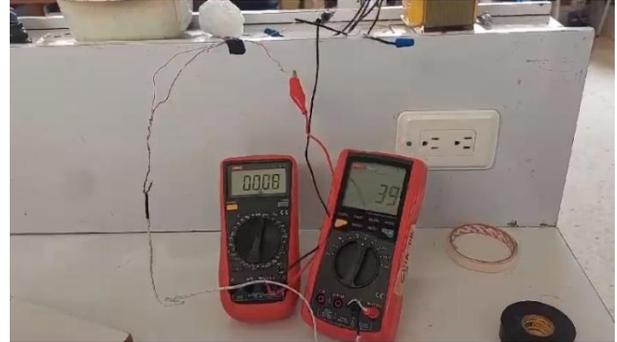
Fuente: tomada de “Análisis de viabilidad de aplicaciones para recuperación de energía mediante efectos termoeléctricos” por Sara Diaz García (2019).

Por otra parte, dentro del experimento del efecto Seebeck se utilizaron dos multímetros (Equipos y Laboratorio, 2023), uno especializado en la toma de la temperatura y otro especializado en la toma de voltaje, cada uno con su respectiva termocupla y cableado, lo cuales se unen mediante un cable de cobre y una pistola de calor (Anexo C2).

Posteriormente se procede a generar calor con la pistola al cable de cobre y tomar las mediciones respectivas que en este caso podemos observar que al transformar la energía térmica en eléctrica los resultados que dan son menores a los iniciales y respecto a la temperatura recolectada en los datos anteriores, se concluye que no es la requerida.

Anexo C2.

Experimento efecto Seebeck: Realizado en la Universidad Mariana (A) Generar calor con la pistola de calor (B) Resultados de las mediciones.

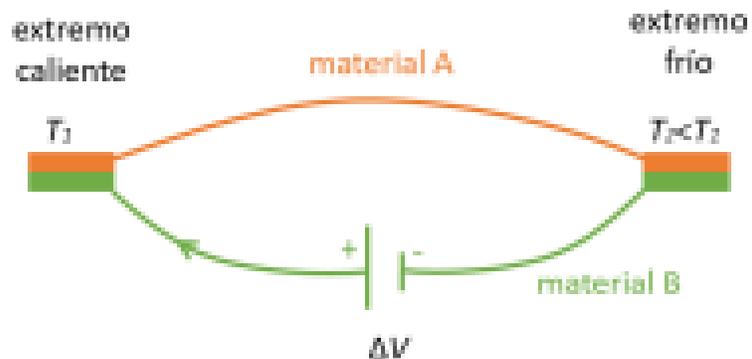


Efecto Peltier

El efecto Peltier es un interesante concepto de la física que está relacionado con la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico (Anexo C3). Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos “junturas de Peltier” (Equipos y Laboratorio, 2023). Este efecto ocurre porque los electrones, al atravesar los materiales, transportan la energía en forma de calor.

Anexo C3.

Efecto físico Peltier



Fuente: Tomada de “Análisis de viabilidad de aplicaciones para recuperación de energía mediante efectos termoeléctricos” por Sara Diaz García (2019).

La transferencia de calor se genera entre dos materiales conductores al entrar en contacto cuando la corriente eléctrica pasa a través de la unión. La transferencia de calor se invierte si cambia la dirección de la corriente. Este fenómeno puede aprovecharse para producir dispositivos eléctricos de calefacción y refrigeración, conocidos como dispositivos Peltier. Los dispositivos Peltier encuentran su uso en una amplia gama de aplicaciones, incluidos refrigeradores portátiles, sistemas de enfriamiento de computadoras y equipos médicos, además de ser un componente importante para fines industriales y de investigación donde la precisión en el control de la temperatura es obligatoria.

Este efecto se puede realizar conectando 2 alambres conductores, se mide la temperatura en la celda, considerando que esta debe estar aislada térmicamente, se conecta la corriente con los alambres registrando las temperaturas y sus cambios (Anexo C4).

Anexo C4.

Experimento efecto Peltier: (A) Realización de la conexión de los alambres de cobre y (B) Registro de resultados



***Anexo D. Estudio realizado de comparación de propiedades térmicas entre el concreto y
asfalto***

Se ha realizado un estudio de comparación entre el asfalto y concreto como se observa en el Anexo D1 y Anexo D2, donde se determinó que tipo de material para carreteras tiene mejores características para conducir y retener la conductividad térmica, teniendo en cuenta, factores como color oscuro, la capacidad para absorber y retener el calor del sol con mayor eficiencia, además, debe ser un material que absorba más radiación y calor por lo cual se tomara un lugar donde presente las mismas condiciones de temperatura, con el fin de identificar mediante una termocupla que material tiene mayor capacidad de absorber la mayor temperatura.

Anexo D1.

Toma temperatura en asfalto



Anexo D2.

Toma temperatura en concreto



Anexo E. Realización de evaluación de disponibilidad y costo de materiales y equipo para construcción de prototipo

Por medio del diseño se puede determinar cuáles serán los materiales y equipos necesarios. En este caso, los más importantes son la tubería de cobre y un doblador de tubo para darle la forma de serpentín que necesita la tubería según el diseño. Se busca tanto en páginas web locales como en puntos físicos establecidos la tubería con el diámetro interno previamente seleccionado, comparando su costo. Además, se evalúa el doblador de tubo, considerando la viabilidad en cada lugar, teniendo en cuenta la cantidad requerida y el tiempo de entrega que tomaría. Este tipo de planificación es necesaria para garantizar que el proyecto se complete dentro del plazo especificado y con los recursos disponibles.

Anexo F. Selección de proveedores y solicitud de cotizaciones

Conociendo las necesidades del proyecto y las condiciones de cada proveedor para suministrar los elementos requeridos, se determinará que el lugar se ajusta a las necesidades de adquisición de estos componentes. Se encontrará un proveedor de material que suministrará la cantidad necesaria de tubería, al mejor precio y con un tiempo de entrega inmediata y para la curvatura del tubo se obtendrá un experto que posea este artefacto.

Se compararon disponibilidad, precios y tiempos de entrega de diferentes proveedores. Mercado Libre se destaca por ofrecer un proveedor específico que no sólo suministra las cantidades necesarias de materiales, sino que lo hace a los mejores precios del mercado. Esta opción proporcionó una solución rentable para el proyecto.

Anexo G. Análisis realizado a proveedores

Ya que se realizarán los pedidos mediante mercado libre, y esta es una plataforma de ventas digital, en la cual varias personas venden sus productos, se selecciona al proveedor que tenga el mejor precio del producto, y también tenga una buena calificación y mejores reseñas en la plataforma, posteriormente de identificar al proveedor con las mejores condiciones, se realiza el pedido de 12 metros de tubería de cobre de 1/4", de los cuales la gran parte se utilizará para la construcción final del prototipo, y otra parte de esta tubería se usará para un estudio experimental y recolección de datos preliminares. y recolección de datos preliminares.

Además, en la ciudad de Pasto se buscará un carpintero, el cual construirá el molde en madera del prototipo el cual tendrá dimensiones de 50 cm de ancho, 60 cm de largo y 10 cm de profundidad.

Se propondrá la búsqueda de materiales de agregado fino y agregado grueso, mientras que el ligante asfáltico con el que se trabajara fue suministrado por la empresa **PANAVIAS S.A.** Dichos materiales utilizarán para la construcción de la carpeta asfáltica para este prototipo.

Se compararon disponibilidad, precios y tiempos de entrega de diferentes proveedores. Mercado Libre se destaca por ofrecer un proveedor específico que no sólo suministra las cantidades necesarias de materiales, sino que lo hace a los mejores precios del mercado. Esta opción proporcionó una solución rentable para el proyecto.

Cobre

Mediante la cotización de diferentes mercados, se obtuvo que, la Ferretería Fátima tiene los mejores precios en cuanto a la tubería de cobre de 1/4", además que, facilita la entrega inmediata evitando sobre estimaciones y permite la revisión del producto. En dicha ferretería se compró 12 metros de tubería los cuales se usarán 10 para la construcción del prototipo y 2 para uso experimental.

Anexo G1.

Tubería de cobre ferretería Fátima



Molde

Para el molde donde se construirá el respectivo prototipo, se buscó el mejor precio en cuento a trabajo de obra en este caso **LA CASA DEL CARPINTERO PASTO**, por otro lado, se identificó cual era la madera menos costosa (PINO) con el fin de disminuir el valor de costo realizando un molde de 50*60*10 cm.

Anexo G2.

*Molde realizado medias 50*60*10 cm de madera*



Agregados para asfalto

Estos agregados fueron proporcionados por la Universidad Mariana, por lo que no incurrió en ningún costo

Ligante asfáltico

Este ligante fue proporcionado por la empresa **PANAVIAS S.A**, por lo que no incurrió en ningún costo

Anexo G3.

Suministración de ligante asfáltico por PANAVIAS S.A



Anexo G4.

Compras realizadas de productos requeridos

Material	Precio	Cantidad	Modalidad de lugar	Lugar de suministro	Total
Dobladora de tubo de cobre, 1/4, 5/16 y 3/8	\$ 76.500	1	Virtual	Mercado Libre (Tienda)	\$ 76.500

Manguera de cobre	\$	12	Físico	Ferretería Fátima	\$
1/4" (1mts)	10.500				126.000
Molde de madera	\$	1	Físico	Carpintería	\$ 55.000
50*60	55.000			Santiago	
Asfalto (Obsequio)	\$	1	Físico	Panvias	\$ -
	-			(obsequio)	

Verificar la calidad del cobre

Se realiza una inspección al material de cobre, donde se observa que no tiene ningún tipo de daño tanto en perforación o corte, teniendo en cuenta las especificaciones del producto.

Anexo H. Verificación de calidad de los componentes adquiridos para construcción de prototipo

Una vez recibido el pedido de los 12 metros de tubería de cobre de ¼” adquiridos a través de Ferretería Fátima, el equipo procedió a realizar una inspección visual inicial. Donde se verifique que dicha tubería no tenga ningún tipo de daño en caso de perforaciones o cortes.

El equipo comparó las especificaciones del producto recibido con las especificaciones anunciadas por el proveedor en la plataforma de ventas. Se revisaron las dimensiones de la tubería, el grosor del cobre, y la integridad del material para asegurarse de que coincidieran con lo prometido.

Anexo I. Revisión de datos y observación en la construcción del prototipo para mejorar y evitar problemas en el prototipo

Después de realizar la monitorización de las temperaturas y haber obtenido los resultados, es necesario analizar dichos valores para comprobar que sean los esperados, es decir que la temperatura del agua al momento de salir del prototipo sea mayor que al momento que ingreso a este, en tal caso que esto no sea así, será necesario replantear y analizar el prototipo y determinar en qué punto o parte esta falla para que no sucediera lo esperado, estas fallas pueden ser que la temperatura del asfalto y del ambiente no sean las esperadas, o incluso que al momento de instalar el serpentín de la tubería de cobre no se instaló a la profundidad adecuada para que se presente una transferencia de calor adecuada.

Anexo J. Realización de estudio teórico para uso de aprovechamiento en las viviendas

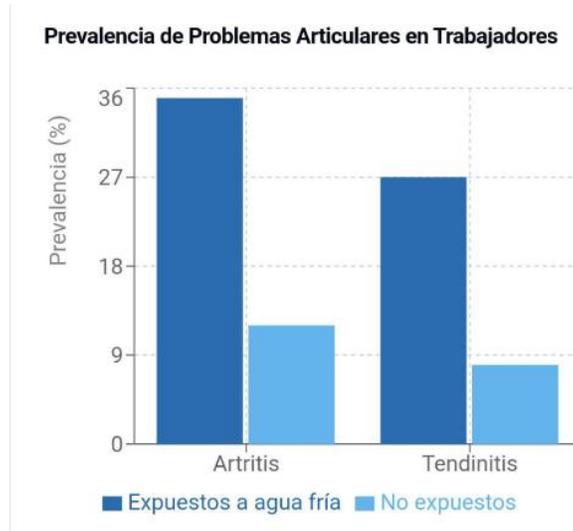
Se obtuvo una diferencia de temperatura considerable; con esto, se intentará la adaptación para un aprovechamiento doméstico. Se indaga con el fin de obtener distintas opciones donde el uso de esta diferencia de temperatura represente un cambio importante y un beneficio para los habitantes de una vivienda convencional, proporcionando un funcionamiento ergonómico al prototipo planteado.

Anexo K. Estudio teórico de aprovechamiento de temperatura en uso doméstico

Basado en el análisis realizado, se toman en cuenta los principales usos domésticos que se le puede dar a una fuente de agua en régimen térmico en una vivienda. Se prioriza la salud de las personas, por lo cual la mejor opción es el aprovechamiento en un sistema de conexión que desemboque en el lavaplatos de la casa. Debido al deterioro progresivo que causa el agua fría al estar en contacto constante con las manos de las personas, se pueden desarrollar enfermedades como artritis u otras. Esto permitirá mitigar en gran medida la degradación paulatina de la salud de los habitantes.

Anexo K1.

Grafica que demuestra enfermedades por uso de agua fría en actividades



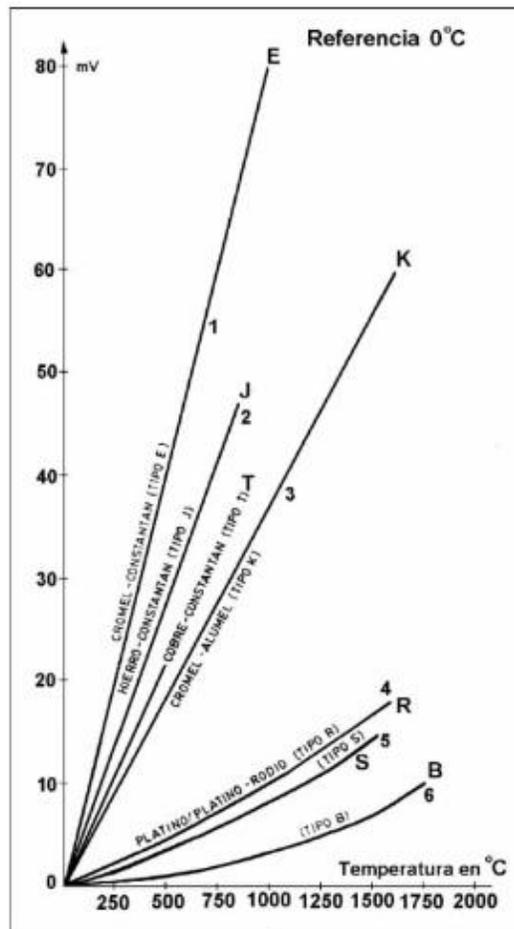
Fuente: Tomada de Chapín TV. (2017). Tocar agua fría después de planchar puede causar artritis.

Anexo L. Instalación y calibración de instrumentación de conversión energética

En primer lugar, se recomienda el uso de termocuplas tipo E o tipo J debido a sus materiales y características constructivas, que las hacen más sensibles a los cambios de temperatura en relación con la tensión frente a la temperatura.

Anexo L1.

Características de termocuplas para uso industrial.



Fuente: tomada de “Física II Diseño Industrial” por María Silvana Garro (2024)

En el Anexo L1, se puede observar el comportamiento de las termocuplas según su tipo, en función a la temperatura y su transformación (mV). Las termocuplas industriales son dispositivos esenciales en la medición de temperatura, y su elección depende del rango de operación, el

ambiente y la precisión requerida en cada aplicación. A continuación, en el anexo L3, se describen las principales características de los tipos más utilizados.

Anexo L3

Características de termocuplas metálicas para uso industrial

Termocuplas metálicas				
Tipo Norma ANSI	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/Constantan	5,6 mV/100 °C	Fé 44 Ni: 55 Cu	-40 a +750
K	Cromel/Alumel	3,6 mV/100 °C	90 Ni: 9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/Constantan	4,5 mV/100 °C	Cu 44 Ni: 55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/Constantan	7,9 mV/100 °C	90 Ni: 9 Cr 44 Ni: 55 Cu	-40 a +900

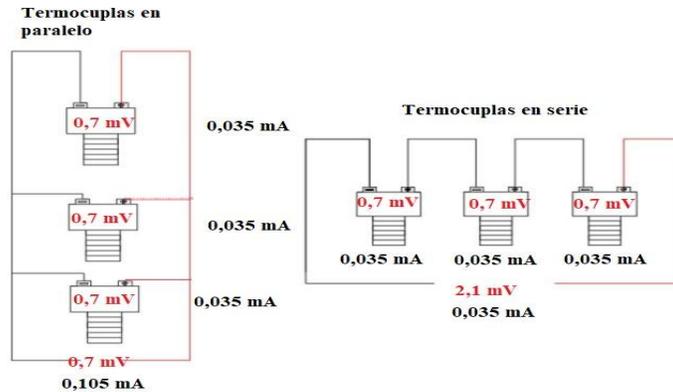
Fuente: tomada de “Física II Diseño Industrial” por María Silvana Garro (2024)

En este caso, se utilizó 3 termocuplas tipo J. Gracias a sus características, se comprobó que es la más óptima para trabajar en asfalto y con las temperaturas que se puedan manejar.

Es importante visualizar las termocuplas de manera análoga como a unas baterías, similar a como se conceptualizan los paneles solares. Para aumentar la tensión, debes crear un circuito en serie de termocuplas, conectando los polos el negativo con el positivo, como se muestra en el Anexo L4 con las tres baterías de la derecha. Todo equipo eléctrico requiere de un consumo de potencia, la cual, desde la teoría, se comporta según la fórmula $P = V * I * \cos(\theta)$ o $P = V * I * FP$, donde V es la tensión en voltios (V), I es la corriente en amperios (A), θ es el ángulo entre la potencia activa y reactiva del equipo eléctrico, y $FP = \cos(\theta)$ es el factor de potencia que describe la relación anterior. Este comportamiento aplica para sistemas eléctricos en tensión directa (DC). Por lo tanto, debemos crear una generación de tensión y corriente con termocuplas que sea capaz de suplir la demanda de potencia que requiere el sistema de equipos eléctricos.

Anexo L4

Conexiones en paralelo y en serie de una batería.



Por lo tanto, se creó un sistema de generación con termocuplas que logre producir la tensión y la corriente necesaria, como se observa en la siguiente imagen (Anexo L5), se conectaron tres termocuplas tipo J a un multímetro, los cuales captaban la temperatura dentro del asfalto en diferentes puntos de la placa. De esta manera, se obtuvo una tensión variable entre 3,4 mV y 4,3 mV.

Anexo L5

Toma de datos de tensión (mV)



Anexo M. Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en serie (tabla resumen de datos obtenidos)

Anexo M1.

Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en serie

TEMPERATURA ASFALTO °C	CORRIENTE (mA)	VOLTAJE (mV)
62	0.214	3.9
59.4	0.211	3.7
58	0.209	3.4
57.6	0.208	3.4
55	0.205	3.3
53	0.201	3.1
52.3	0.2	3.1
51.9	0.199	3
50.4	0.197	3
49.1	0.193	2.7
47.6	0.19	2.5
45.9	0.188	2.4
43.5	0.184	2.2
42	0.182	2.19
39.6	0.181	2.17
37.8	0.18	2.14
36.8	0.179	2.13
36.2	0.175	2.1
33.5	0.17	2.07
32.8	0.168	2.06
31.6	0.167	2.06
32.1	0.165	2.05
30	0.161	2.03
28.9	0.159	2.01

**Anexo N. Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en paralelo
(tabla resumen de datos obtenidos)**

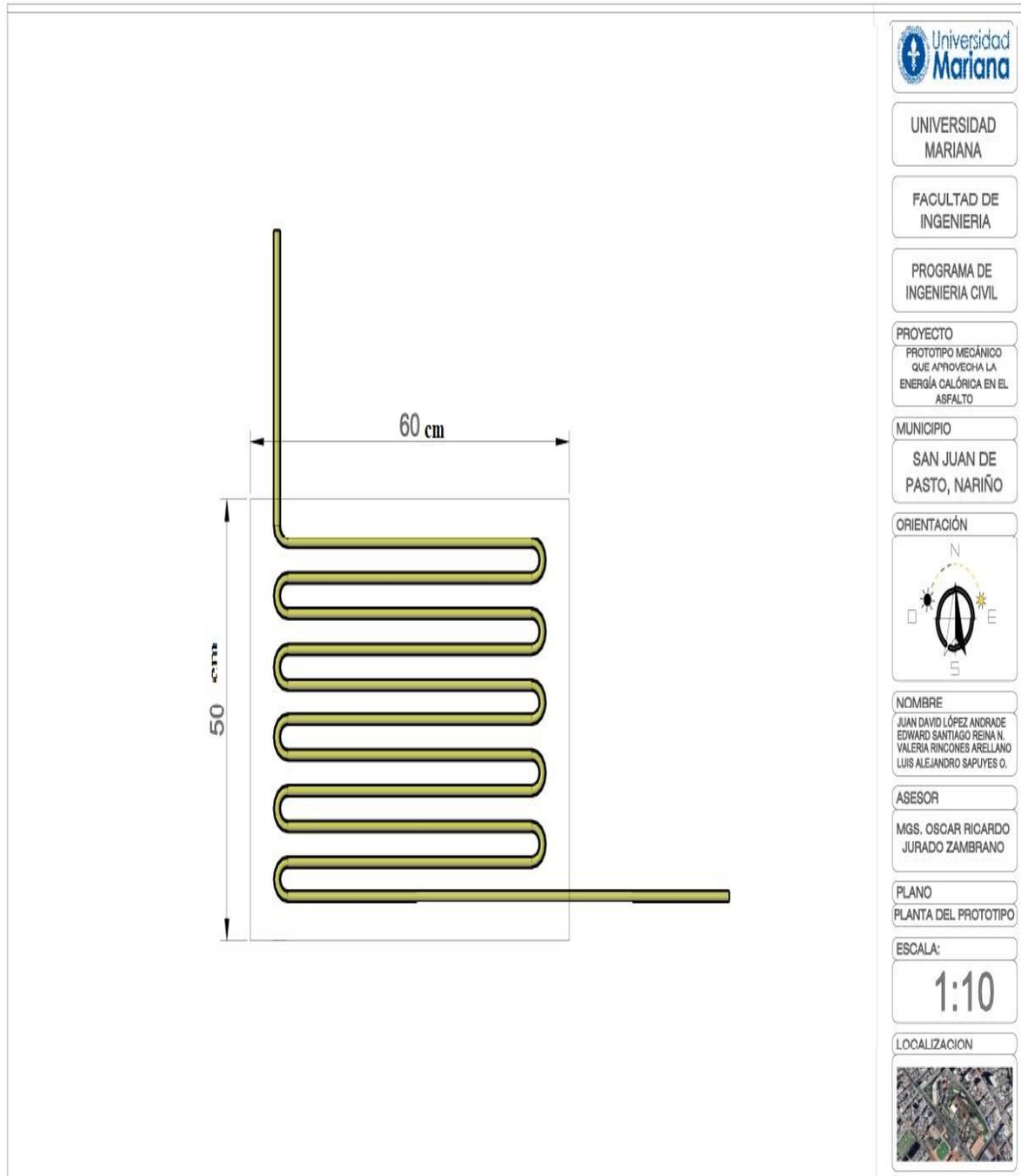
Anexo N1.

Registro de voltaje y corriente en función a la temperatura medido en paralelo.

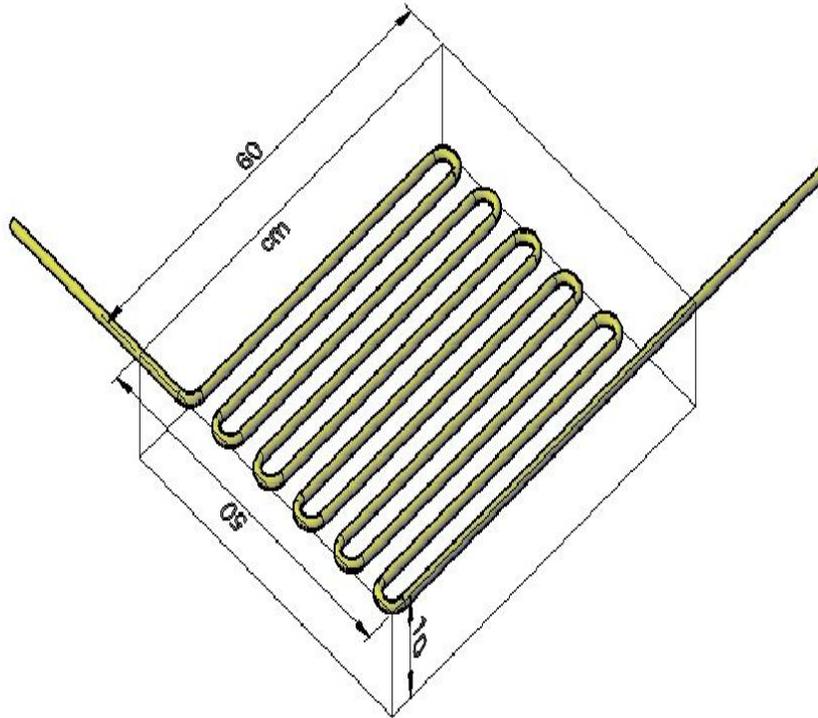
TEMPERATURA ASFALTO °C	CORRIENTE (mA)	VOLTAJE (mV)
60	0.035	1.19
59.4	0.033	1.17
58	0.032	1.16
57.6	0.031	1.16
55	0.03	1.14
53	0.027	1.14
52.3	0.025	1.13
51.9	0.025	1.13
50.4	0.024	1.12
49.1	0.023	1.1
47.6	0.021	1.09
45.9	0.019	1.08
43.5	0.014	1.05
41.9	0.01	1.04
39.6	0.0098	1.01
37.8	0.009	0.95
36.1	0.0084	0.92
34.6	0.0079	0.88
34.2	0.0073	0.82
33.9	0.0071	0.79
33.1	0.007	0.74
32.1	0.0069	0.68
30	0.0059	0.6
28.9	0.0053	0.58

Anexo O. Planos del prototipo

Anexo O1. Plano en planta del prototipo



Anexo O2. Plano isométrico



UNIVERSIDAD
MARIANA

FACULTAD DE
INGENIERIA

PROGRAMA DE
INGENIERIA CIVIL

PROYECTO

PROTOTIPO MECÁNICO
QUE APROVECHA LA
ENERGÍA CALÓRICA EN EL
ASFALTO

MUNICIPIO

SAN JUAN DE
PASTO, NARIÑO

ORIENTACIÓN



NOMBRE

JUAN DAVID LÓPEZ ANDRADE
EDUARDO SANTIAGO REINA N.
VALERIA RINCONES ARELLANO
LUIS ALEJANDRO SAPUYES O.

ASESOR

MGS. OSCAR RICARDO
JURADO ZAMBRANO

PLANO

ISOMETRICO DEL PROTOTIPO

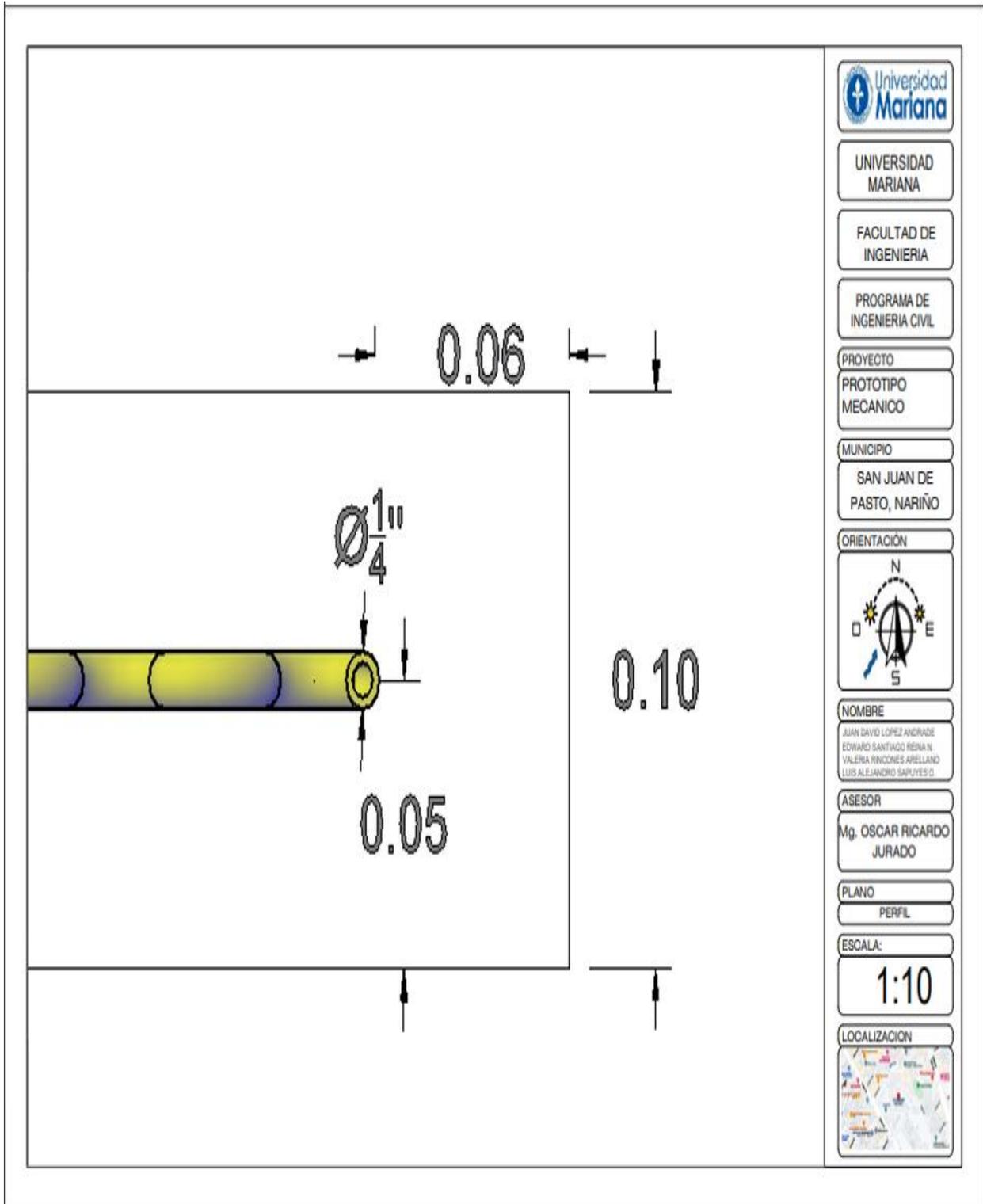
ESCALA:

1:10

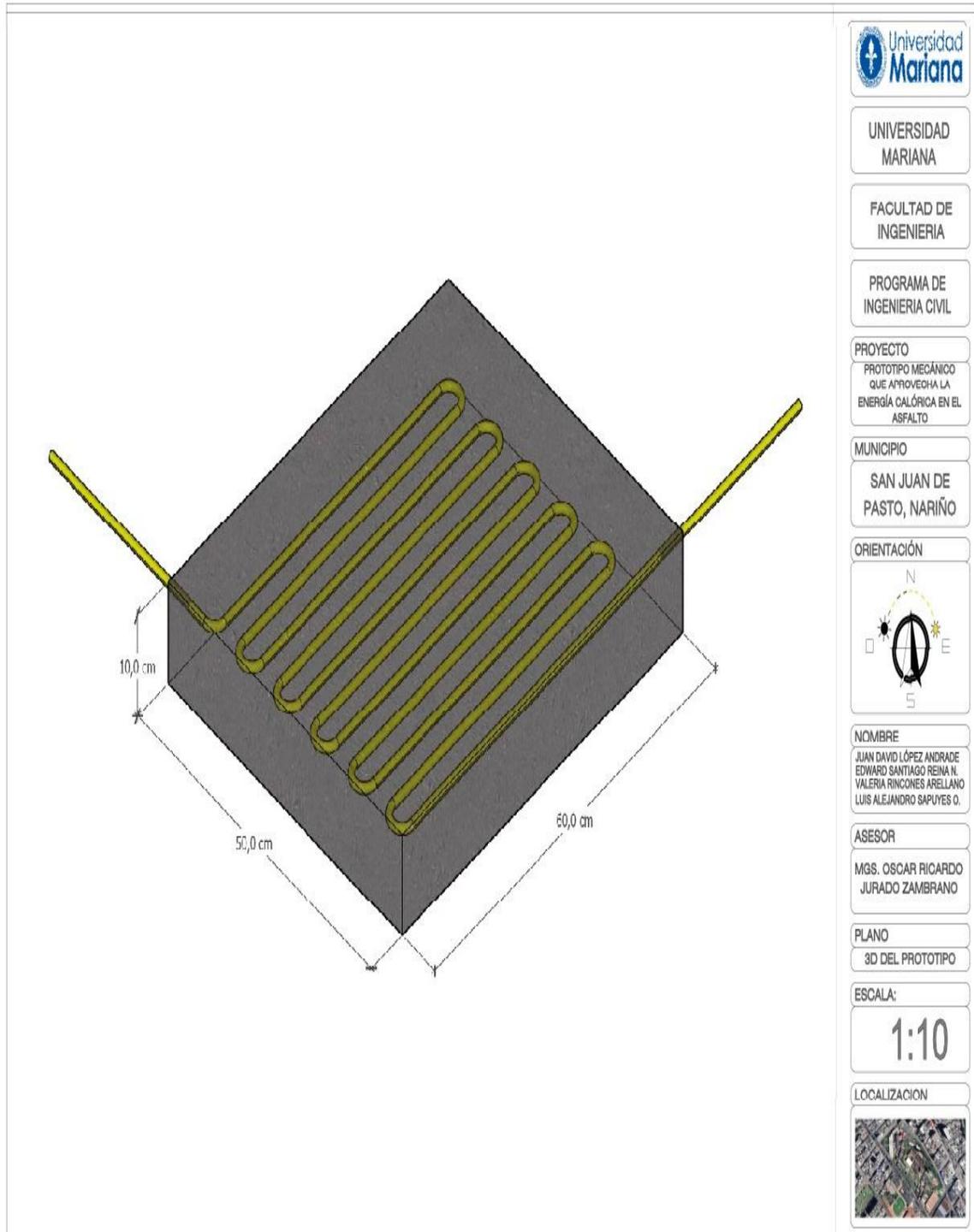
LOCALIZACION



Anexo 03. Plano vista en corte



Anexo O4: 3D en Sketchup del prototipo

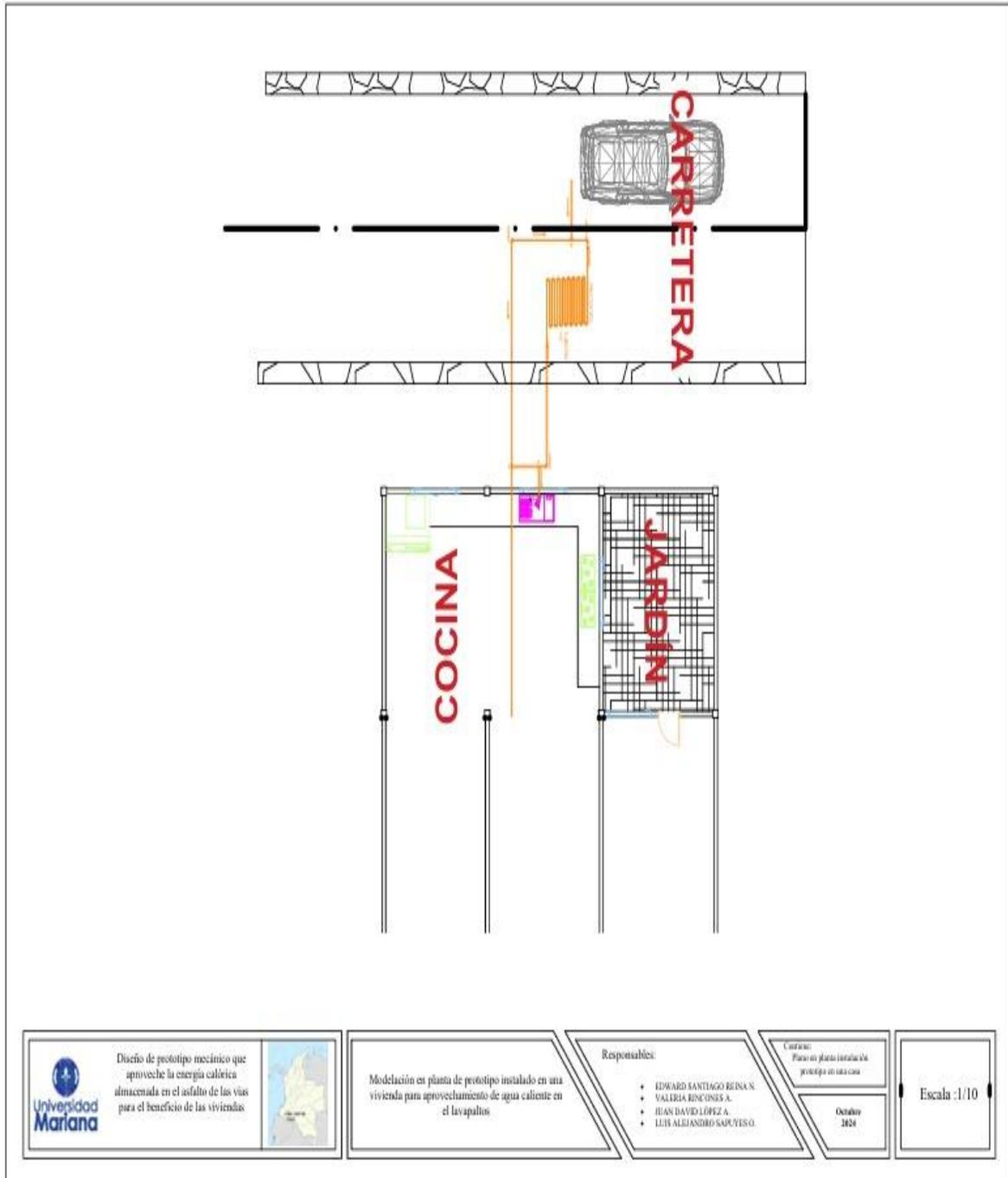


Anexo P. Video de prueba de funcionamiento

<https://www.youtube.com/watch?v=F8mCtjNCjJQ>

Anexo Q. Planos del prototipo en proyección real

Anexo Q1: Planta del prototipo en un esquema real



Anexo Q2: planta del prototipo en un esquema

