

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Título del proyecto de investigación

**“ISLA DE CALOR POR LA INCIDENCIA DE LOS FENÓMENOS DE  
TRANSFERENCIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

**Autor:**

Luis Daniel Cobo Villagómez

**Tutor:**

Ing. Vladimir Pazmiño.

**Riobamba-Ecuador**

**Año 2020**

## REVISION

Los Miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“ISLA DE CALOR POR LA INCIDENCIA DE LOS FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”** presentado por **Luis Daniel Cobo Villagómez** y dirigida por: **Ing. Vladimir Pazmiño**. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizada, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

**Ing. Vladimir Pazmiño**

Tutor del Proyecto



Firma

**Ing. Víctor Velásquez**

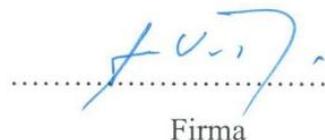
Miembro del Tribunal



Firma

**Ing. Víctor García**

Miembro del Tribunal



Firma

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: **“ISLA DE CALOR POR LA INCIDENCIA DE LOS FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al señor **Luis Daniel Cobo Villagómez** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente.



Ing. Vladimir Pazmiño  
TUTOR DE TESIS

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a:  
Luis Daniel Cobo Villagómez y al Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



---

Luis Daniel Cobo Villagómez

C.I.: 0604417253

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de manera especial a mi padre por todo el apoyo y plena confianza que siempre ha tenido en mí, a pesar de todos mis tropiezos durante mi camino por alcanzar este título académico, también quiero dar gracias a Dios por estar siempre a mi lado a pesar de todos mis defectos, a mi familia también porque de una u otra manera siempre estuvieron ayudándome, al igual que todos los docentes que formaron parte del desarrollo de mi tesis y a mis amigos por motivarme a seguir adelante. Todos ustedes contribuyeron enormemente en este logro, el cual es solo el comienzo de grandes cosas que vendrán.

## **DEDICATORIA**

Fueron muchas personas que estuvieron a mi lado, durante todo el proceso para obtener mi título académico, los cuales son dignos merecedores de dedicar esta tesis de grado. Pero esta vez esta tesis me la quiero dedicar a mi mismo, como muestra de que puedo lograr grandes cosas si tan solo me las propongo, y que a pesar de todos los obstáculos que se presenten, tendré las herramientas suficientes para poder atravesarlos y seguir siempre hacia adelante.

## CONTENIDO

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA .....	V
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
ISLAS DE CALOR ICU .....	5
ALBEDO .....	6
REOLOGIA DEL ASFALTO .....	7
AGRIETAMIENTO POR TEMPERATURA.....	9
HUMEDAD.....	11
CONDICIONES AMBIENTALES .....	12
DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	13
METODOLOGÍA.....	16
FORMULAS APLICADAS .....	20
RESULTADOS.....	21

CONCLUSIONES.....	30
RECOMENDACIONES .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	32
ANEXOS.....	34
Anexo 1. Temperatura de Riobamba del mes de Julio INAMHI .....	34
Anexo 2. Temperatura de Riobamba del mes de Agosto INAMHI.....	34
Anexo 3. Temperatura de Riobamba del mes de Septiembre, INAMHI.....	35
Anexo 4. Temperatura de Riobamba del mes de Octubre, INAMHI.....	35
Anexo 5. Temperatura de Riobamba del mes de Noviembre, INAMHI.....	36
Anexo 6. Datos tomados a las 07h00 en el Giralda Plaza.....	36
Anexo 7. Datos tomados a las 12h00 en el Giralda Plaza.....	37
Anexo 8. Datos tomados a las 18h00 en el Giralda Plaza.....	37
Anexo 9. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Giralda Plaza.....	38
Anexo 10. Datos tomados a las 07h00 en el Mercado San Alfonso.....	38
Anexo 11. Datos tomados a las 12h00 en el Mercado San Alfonso.....	39
Anexo 12. Datos tomado a las 18h00 en el Mercado San Alfonso.....	39
Anexo 13. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Mercado San Alfonso.....	39
Anexo 14. Datos tomados a las 07h00 en la Estación.....	40
Anexo 15. Datos tomados a las 12h00 en la Estación.....	40
Anexo 16. Datos tomados a las 18h00 en la Estación.....	40

Anexo 17. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en la Estación.....	41
Anexo 18. Datos tomados a las 07h00 en el Mercado de Santa Rosa.....	41
Anexo 19. Datos tomados a las 12h00 en el Mercado de Santa Rosa.....	42
Anexo 20. Datos tomados a las 18h00 en el Mercado de Santa Rosa.....	42
Anexo 21. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Mercado de Santa Rosa.....	42
Anexo 22. Datos tomados a las 07h00 en Yaruquies.....	43
Anexo 23. Datos tomados a las 12h00 en Yaruquies.....	43
Anexo 24. Datos tomados a las 18h00 en Yaruquies.....	43
Anexo 25. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en Yaruquies. ....	44
Anexo 26. Datos tomados a las 07h00 en la UNACH. ....	44
Anexo 27. Datos tomados a las 12h00 en la UNACH. ....	45
Anexo 28. Datos tomados a las 18h00 en la UNACH. ....	45
Anexo 29. Datos tomado al siguiente día a las 07h00 en la UNACH.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Albedo de diferentes superficies (Fuente: La alerta verde) .....	7
Figura 2. Relación entre deformación y tiempo para un material viscoelástico (Fuente: Fuente: Manual de pavimentos, Néstor Huamán G.) .....	9
Figura 3. Ejemplo de agrietamiento por temperatura (Fuente: ASTM.org) .....	10
Figura 4. Representación de la respuesta mecánica del pavimento con carga de rueda (Fuente: Segovia, 2014).....	10
Figura 5. Huella en el pavimento (Fuente: Luis Cobo).....	11
Figura 6. Grados de desempeño para ligantes, según AASHTO M 320 (Fuente: Segovia, 2014)	15
Figura 7. Ubicación de los puntos de medición de la temperatura alta y baja en el pavimento (Fuente: Luis Cobo) .....	16
Figura 8. Esquema de metodología de investigación (Fuente: Luis Cobo) .....	16
Figura 9. Mapeo de puntos de medición de la zona céntricos de la ciudad de Riobamba (Fuente: Google Earth) .....	17
Figura 10. Mapeo de puntos de medición de zona circundante de la ciudad de Riobamba (Fuente: Google Earth) .....	18
Figura 11 Instrumento para medición de temperatura (Fuente: Luis Cobo) .....	19
Figura 12. Datos tomados del Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019 (Fuente: INAMHI) .....	24
Figura 13. Comportamiento de temperatura en el pavimento (Fuente: Luis Cobo) .....	25
Figura 14. Comportamiento de humedad en el pavimento (Fuente: Luis Cobo).....	26
Figura 15. Temperaturas promedio máximas y mínimas (Fuente: Luis Cobo).....	26
Figura 16. Grado de desempeño requerido en la ciudad de Riobamba (Segovia, 2014) .....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de Temperatura y Humedad de puntos medidos. ....	22
Tabla 2 Resultados de temperatura y humedad en el pavimento en zonas centro y circundante de la ciudad. ....	25
Tabla 3 Cálculo del grado PG XX para Riobamba .....	27
Tabla 4 Cálculo del grado PG -YY para Riobamba .....	28
Tabla 5 Especificación del ligante por el grado de desempeño.....	29

## RESUMEN

El efecto del cambio climático, ha provocado ciertos tipos de daños en estructuras urbanas, el cual ha hecho que se reduzca la vida útil de estas estructuras. El componente urbano de mayor superficie horizontal dentro de una ciudad es el pavimento, el cual por sus características es vulnerable a deformaciones permanentes, debido a altas temperaturas producidas como efecto de la formación de islas de calor urbanas. Para reducir la aparición de deformaciones permanentes en los asfaltos se realizan estudios con el método SUPERPAVE por medio de algoritmo LTPP que nos da la AASHTO M320, el cual transforma la temperatura estimada del aire en temperaturas que alcanza la superficie del pavimento, que de acuerdo a ciertos parámetros nos ayudara a obtener el grado de desempeño PG requerido.

Los resultados alcanzados muestran, como en la parte periférica de la ciudad encontramos una mayor temperatura a diferencia de las partes céntricas, como generalmente suele suceder, obteniendo así una temperatura de 52°C lo que sugiere que el grado de desempeño para el ligante asfáltico sea un PG 58-16, para garantizar un desempeño óptimo del pavimento debido a los cambios bruscos de temperatura.

**Palabras claves:** Cambio climático, pavimento, asfalto, deformaciones permanentes, temperatura, isla de calor urbana, LTPP, AASHTO M320, grado de desempeño PG.

## ABSTRACT

The climate change effect has caused certain types of damage to urban structures, it reduces the useful life of these structures. The greater horizontal urban surface component in a city is the pavement, because of its characteristics it is vulnerable to permanent deformations, due to the high temperatures produced as the effect of urban heat islands formation. To reduce the presence of permanent deformations on asphalts, studies are carried out with the SUPERPAVE method by means of an LTPP algorithm that gives us the AASHTO M320, this transforms the estimated air temperature into temperatures that are good with the surface of the pavement, according to Certain parameters this will help us to obtain the required PG performance.

The results achieved in the peripheral area of the city show a higher temperature than in the central areas, as it is typically, obtaining a temperature of 52 ° C, which may be the degree of performance for the asphalt binder in PG 58-16, to achieve an optimum pavement performance due to sudden temperature changes.

**Keywords:** Climate change, pavement, asphalt, permanent deformations, temperature, urban heat island, LTPP, AASHTO M320, PG performance level.

Translation reviewed by:



MsC. Edison Damian



## INTRODUCCIÓN

Debido al efecto del cambio climático, es necesario realizar estudios que mitiguen el impacto en las personas dentro de la ciudad; es por ello que este trabajo de investigación tiene como propósito analizar el comportamiento del pavimento flexible en la formación de islas de calor en la ciudad de Riobamba.

El componente urbano de mayor superficie horizontal expuesta a la radiación solar es el pavimento con un 20% de suelo urbano aproximadamente, el cual en la mayoría de los casos posee alta absorptividad y elevado calor específico. Estas características hacen que su contribución al efecto de islas de calor urbana sea significativa, particularmente en climas áridos, con elevados niveles de exposición de radiación solar (Correa, De Rosa, & Lesino, 2006).

En la provincia de Chimborazo se han realizado estudios donde se muestra la influencia directa entre la altura y la cantidad de radiación solar, aunque estos mismos estudios han comprobado que la provincia de Chimborazo posee una cantidad de radiación solar del 40.80% por debajo del promedio mundial establecido por el UNSCEAR ( $2.4E-3$  Sv/año), no está por demás, investigar como esta radiación natural, al hacer contacto con la superficie del pavimento flexible debido a las características del mismo pueden llegar a afectar las capas inferiores del pavimento flexible.

La formación de islas de calor se debe a la cobertura del suelo por superficies urbanas con características que la hacen almacenar, absorber e incluso radiar mayor calor que las áreas con suelos naturales.

La pavimentación sobre espacios naturales quita el efecto de enfriamiento que las plantas tienen a través de la evaporación y retención de agua, provocando así, que el pavimento haga a las ciudades más calientes y no más frescas como lo hacen las plantas.

La cuantificación confiable de la intensidad de la isla de calor urbano (ICU) es crucial para la evaluación de las olas de calor extremo y el estrés térmico relacionado (Li, Zhou & Wang, 2019)

A pesar que se ha realizado investigaciones sobre islas de calor urbano (ICU), el efecto de este en el ambiente, ha aumentado exponencialmente durante las últimas décadas (Deilami & Liu, 2018).

Debido a las condiciones climáticas a las que se exponen los pavimentos flexibles estos contribuyen a la formación de islas de calor en áreas urbanas. La ciudad de Riobamba por su ubicación geográfica se ve expuesta con frecuencia a grandes niveles de radiación solar, abriendo el campo para realizar una investigación cuantitativa de la cantidad de calor absorbida por los pavimentos flexibles.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a las características en la que los pavimentos flexibles se encuentran expuestos dentro de las zonas urbanas con una superficie horizontal representativa, provoca que se produzca un fenómeno denominado islas de calor, el cual produce daños en los pavimentos, además de estrés térmico por calor, para flora, fauna y para las personas con riesgos para la salud humana.

Por tal razón, los pavimentos se encuentran expuestos a que se originen deformaciones permanentes que afectan su desempeño y vida útil, lo cual conlleva a un deterioro prematuro y un gasto significativo de recursos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar el incremento de la temperatura provocada por el reflejo de los pavimentos flexibles en la ciudad de Riobamba.

### **Objetivos Específicos**

1. Delimitar las zonas y ubicaciones para tomar datos dentro de la ciudad de Riobamba.
2. Realizar mediciones de temperatura en el pavimento para analizar la transferencia de energía sobre los pavimentos flexibles.

## **MARCO TEÓRICO**

### **ISLAS DE CALOR ICU**

Se denomina islas de calor urbano ICU, al efecto que se produce cuando las temperaturas en la parte céntrica de una ciudad son significativamente más altas que en sus zonas periféricas. Esto se debe al aumento de las áreas construidas, materiales de alta absorción de calor, disminución de zonas expuestas a la evaporación, calles pavimentadas, incremento del parque automotor, menor viento por la obstrucción que generan las edificaciones y contaminante ambientales.

Las estructuras y superficies de una ciudad como edificios y carreteras asfaltadas, absorben más energía del sol durante el día y emiten ese calor de regreso al aire durante la noche, haciendo las partes céntricas de una ciudad más cálidas en comparación con sus alrededores.

Este fenómeno de islas de calor, produce en los pavimentos un incremento de la temperatura interna de este, influyendo a que llegue a tener algún tipo de deformación permanente (José Viñas, 2016). Esto a su vez puede ser provocado, por ciertas características que pueden tener los lugares en donde se encuentren ubicados los pavimentos, ya sea, exceso de tráfico vehicular, construcciones de hormigón, escases de áreas verdes, tipo de ligante asfáltico seleccionado, entre otras.

El fenómeno de las islas de calor urbanas ICU, produce que las áreas céntricas urbanas, experimenten una temperatura más elevada que sus áreas urbanas circundantes, y se considera como un factor crítico que contribuye al calentamiento global, mortalidad relacionada con el calor, y los cambios climáticos impredecibles (Deilami & Liu, 2018).

Sin embargo, la urbanización cada vez más intensiva ha llevado al aumento constante de la temperatura de la superficie, sin duda lo que resulta en la alteración de los recursos urbanos y el flujo de energía (Yang, Qian, Song, & Zheng, 2016).

Muchos tipos de pavimento tradicionales son conocidos por ser contribuidores al efecto ICU debido a sus grandes superficies y absorción de calor a granel (Kevern, Haselbach, & Schaefer, 2012).

Del mismo modo las características atmosféricas de una región también determinan la intensidad de la ICU y áreas con condiciones climáticas estables tienden a ser más propensas. Varios factores independientemente de la atmósfera local contribuyen a la intensidad de la isla de calor como son las propiedades geométricas del sitio, propiedades termo físicas de las superficies, los materiales de las construcciones y las actividades antropogénicas (Oke, 1982).

#### **ALBEDO**

Se define como la proporción existente entre la energía luminosa que incide en una superficie y la que se refleja (RAE, 2019).

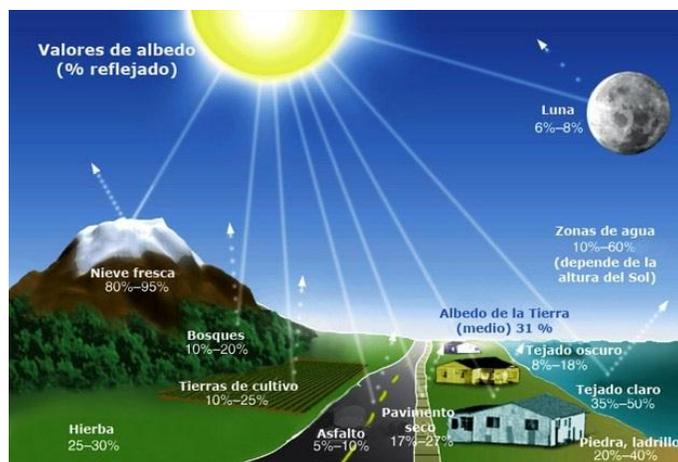


Figura 1. Albedo de diferentes superficies (Fuente: La alerta verde)

Mientras más superficie del pavimento flexible expuesta, la cantidad de albedo reflejada es menor, un factor muy importante a tener en cuenta es el color que tiene la superficie sobre la que incide la energía luminosa de los rayos solares, ya que esto influye directamente a la cantidad reflejada. Debido a que el asfalto posee un color oscuro el reflejo de la energía luminosa por los rayos solares va a ser mucho menor que un color más claro.

Muchos materiales de construcción contribuyen a que el porcentaje de albedo absorbido en la superficie sea mayor, por lo general, en las zonas céntricas de las grandes ciudades se genera una mayor cantidad de absorción a diferencia de su entorno, formando así las denominadas Islas de calor urbanas ICU.

En los pavimentos flexibles la cantidad de albedo varía entre 0.05 en asfaltos frescos y 0.12 en asfaltos gastados, lo que nos incentiva a proponer materiales que ayuden a incrementar estos valores, las cuales podrían ser el incremento de la reflectancia de los revestimientos asfálticos produciendo así mezclas asfálticas coloreadas mediante el uso de pigmentos.

### REOLOGIA DEL ASFALTO

El deterioro prematuro de los pavimentos de la ciudad está relacionado directamente por el comportamiento Reológico del Asfalto respecto a fallas de deformación permanente.

La Reología se define como el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos, en resumen, se puede decir que la reología se encarga de estudiar la viscosidad, la plasticidad y la elasticidad de los fluidos.

El asfalto se clasifica como material viscoelástico, porque exhibe características viscosas y elásticas simultáneamente, es decir que es un material de comportamiento intermedio entre el sólido de Hooke (elástico) y el líquido de Newton (viscoso). A temperaturas elevadas ( $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el cemento asfáltico se comporta como un fluido viscoso (muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores), mientras que a bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se comporta casi como un sólido elástico (como una banda de goma). Cuando se aplica una carga, el ligante se estira o comprime adoptando diferentes formas, cuando se retira la carga, retorna a su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista para el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de fluido viscoso y sólido elástico (Asphalt Institute, 1995).

Una propiedad característica del asfalto, cuando baja la acción de una fuerza aplicada y esta cesa de actuar, la deformación del material no vuelve a cero. El efecto de la velocidad de deformación en función del tiempo, en un material viscoelástico, al tener aplicada una fuerza durante cierto tiempo y después deja de actuar se muestra en la Figura 2 (Yarango Serrano, 2014)

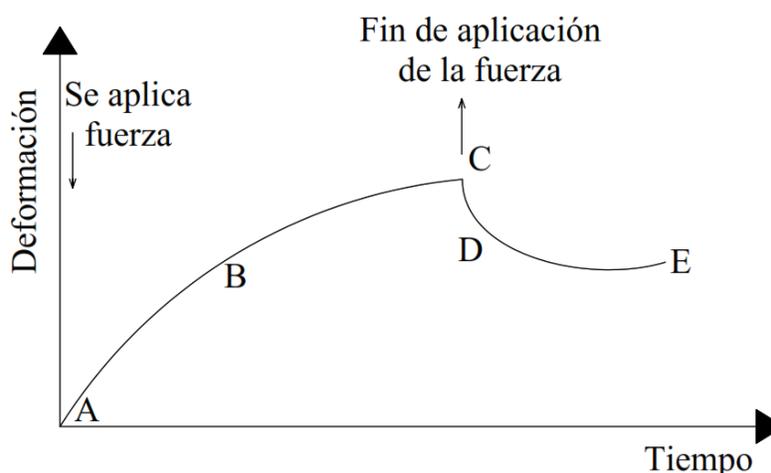


Figura 2. Relación entre deformación y tiempo para un material viscoelástico (Fuente: Fuente: Manual de pavimentos, Néstor Huamán G.)

En donde al aplicar una carga, el material sigue una trayectoria AB que es muy corta y elástica, seguida de una deformación más retardada, como la curva BC. Al dejar de actuar la carga, se produce una recuperación elástica como CD, seguida de una recuperación retardada DE, y el material nunca recupera su longitud inicial, quedando con una deformación permanente (Yarango Serrano, 2014)

#### AGRIETAMIENTO POR TEMPERATURA

Las fisuras producidas en el pavimento por causa de la temperatura se pueden deber a la combinación o el resultado de las siguientes causas: procesos de contracción por temperaturas bajas, ciclos de expansión y contracción ante cambios de temperatura a lo largo del día y endurecimiento del material por envejecimiento.

Cuando las fisuras se producen por ciclo de expansión y contracción por variaciones cíclicas de temperatura, se conocen como fisuras térmicas. El agrietamiento por temperatura se manifiesta con fisuras transversales al eje de la vía, que con el tiempo evolucionan a fisuras en bloque como se muestra en la Figura 3 (Antonio José Segovia Nájera, 2014).



Figura 3. Ejemplo de agrietamiento por temperatura (Fuente: ASTM.org)

El paso de los vehículos, combinada con los cambios de temperatura provocan esfuerzos de tensión, compresión y doblado de las capas de pavimento (Di Benedetto & Olard, 2009).

Entre los criterios de desempeño estructural, se cuentan las principales fallas que afectan la capacidad de soportar cargas de tráfico y ponen en riesgo la seguridad del usuario: agrietamiento por fatiga y roderas en el pavimento. Por otro lado, el desempeño funcional toma en cuenta el confort de los usuarios al circular por la superficie del pavimento siendo su indicador la rugosidad del mismo.

La configuración de ejes, la carga sobre los mismos, la condición del rodaje (aceleración, frenado, rodamiento libre), estructura de la llanta, textura y rugosidad de la superficie, influyen directamente en el esfuerzo transmitido al pavimento (Wang & Al-Qadi, 2010).

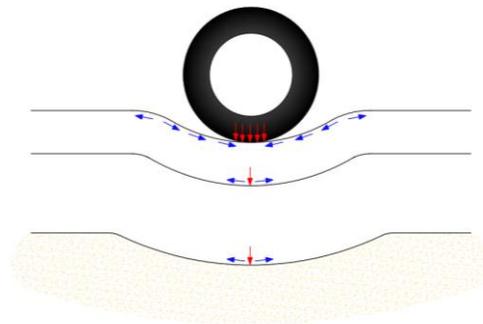


Figura 4. Representación de la respuesta mecánica del pavimento con carga de rueda (Fuente: Segovia, 2014)

La rugosidad a su vez, tendrá una relación directa con las fallas estructurales y con otros eventos como el agrietamiento por temperatura (ARA & ERES Consultants Division, 2004).

### **HUMEDAD**

Adicionalmente la intrusión de humedad en el pavimento genera su debilitamiento, provocando la creación de roderas (rutting), esta deformación se produce en las capas superiores, así como la subrasante.



Figura 5. Huella en el pavimento (Fuente: Luis Cobo)

El fenómeno de daño por humedad provoca una disminución de la resistencia de las mezclas asfálticas, lo cual puede llevar al fallo del material, reduciendo así su vida de servicio. Para que exista daño por humedad, el agua debe llegar hasta el interior de la mezcla (López-montero & Miró, 2017).

En mezclas asfálticas este mecanismo de daño se refiere a la disminución de su resistencia mecánica y durabilidad debida principalmente a la pérdida de adherencia y cohesión por presencia de agua (Behiry, 2013).

Este mecanismo de daño incide en la generación de otros modos de deterioro de mezclas asfálticas en servicio como son el agrietamiento por fatiga, agrietamientos tipo TDC (Top Down Cracking asociados a fenómenos térmicos, envejecimiento del ligante asfáltico, entre otros) y roderas (Rondón Quintana, Ruge Cárdenas, & Moreno Anselmi, 2016).

El daño por humedad es influenciado directamente por la edad del pavimento, por tal razón, el uso de ligantes más viscosos, ayuda al pavimento a obtener una mayor resistencia al daño por humedad, de la misma manera la cal aporta una resistencia al daño por humedad, aunque a su vez este afecta su desempeño a la fatiga por el resultado de un incremento de rigidez del material.

El daño por humedad de mezclas en servicio ocurre algunas veces debido a que en ocasiones prevalece el criterio de disminuir el contenido de asfalto en la mezcla para contrarrestar el fenómeno de roderas en el pavimento. Algunos autores concluyen que, entre mayor sea el espesor de la película de asfalto adherida al agregado pétreo, mayor será la resistencia al daño por humedad (Rondón Quintana et al., 2016).

En síntesis, el daño por humedad debe ser acoplado a modelos en donde se tenga en cuenta la influencia del agua junto con otros elementos que conforman el medio ambiente como son el aire, la temperatura, los rayos ultravioletas, entre otros, para así poder evaluar la influencia de cada uno de ellos (desde el punto de vista mecánico y químico), de manera separada sobre el ligante y las mezclas (H.A. Rondón y F.A. Reyes, 2015).

Tradicionalmente se considera al asfalto como un material impermeable, cuya reacción ante agentes externos no es significativa. No obstante, como es conocido, el agua presenta elementos como oxígeno y compuestos que pueden originar cambios en las propiedades químicas y físicas del asfalto a largo plazo, principalmente cuando la interface ligante pétreo es delgada como ocurre en mezclas asfálticas (Rondón Quintana et al., 2016)

### **CONDICIONES AMBIENTALES**

Las condiciones ambientales son otro de los factores que influyen en el daño producido a una mezcla en particular. Los mayores daños por humedad ocurren típicamente en las zonas donde hay una considerable cantidad de lluvia y/o nieve. Los ciclos de hielo-deshielo, los ciclos de humedad-sequedad, así como el pH del agua, son algunos de los factores ambientales que provocan daños

en las mezclas asfálticas. Así, por ejemplo, los ciclos de hielo-deshielo producen que el agua que se encuentra dentro de los huecos aumente su volumen, apareciendo daños en la mezcla al producirse la descongelación. Los ciclos de humedad-sequedad dictan las fluctuaciones en la capa freática por debajo del firme. En cuanto al pH del agua, cuanto mayor es éste, más susceptibles son las mezclas bituminosas al agua (López-montero & Miró, 2017)

### **DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

A mediados de la década de 1980, la gestión del pavimento se estaba convirtiendo en una herramienta muy valiosa. Se necesitaban mejoras en los modelos de pavimento, y faltaban estándares para recopilar datos que generen un rendimiento de calidad en el pavimento. Debido a esto surgió la necesidad de que asociaciones de carreteras de los Estados Unidos, pidieran un enfoque nacional a gran escala para aprender la mejor manera de diseñar, construir y mantener una infraestructura vial de larga duración. Los gerentes e ingenieros de carreteras en ese momento estaban convencidos de que la oportunidad de hacer grandes mejoras en la comprensión del desempeño del pavimento era una inversión fiscal prudente. En los Estados Unidos, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y la Asociación Americana de Funcionarios estatales de vías y transporte (AASHTO) apoyaron firmemente la iniciativa, y Canadá se unió a las fases de planificación e implementación del programa, con representación en el Grupo de Trabajo de la SHRP (Strategic Highway Research Program) y en cada uno de sus siete comités consultivos de área técnica (Mathison, 2013)

Después de años de preparación, el programa LTPP (Long Term Pavement Performancees) comenzó oficialmente como parte del Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) de 5 años autorizado por el Congreso en 1987. Su propósito era simple: recopilar datos de alta calidad necesarios para comprender el rendimiento del pavimento y las variables que lo afectan y

poner los datos a disposición para la investigación y el desarrollo de productos de alto valor en el futuro (Mathison, 2013).

El programa LTPP es un esfuerzo continuo para recopilar y entender información sobre cómo y por qué los caminos se comportan como lo hacen. El programa consiste en experimentos que fueron cuidadosamente diseñados para responder a preguntas específicas sobre cómo ciertas variables: diseño de pavimento, construcción y materiales; prácticas de mantenimiento y rehabilitación; carga de tráfico; y el clima: afectan el rendimiento del pavimento con el tiempo. Las pruebas de pavimento se establecen en todo Estados Unidos y Canadá con la cooperación y el apoyo de las agencias de carreteras estatales y provinciales (Mathison, 2013).

Los beneficios económicos obtenidos del programa LTPP son un mejor diseño, construcción, monitoreo y gestión de los caminos de la nación, con una ventaja prevista de la supervisión del desempeño del pavimento a largo plazo. De esta manera, se reconoció que, si se mejoraba la comprensión de cómo el diseño del pavimento, el material, las técnicas de construcción, las prácticas de mantenimiento, las cargas de tráfico y el clima afectaban el ciclo de vida de los caminos, esto conduciría a tener pavimentos más duraderos con un uso más eficiente de los fondos públicos (Mathison, 2013).

En nuestro país no se considera la temperatura del clima como un factor importante para el diseño de ligante, esto provoca que no tengamos una certeza real del tiempo de vida de servicio de los pavimentos, por lo cual, es de suma importancia, tomar acción para la actualización de las normas ecuatorianas en vías.

Por tal razón esta investigación toma como principal función usar el método SUPERPAVE por medio de algoritmo LTPP que nos da la AASHTO M320, el cual es un algoritmo que transforma la temperatura estimada del aire en temperaturas que alcanza la superficie del pavimento, el cual

en base a ciertos parámetros de longitud y altura nos permitirá obtener el grado de desempeño PG adecuado. (Morales, Sandino, Villegas-villegas, Cruz-bolivia, & Paz-bolivia, n.d.)

Estos algoritmos se crearon estimando las siguientes condiciones reales realizadas con modelos para flujo de calor neto y balance de energía, y asumiendo valores típicos para transmisión de radiación a través del aire (0.81), radiación atmosférica (0.70) y velocidad del viento (4.5 m/seg) para el uso adecuado de estas ecuaciones estos parámetros no deben ser superiores, caso contrario se deberá utilizar el software LTPP.

El grado de desempeño PG determina el rango de temperaturas entre las cuales el ligante asfáltico tendrá un rendimiento óptimo, es decir alcanzará su periodo de vida útil en las condiciones de serviciabilidad y desgaste o envejecimiento esperados para los cuales fueron diseñados (Morales et al., n.d.).

Para definir el grado de desempeño PG utilizaremos la siguiente notación PG XX -YY, en donde, XX es la temperatura máxima de desempeño y -YY es la temperatura mínima de desempeño y se usara la siguiente tabla ver Figura 6.

PG XX	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
- YY	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
PG XX	PG 70						PG 76				PG 82										
- YY	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34					

Figura 6. Grados de desempeño para ligantes, según AASHTO M 320 (Fuente: Segovia, 2014)

Las temperaturas altas se establecen a una profundidad de 20 mm de la superficie del pavimento y las temperaturas bajas representan el promedio de las temperaturas mínimas como se muestra en la Figura 7.

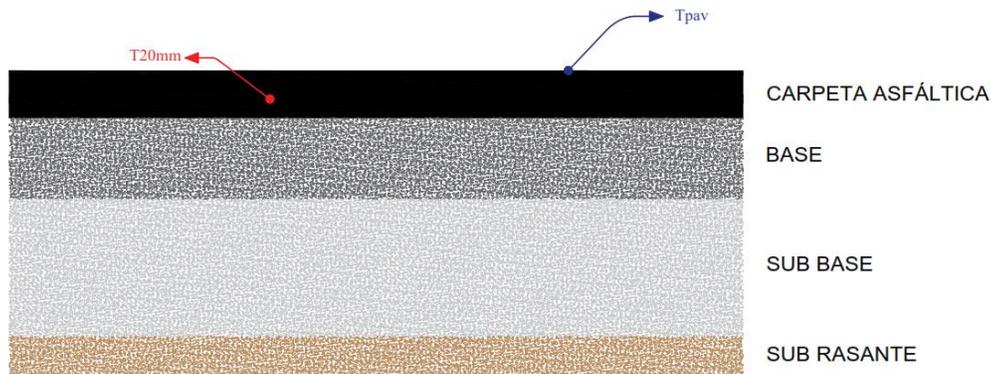


Figura 7. Ubicación de los puntos de medición de la temperatura alta y baja en el pavimento (Fuente: Luis Cobo)

## METODOLOGÍA

El proceso a seguir para el desarrollo de la investigación se presenta a continuación con ayuda de un esquema gráfico ver Figura 8, en el que se detalla de manera general los pasos de la misma:



Figura 8. Esquema de metodología de investigación (Fuente: Luis Cobo)

Las características del pavimento frente a los rayos solares, hacen que sean absorbidos y almacenados para luego ser liberados cuando la temperatura ambiente disminuye, es decir, a la

puesta del sol, esto causa una distorsión en la temperatura de las áreas urbanas con relación a las temperaturas en las áreas rurales, por lo cual es necesario poder comparar estos dos aspectos.

La delimitación de zonas y ubicaciones para la obtención de datos, se las identifico tomando en cuenta tres principales criterios, el tránsito, ubicación y propiedades físicas del pavimento (pavimento fresco, antiguo o dañado), con las cuales se mapeo las calles de la ciudad de Riobamba, separándolas en dos zonas. La primera zona en la parte céntrica de la ciudad con 6 puntos de medición y la segunda zona en la parte circundante de la ciudad con 4 puntos, con el fin de poder determinar una diferencia entre ambas.

La primera zona está conformada por: Mercado San Alfonso (Junín entre Tarqui y 5 de Junio), La Estación (Av. Daniel León Borja y Carabobo), Giralda Plaza (Av. Daniel León Borja y Francia), Parque Infantil (Av. Daniel León Borja y Av. Carlos Zambrano), Mercado Santa Rosa (Vicente Rocafuerte entre Gaspar de Villaroel y Chile), Mercado La Condamine (Carabobo y Colombia).



Figura 9. Mapeo de puntos de medición de la zona céntricos de la ciudad de Riobamba (Fuente: Google Earth)

La segunda zona está conformada por: Mercado Mayorista (Av. Leopoldo Freire entre Bucarest y Luxemburgo), Politécnica (Av. Canónigo Ramos y Av. 11 de Noviembre), Universidad Nacional de Chimborazo (Avda. Antonio José de Sucre, Km 1.5 Vía a Guano, campus Édison Riera), Yaruquies (Av. Atahualpa y Av. 9 de Octubre)



Figura 10. Mapeo de puntos de medición de zona circundante de la ciudad de Riobamba (Fuente: Google Earth)

El desarrollo del instrumento de medición, se realizó mediante la creación de una macro de Excel vinculada a un software, el cual utiliza un sensor de temperatura y humedad de contacto, instalado sobre un Arduino programado para que las lecturas se reflejen por cada segundo medido y graficado a tiempo real.



Figura 11 Instrumento para medición de temperatura (Fuente: Luis Cobo)

El sensor se colocó sobre la superficie del pavimento flexible dentro de una caja de madera para lograr evitar la exposición directa de los rayos solares y que así no se altere de alguna manera los datos medidos.

Las mediciones se las realizaron en verano durante 10 minutos por punto, tomando así cuatro datos de la siguiente manera:

Primer dato: a las 07H00, por ser las primeras horas del día y por la influencia que pueda llegar a tener el tráfico al ser una hora pico.

Segundo dato: al mediodía 12H00, por motivo de tener el sol en el punto más alto provocando que los rayos solares caigan verticalmente.

Tercer dato: a las 18H00, por ser las últimas horas de la tarde para saber cuánta temperatura absorbida tiene el pavimento.

Cuarto dato: en las primeras horas del día siguiente 07H00

Los datos tomados fueron de lunes a viernes sin tomar en cuenta sábado y domingo.

Cubriendo así las 24 horas del día, esto se realizó 3 veces repetidas por punto de medición, obteniendo así una cantidad significativa de datos en donde se determinó el valor medio y la

desviación estándar por cada hora y zona de medición, además se identificó la variación de temperatura durante cierto tiempo.

Obtenido la variación de temperatura por hora, se procede a analizar las consecuencias que produce esto en el pavimento flexible y su impacto en la formación de islas de calor urbanas. Así también como la relación que tienen entre las medidas en la parte céntrica de la ciudad y la parte circundante.

Posteriormente, con la base de datos obtenido, se determina el rango de temperatura a los que va a estar sometido el pavimento y así obtener el PG XX-YY requerido de la ciudad de Riobamba, mediante el método de SUPERPAVE con el modelo LTPP, el cual determina el grado de desempeño del ligante asfáltico.

#### FORMULAS APLICADAS

Para obtener la temperatura alta ( $T_{20mm}$ ) de diseño a una profundidad de 20 mm y la temperatura baja ( $T_{pav}$ ) del ligante bajo la superficie, fueron las siguientes:

Para el cálculo de la temperatura alta de diseño a una profundidad de 20 mm:

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0.00618 * Lat^2 + 0.2289 * Lat + 42.2)(0.9545) - 17.78 \quad (1)$$

Donde:

$T_{20mm}$  = temperatura alta de diseño a una profundidad de 20 mm, (°C)

$T_{air}$  = temperatura máxima promedio, (°C)

$Lat$  = latitud geográfica del proyecto (grados decimales)

Para el cálculo de la temperatura baja del ligante bajo la superficie:

$$T_{pav} = -1.56 + 0.72 * T_{air} - 0.004 * Lat^2 + 6.26 * \log_{10}(H + 25) - z(4.4 + 0.52 * \sigma_{air})^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

$T_{pav}$  = temperatura baja del ligante bajo la superficie, (°C)

$T_{air}$  = temperatura mínima promedio, (°C)

$Lat$  = latitud geográfica del proyecto (grados decimales)

$H$  = profundidad a la superficie (mm)

$z$  = valor de la distribución normal estándar

$\sigma_{aire}$  = desviación estándar de la temperatura media baja del aire, (°C)

Para la formula (2) el  $H$  tiene un valor de 20 mm.

Aplicado las fórmulas (1) y (2) obtenemos nuestro grado de desempeño PG XX -YY para la selección del ligante requerido en nuestra ciudad.

Con los valores conseguidos durante las mediciones diarias, se seleccioné los valores máximos y mínimos de la temperatura, para luego promediarlos y obtener así el valor promedio máximo y mínimo con el cual se calcula la temperatura alta de diseño a una profundidad de 20 mm y  $T_{pav}$ .

Se obtuvo 10 datos máximos y mínimos, como se muestra en la Figura 14.

Para el cálculo de la temperatura alta de diseño a una profundidad de 20 mm, se sacó el promedio, la desviación estándar y el valor de la latitud de la ciudad de Riobamba.

Para el cálculo de la temperatura baja del ligante bajo la superficie, se sacó el promedio, la desviación estándar, el valor de la latitud de la ciudad de Riobamba, la profundidad a la superficie de 20 mm, el valor de la distribución normal estándar y la desviación estándar de la temperatura media baja del aire.

## **RESULTADOS**

Para comprobar la existencia del fenómeno ICU, se trabajó con las temperaturas promedio de cada punto de medición de la ciudad como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1  
 Datos de Temperatura y Humedad de puntos medidos.

LUGAR	HORA	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		MEDIA		DESVIACIÓN ESTANDAR	
		T (C°)	H (%)	T (C°)	H (%)	T (C°)	H (%)	T (C°)	H (%)	T (C°)	H (%)
SAN ALFONSO	7:00:00 am	17.5	74.6	*	*	18.3	58.6	17.90	66.60	0.57	11.31
	12:00:00 m.	24.2	58.9	22.1	52.8	22.6	51.6	22.97	54.43	1.10	3.91
	18:00:00 pm	20.1	58	20.4	51	20.4	50.4	20.30	53.13	0.17	4.23
	7:00:00 am	16.5	70.9	16.2	56.1	16.9	61.2	16.53	62.73	0.35	7.52
CAMAL	7:00:00 am	17.29	59.44	12.8	54.66	18.02	71.31	16.04	61.80	2.83	8.57
	12:00:00 m.	32	36.67	23.63	41.92	28.12	51.17	27.92	43.25	4.19	7.34
	18:00:00 pm	20.64	52.3	20.05	48.92	23.77	52.76	21.49	51.33	2.00	2.10
	7:00:00 am	15.86	57.23	13.42	54.04	21.56	59.09	16.95	56.79	4.18	2.55
UNACH	7:00:00 am	14.72	60.95	17.15	58.85	17.44	63.24	16.44	61.01	1.49	2.20
	12:00:00 m.	37.82	34.64	38.48	27.77	36.98	33.53	37.76	31.98	0.75	3.69
	18:00:00 pm	20.57	50.74	22.67	43.54	21.93	50.92	21.72	48.40	1.07	4.21
	7:00:00 am	*	*	17.83	58.46	*	*	17.83	58.46	*	*
POLITECNICA	7:00:00 am	12.9	61.83	17.36	63.78	15.39	93.68	15.22	73.10	2.24	17.85
	12:00:00 m.	27.79	40.11	37.61	24.58	43.05	21.6	36.15	28.76	7.73	9.94
	18:00:00 pm	19.72	50.4	23.46	42.6	24.9	36.95	22.69	43.32	2.67	6.75
	7:00:00 am	*	*	*	*	18.29	51.56	18.29	51.56	*	*
CONDAMINE	7:00:00 am	14.4	60.96	16.13	74.08	18.19	61.23	16.24	65.42	1.90	7.50
	12:00:00 m.	30.95	37.1	25.58	43.66	46.57	26.2	34.37	35.65	10.90	8.82
	18:00:00 pm	19.66	59.97	22.75	49.04	26.86	40.82	23.09	49.94	3.61	9.61
	7:00:00 am	14.8	69.95	*	*	19.06	55.57	16.93	62.76	*	*
YARUQUÍES	7:00:00 am	19.02	67.81	19.53	55.32	19.91	57.78	19.49	60.30	0.45	6.62
	12:00:00 m.	43.76	26.72	45.92	26.57	41.28	19.99	43.65	24.43	2.32	3.84
	18:00:00 pm	26.06	43.75	*	*	24.03	41.78	25.05	42.77	1.44	1.39
	7:00:00 am	20.65	52.33	18.98	60.87	18.87	57.7	19.50	56.97	1.00	4.32
ESTACION	7:00:00 am	16.35	69.67	14.28	56.73	14.85	60.45	15.16	62.28	1.07	6.66
	12:00:00 m.	30.6	49.87	40.36	22.4	42.17	30.82	37.71	34.36	6.22	14.07
	18:00:00 pm	20.53	56.57	25.7	43.34	*	*	23.12	49.96	3.66	9.36
	7:00:00 am	*	*	16.32	49.97	16.5	57.62	16.41	53.80	0.13	5.41
GIRALDA	7:00:00 am	15.6	56.79	17.19	57.38	18.83	60.4	17.21	58.19	1.62	1.94
	12:00:00 m.	37.98	24.43	43.44	21.86	31.57	38.87	37.66	28.39	5.94	9.17
	18:00:00 pm	22.37	40.47	22.1	21.86	21.34	67.34	21.94	43.22	0.53	22.86
	7:00:00 am	18.11	54.57	17.83	60.14	17.07	66.81	17.67	60.51	0.54	6.13
INFANTIL	7:00:00 am	18.04	54.87	20.38	54.96	19.87	61.05	19.43	56.96	1.23	3.54
	12:00:00 m.	34.01	38.01	48.75	25.29	30.03	36.12	37.60	33.14	9.86	6.86
	18:00:00 pm	*	*	22.63	69.79	20.92	85.31	21.78	77.55	1.21	10.97
	7:00:00 am	*	*	17.73	51.56	17.3	66.49	17.52	59.03	0.30	10.56
SANTA ROSA	7:00:00 am	16.34	55.89	15.49	63.74	18.84	51.88	16.89	57.17	1.74	6.03
	12:00:00 m.	27.03	38.23	23.52	60.8	26.39	45.92	25.65	48.32	1.87	11.47
	18:00:00 pm	19.85	50.97	17.63	67.7	21.75	52.23	19.74	56.97	2.06	9.32
	7:00:00 am	17.1	61.1	16.09	67.9	16.77	75.22	16.65	68.07	0.52	7.06

\* LLUVIA

Datos obtenidos en campo (Fuente: Luis Cobo)

Los resultados reflejados en la Tabla 1, muestran que la temperatura máxima medida se encuentra al mediodía, lo que lleva a un incremento elevado de temperatura de más de 4°C por hora, desde las 7:00 de la mañana hasta las 12:00 del mediodía, esto representa que en tan solo 5 horas el pavimento sufre ciclos de expansión y contracción, siendo la zona de Yaruquíes la que sufre este mayor cambio con 4.83°C por hora. Al mismo tiempo se puede evidenciar, que hay días en que el pavimento, sufre un cambio más drástico de temperatura, como es en la zona del Parque Infantil en donde en tan solo 5 horas desde las 7:00 de la mañana hasta las 12:00 del mediodía, el pavimento tuvo una gradiente de temperatura de 5.67°C por hora.

Hay un factor importante, el cual podría influir a que exista un incremento tan brusco de temperatura, la cual se debe a una acumulación excesiva de cargas de tráfico la que produce cierta fatiga en el pavimento debido a los vehículos y generando fisuras y roderas en el pavimento.

La desviación estándar en algunos puntos es muy grande, esto se puede deber a ciertos factores en los que se encuentran expuestos los pavimentos en esos lugares, como el tráfico, la cantidad de estructuras de hormigón que los rodea y la nula presencia de áreas verdes.

Hay que recalcar que la mayor temperatura registrada fue a finales de verano, el cual afirma las consecuencias del cambio climático al no existir una disminución de temperatura, a puertas de la temporada de invierno lo cual generaría islas de calor en la ciudad.

Estos datos elevados al final de verano, fueron comparados con datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, del año 2019 como se muestra en la Figura 11, y con los datos desde julio hasta el mes de octubre ver Anexos 1 al 4, lo cual sustenta que en estas fechas exista un incremento de temperatura mayor.

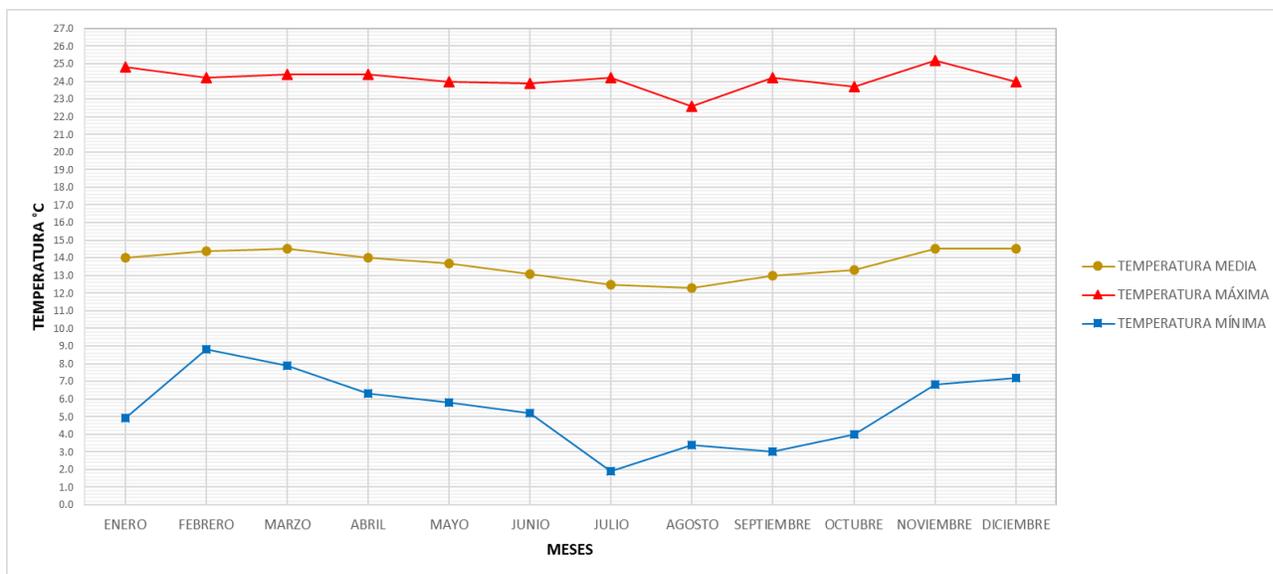


Figura 12. Datos tomados del Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019 (Fuente: INAMHI)

Los resultados obtenidos nos muestran, que a diferencia de lo que la mayoría de la bibliografía cita, de que en las partes céntricas de la ciudad se encontraría temperaturas más elevadas, no es verídicamente cierto, ya que en esta investigación se comprobó que sucede absolutamente todo lo contrario, como se observa en la Tabla 2, en donde obtuvimos temperaturas más elevadas en las partes periféricas de la ciudad, esto puede ser influenciado a que el TPDA de esos sectores es sumamente alto, por lo cual el incremento de la temperatura se debe a la fatiga que está sometido el pavimento por la acumulación de presión de carga por el tráfico, ocasionando fricción y generando calor sobre ella.

Tabla 2

*Resultados de temperatura y humedad en el pavimento en zonas centro y circundante de la ciudad.*

HORA	PROMEDIO			
	ZONA CENTRO		ZONA CIRCUNDANTE	
	Tair (C°)	H (%)	Tair (C°)	H (%)
7:00:00 <i>am</i>	17.14	61.10	16.79	64.05
12:00:00 <i>m.</i>	32.66	39.05	36.37	32.11
18:00:00 <i>pm</i>	21.66	55.13	22.74	46.45
7:00:00 <i>am</i>	16.95	61.15	18.14	55.94

Promedio de datos obtenidos en campo (Fuente: Luis Cobo)

En la Tabla 2. se muestra los resultados en relación a medidas tomadas en zonas céntricas de la ciudad, así como en las zonas circundantes de la ciudad, y se observa que no existe un aumento significativo de temperatura dentro de las zonas céntricas, obteniendo mayor temperatura en la zona circundante de la ciudad, véase Figura 12, por esta misma razón, en la zona centro de la ciudad podemos observar un mayor porcentaje de humedad como lo muestra la Figura 13.

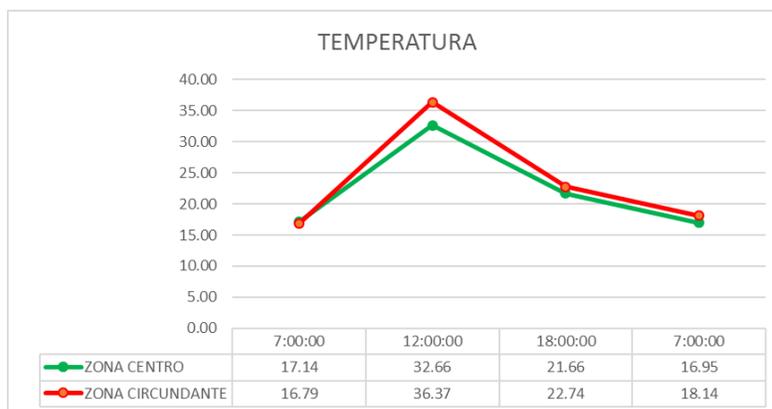


Figura 13. Comportamiento de temperatura en el pavimento (Fuente: Luis Cobo)

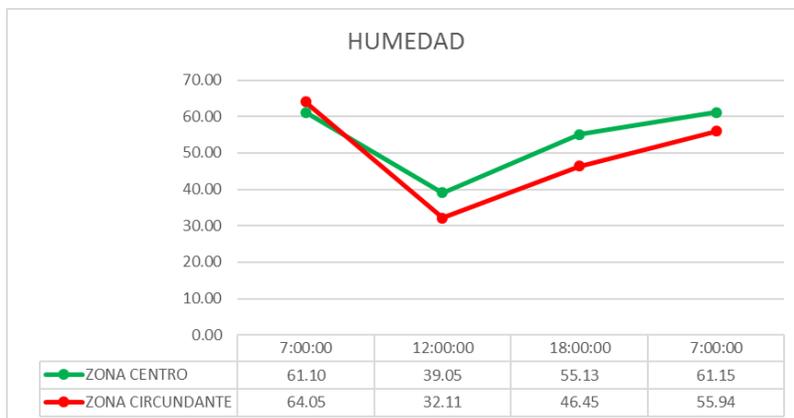


Figura 14. Comportamiento de humedad en el pavimento (Fuente: Luis Cobo).

Los datos tomados en los diferentes puntos de medición, arrojaron temperaturas máximas y mínimas las cuales se pueden observar en la Figura 14, con las cuales procedí a calcular el grado de desempeño requerido.

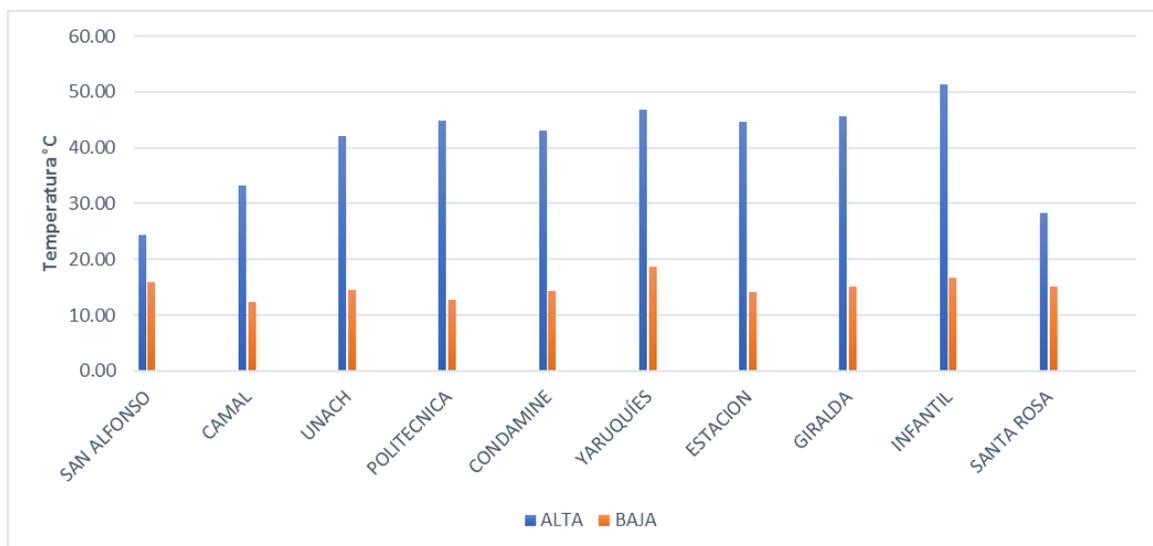


Figura 15. Temperaturas promedio máximas y mínimas (Fuente: Luis Cobo)

El cálculo realizado de las temperaturas de diseño  $T_{20mm}$ , se resumen en la Tabla 3, el cual nos da el valor PG XX.

Tabla 3  
Cálculo del grado PG XX para Riobamba

LUGAR	HORA	SEMANA			ALTA T (C°)	Promedio Max
		1 T (C°)	2 T (C°)	3 T (C°)		
SAN ALFONSO	7:00:00	am	17.6	*	18.8	20.28
	12:00:00	m.	24.4	22.3	22.9	
	18:00:00	pm	20.4	20.9	20.6	
	7:00:00	am	16.7	16.5	17	
CAMAL	7:00:00	am	17.5	13.9	18.5	24.55
	12:00:00	m.	33.3	24.2	29	
	18:00:00	pm	21	20.2	24.1	
	7:00:00	am	16.1	13.9	22.3	
UNACH	7:00:00	am	15.2	17.6	17.8	25.25
	12:00:00	m.	38.7	42.1	38.5	
	18:00:00	pm	20.8	23.1	22.2	
	7:00:00	am	*	18	*	
POLITECNICA	7:00:00	am	13.4	17.5	15.7	26.45
	12:00:00	m.	28.6	38.8	44.9	
	18:00:00	pm	20-30	23.6	25	
	7:00:00	am	*	*	18.4	
CONDAMINE	7:00:00	am	14.6	16.3	20.5	26.78
	12:00:00	m.	32.3	26.1	43.1	
	18:00:00	pm	20.4	23	24.4	
	7:00:00	am	14.8	*	19.1	
YARUQUÍES	7:00:00	am	19.3	19.8	20.5	28.68
	12:00:00	m.	44.6	46.9	43.1	
	18:00:00	pm	26.3	*	24.4	
	7:00:00	am	21	19.3	19.1	
ESTACION	7:00:00	am	16.4	15	15	26.03
	12:00:00	m.	32.9	41.9	44.7	
	18:00:00	pm	20.6	26	*	
	7:00:00	am	*	17	17	
GIRALDA	7:00:00	am	16	18	19.1	26.40
	12:00:00	m.	40.8	45.6	31.9	
	18:00:00	pm	22.6	22.5	21.6	
	7:00:00	am	18.3	18.2	17.1	
INFANTIL	7:00:00	am	18.4	20.6	20.8	28.23
	12:00:00	m.	40.7	51.3	30.4	
	18:00:00	pm	*	22.9	21.2	
	7:00:00	am	*	17.9	17.7	
SANTA ROSA	7:00:00	am	16.8	16.1	19.2	21.68
	12:00:00	m.	28.3	24.1	27.2	
	18:00:00	pm	20.5	18.1	21.9	
	7:00:00	am	17.3	16.2	17.3	
					Promedio	25.43
					Desv est	2.67
					Prom +/- 2 $\sigma$	30.76
					Latitud (°)	1.67
					<b>T20mm (°C)</b>	<b>52.21</b>

\* LLUVIA

Temperatura alta obtenida para escoger el grado de desempeño PG XX (Fuente: Luis Cobo)

El cálculo realizado de la temperatura del pavimento, se resumen en la Tabla 4, el cual nos da el valor PG -YY.

Tabla 4  
Cálculo del grado PG -YY para Riobamba

LUGAR	HORA	SEMANA			BAJA T (C°)	Promedio Min
		1 T (C°)	2 T (C°)	3 T (C°)		
SAN ALFONSO	7:00:00 am	17	*	17.5	17.00	18.60
	12:00:00 m.	23.8	21.4	21.9	21.40	
	18:00:00 pm	20	20.1	20.3	20.00	
	7:00:00 am	16.5	16	16.9	16.00	
CAMAL	7:00:00 am	17	12.3	17.2	12.30	17.00
	12:00:00 m.	29.8	22.6	25.9	22.60	
	18:00:00 pm	20.4	19.9	22.9	19.90	
	7:00:00 am	15.8	13.2	20.1	13.20	
UNACH	7:00:00 am	14.5	17.1	17.2	14.50	21.45
	12:00:00 m.	35.9	33.1	34.5	33.10	
	18:00:00 pm	20.5	22.4	21.5	20.50	
	7:00:00 am	*	17.7	*	17.70	
POLITECNICA	7:00:00 am	12.7	17.1	15	12.70	18.88
	12:00:00 m.	25.3	36	39.1	25.30	
	18:00:00 pm	19.4	23.3	24.8	19.40	
	7:00:00 am	*	*	18.1	18.10	
CONDAMINE	7:00:00 am	14.3	15.9	19.4	14.30	18.15
	12:00:00 m.	27.9	24.6	38.9	24.60	
	18:00:00 pm	18.9	22.4	23.7	18.90	
	7:00:00 am	14.8	*	18.6	14.80	
YARUQUÍES	7:00:00 am	18.9	19.4	19.4	18.90	25.03
	12:00:00 m.	40.7	41.5	38.9	38.90	
	18:00:00 pm	25.7	*	23.7	23.70	
	7:00:00 am	20.2	18.8	18.6	18.60	
ESTACION	7:00:00 am	16.3	14.1	14.7	14.10	19.38
	12:00:00 m.	27.3	38.8	35.8	27.30	
	18:00:00 pm	20.2	25.3	*	20.20	
	7:00:00 am	*	15.9	16.1	15.90	
GIRALDA	7:00:00 am	15.1	16.5	18.7	15.10	20.80
	12:00:00 m.	35.1	37.8	30	30.00	
	18:00:00 pm	22	22	21.1	21.10	
	7:00:00 am	18	17.6	17	17.00	
INFANTIL	7:00:00 am	17.6	20	18.8	17.60	20.78
	12:00:00 m.	28.5	42.5	29.6	28.50	
	18:00:00 pm	*	22.5	20.4	20.40	
	7:00:00 am	*	17.5	16.6	16.60	
SANTA ROSA	7:00:00 am	16.2	15.1	18.2	15.10	17.70
	12:00:00 m.	25.4	22.3	24.9	22.30	
	18:00:00 pm	19.4	17.4	21.6	17.40	
	7:00:00 am	17	16	16.4	16.00	
					Promedio	19.78
					Desv est	2.34
					Prom +/- 2 $\sigma$	15.09
					Latitud (°)	1.67
					Hpav (mm)	20.00
					z	-1.18
					$\sigma$ air	2.34
					<b>Tpav (°C)</b>	<b>16.83</b>

\* LLUVIA

Temperatura baja obtenida para escoger el grado de desempeño PG -YY (Fuente: Luis Cobo)

Nótese que se trabajó con las temperaturas promedio máximas y mínimas para el cálculo PG XX-YY.

De acuerdo a la Figura 6 y a los valores calculados, nuestro grado de desempeño estaría en un PG 52-22, pero en esta investigación opte por acoger un de PG 58-16, como se muestra en la Figura 15, por motivos de precaución y de brindar un mayor grado de confiabilidad.

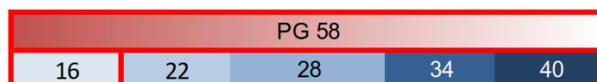


Figura 16. Grado de desempeño requerido en la ciudad de Riobamba (Segovia, 2014)

De acuerdo a las especificaciones del grado de desempeño escogido podemos guiarnos en estas especificaciones de la AASHTO para el asfalto, ver Tabla 5.

Tabla 5  
*Especificación del ligante por el grado de desempeño*

Performance Grade	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	>52							>58					>64					<70			
Minimum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	>-10	>16	>22	>28	>34	>40	>46	>16	>22	>28	>34	>40	>16	>22	>28	>34	>40	>10	>16	>22	>28
Original Binder																					
Flash Point Temp, T48: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D 4402: <sup>b</sup> Maximum, 3 Pa·s (3000 cP), Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: <sup>c</sup> G*/sin delta, Minimum, 1.00 kPa Test Temperature @ 10 rad/s, °C	52							58					64					70			
Rolling Thin Film Oven (T240) or Thin Oven (T179) Residue																					
Mass Loss, Maximum, %	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: G*/sin delta, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	52							58					64					70			
Pressure Aging Vessel Residue (PPI)																					
PAV Aging Temperature, °C <sup>d</sup>	90							100					100					100(110)			
Dynamic Shear, TP5: G*/sin delta, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Physical Hardening																					
Creep Stiffness, TP1: <sup>f</sup> S, Maximum, 300 MPa m-value, Minimum, 0.300 Test Temp, @ 60 sec, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	6	12	18	24	30	6	12	18	24	30	0	-6	-12	-18
Direct Tension, TP3: <sup>f</sup> Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	6	12	18	24	30	6	12	18	24	30	0	-6	-12	-18

Especificaciones según el grado de desempeño (Fuente: AASHTO Performance Graded Binder Specification (MP1))

## CONCLUSIONES

Luego de obtener y realizar el análisis pertinente de los datos, se ha demostrado un incremento de temperatura en las zonas en donde el pavimento flexible se encuentra presente, estos datos al ser comparados con datos oficiales del Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI han reflejado que los valores de temperatura del pavimento están muy por encima de los valores del INAMHI, obteniendo así datos de  $43.65^{\circ}\text{C}$  en la zona de Yaruquíes.

Las delimitaciones de las zonas y ubicaciones para obtener nuestra base de datos, se realizó con el objetivo de obtener una relación entre puntos céntricos y circundantes de la ciudad, y así demostrar si existe una diferencia significativa, que corrobore lo comúnmente dicho acerca de las islas de calor urbanas, que estas se encuentran por lo general presentes en la zona céntrica de una ciudad, siendo estas las más afectadas. En esta investigación ocurrió todo lo contrario, debido a que obtuvimos valores más altos en las zonas periféricas de la ciudad, esto puede atribuirse también a la gran carga vehicular que circulan por esos puntos durante todo el día, lo cual generaría un efecto de transferencia de energía térmica debido a la fricción constante generada por las llantas en los pavimentos.

Los instrumentos de medición usados, ayudaron a obtener una base amplia de datos, los cuales sirvieron para alcanzar resultados muy cercanos a la realidad.

Debido a las temperaturas que los pavimentos de nuestra ciudad poseen, se originan deformaciones permanentes, según tesis realizadas en Costa Rica el pavimento tiende a fallar cuando se encuentra con temperaturas mayores o igual a  $20^{\circ}\text{C}$ , por lo cual en nuestra investigación la temperatura media es de  $22.10^{\circ}\text{C}$  en la zona centro y  $23.51^{\circ}\text{C}$  en las zonas periféricas.

Los resultados obtenidos nos indican que la temperatura máxima medida se encuentra al mediodía, lo que lleva a un incremento elevado de temperatura de más de  $4^{\circ}\text{C}$  por hora, desde las

7:00 de la mañana hasta las 12:00 del mediodía, esto representa que en tan solo 5 horas el pavimento sufre ciclos de expansión y contracción, siendo la zona de Yaruquíes la que sufre este mayor cambio con  $4.83^{\circ}\text{C}$  por hora.

Con las medidas tomadas, se pudo evidenciar que hay días en que el pavimento sufre un cambio más drástico de temperatura, como es en la zona del Parque Infantil en donde en tan solo 5 horas desde las 7:00 de la mañana hasta las 12:00 del mediodía, el pavimento tuvo una gradiente de temperatura de  $5.67^{\circ}\text{C}$  por hora.

Los cálculos realizados indican un grado de desempeño PG 52-22 para los asfaltos en la ciudad de Riobamba, por razones de precaución y de brindar un mayor grado de confiabilidad, se optó por usar un grado de desempeño PG 58-16.

### **RECOMENDACIONES**

El incremento adecuado de espacios verdes, alrededor de las zonas en los que, el pavimento tenga una gran superficie, debe ser tomado en cuenta para lograr mitigar el efecto de islas de calor urbano ICU y así inducir a un micro clima que provoque una sensación más agradable para las personas que habitan y circulan por esos lugares.

Es necesario realizar estudios más a fondo a cerca de nuevos materiales que ayuden a aumentar la cantidad de reflectancia del albedo retenido en los pavimentos, ya sea por la utilización de mezclas asfálticas coloreadas mediante el uso de pigmentos que incrementen la reflectancia de los revestimientos asfálticos.

El no tener temperaturas inferiores a bajo cero dentro de la ciudad de Riobamba, no limita a un estudio posterior, en donde se pueda estudiar las vías dentro de nuestra provincia, con características en las que el pavimento pueda disminuir su temperatura bajo cero, como lo sería el sector del Arenal vía a Guaranda.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.E. Behiry. “Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures”.  
*Ain Shams Engineering Journal. Vol. 4 N° 3, pp. 351-363. 2013.*
- Antonio José Segovia Nájera. (2014). MAGÍSTER EN INGENIERÍA VIAL Predicción de las deformaciones plásticas permanentes de mezclas asfálticas en caliente , correlacionando determinaciones de rigidez del ligante y ensayos dinámicos de carga . POSTULANTE : Antonio José Segovia Nájera DIRECTOR : *PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, FACULTAD INGENIERÍA.*
- Correa, E., De Rosa, C., & Lesino, G. (2006). Isla de calor urbana. Distribución espacio-temporal de temperaturas dentro del Área Metropolitana de Mendoza. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, 10*, 11-121-11–128.
- Deilami, K., & Liu, Y. (2018). Int J Appl Earth Obs Geoinformation Urban heat island effect : A systematic review of spatio-temporal factors , data , methods , and mitigation measures. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation, 67*(December 2017), 30–42.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
- Kevern, J. T., Haselbach, L., & Schaefer, V. R. (2012). *Hot Weather Comparative Heat Balances in Pervious Concrete and Impervious Concrete Pavement Systems. 7*, 231–237.
- Li, H., Zhou, Y., Wang, X., Zhou, X., Zhang, H., & Sodoudi, S. (2019). Quantifying urban heat island intensity and its physical mechanism using WRF/UCM. *Science of The Total Environment, 650*, 3110–3119. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.025>
- López-montero, T., & Miró, R. (2017). *El daño por humedad en las mezclas asfálticas.*
- Mathison, S. (2013). Performance Program. *Encyclopedia of Evaluation.*  
<https://doi.org/10.4135/9781412950558.n409>

Morales, A. R., Sandino, J. S., Villegas-villegas, R. E., Cruz-bolivia, S., & Paz-bolivia, L. (n.d.).

*Determinación del ligante asfáltico óptimo de acuerdo a su grado de desempeño para la zonas climática de los valles y llanos en bolivia.* 1428–1440.

Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. Á. (2016). Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24(4), 558–569.

<https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000400003>

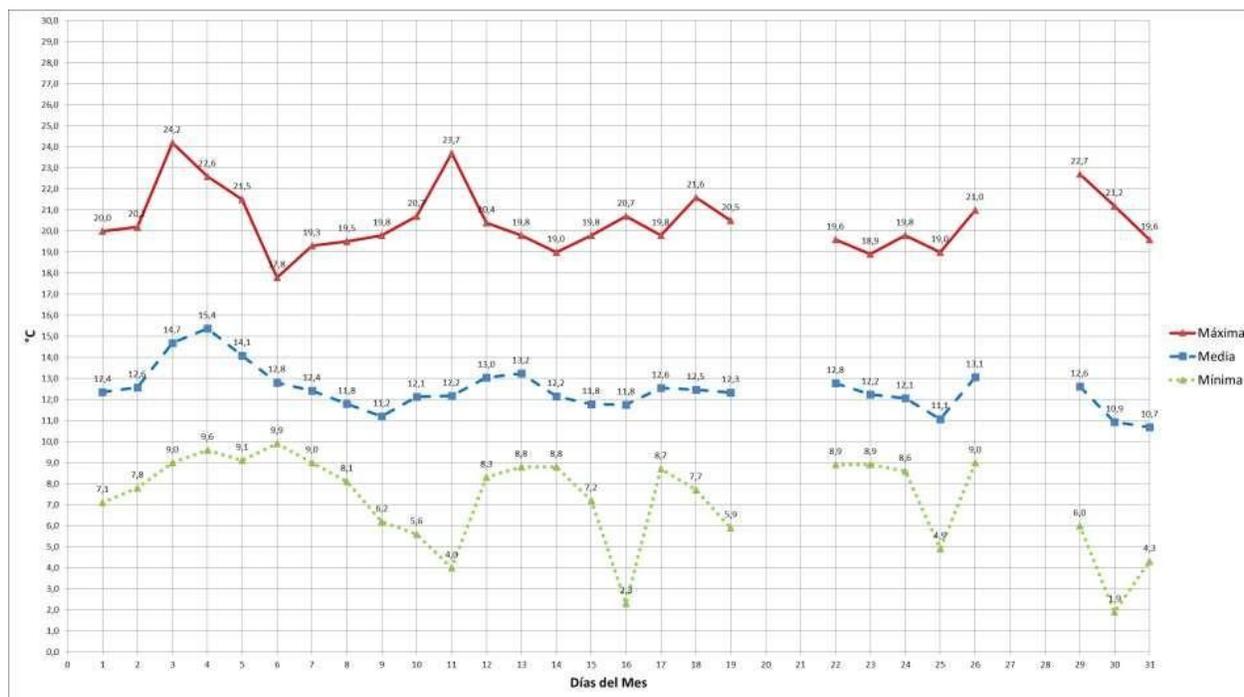
Yang, L., Qian, F., Song, D. X., & Zheng, K. J. (2016). Research on Urban Heat-Island Effect.

*Procedia Engineering*, 169, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002>

Yarango Serrano, E. M. (2014). “*Rehabilitación De La Carretera De Acceso a La Sociedad*

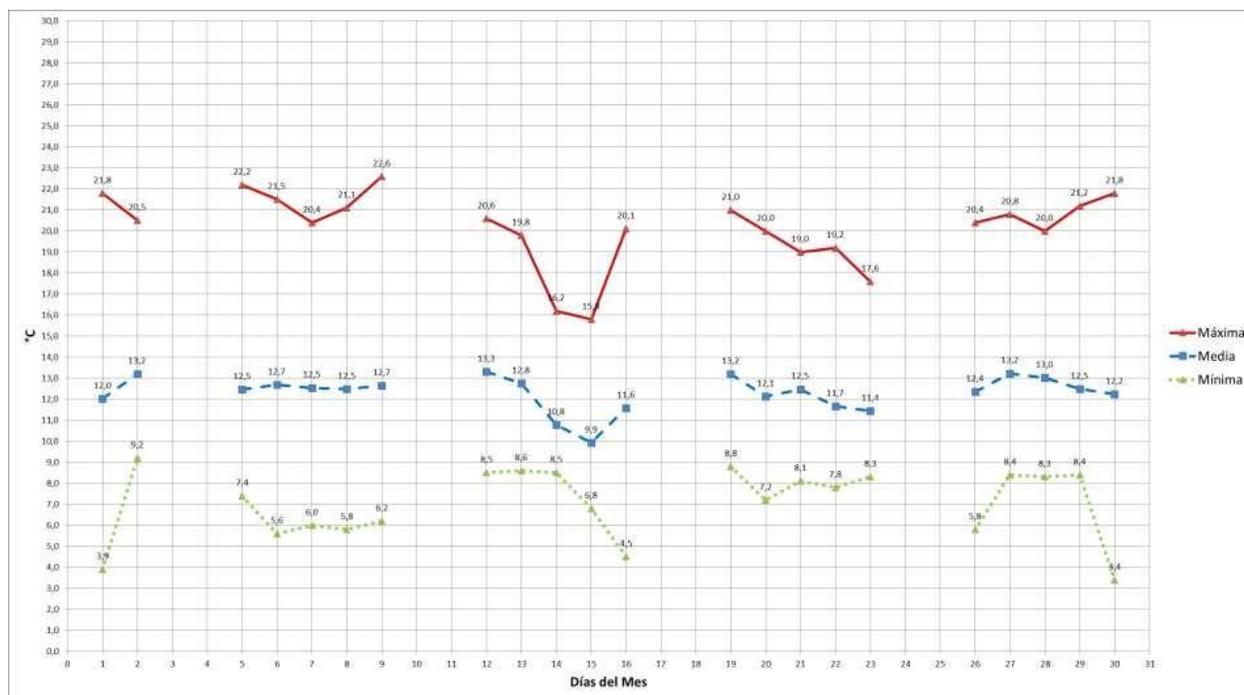
*Minera Cerro Verde (S.M.C.V) Desde La Prog. Km 0+000 Hasta El Km 1+900, En El Distrito De Uchumayo, Arequipa, Arequipa. Empleando El Sistema Bitufor Para Reducir La Reflexión De Grietas Y Prolongar L. 2–243.*

### ANEXOS



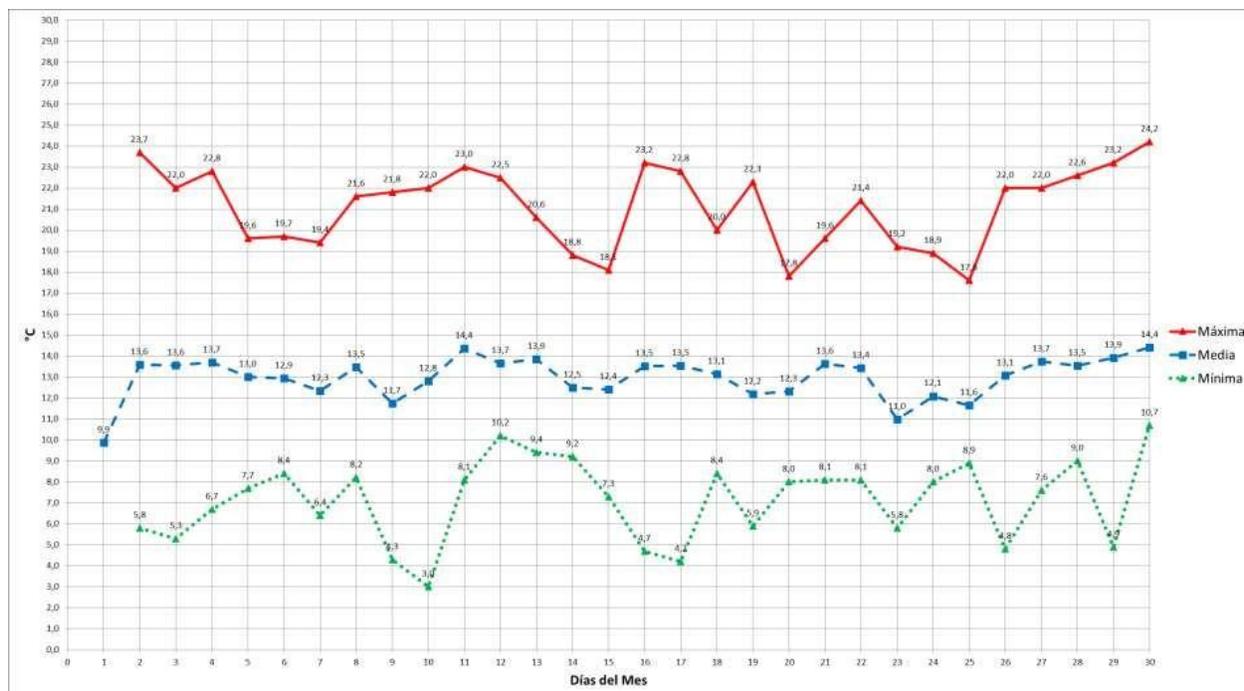
Anexo 1. Temperatura de Riobamba del mes de Julio INAMHI

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019



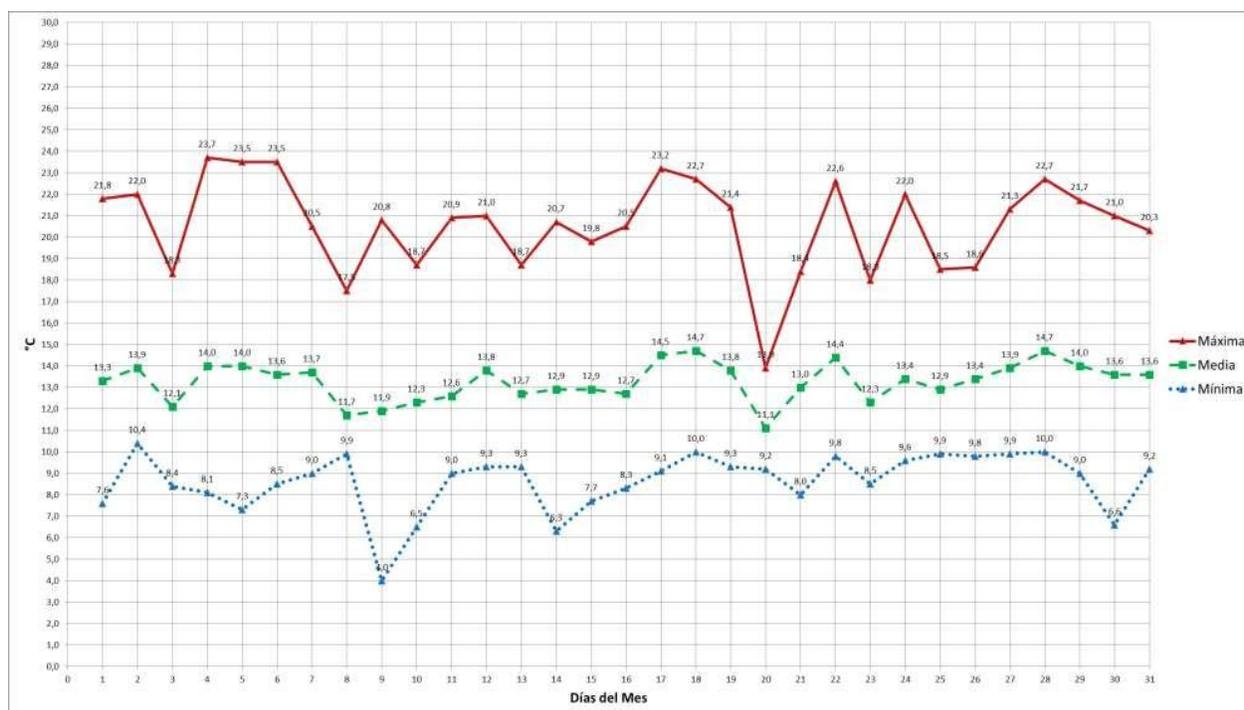
Anexo 2. Temperatura de Riobamba del mes de Agosto INAMHI

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019



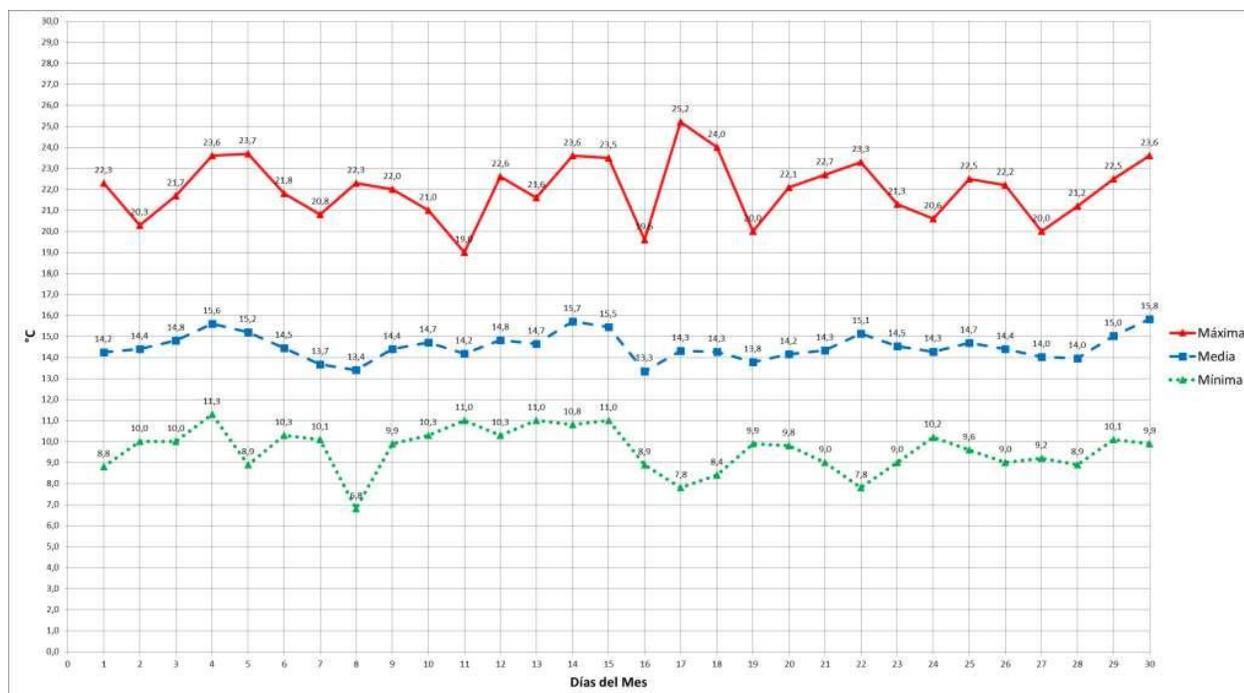
Anexo 3. Temperatura de Riobamba del mes de Septiembre, INAMHI.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019



Anexo 4. Temperatura de Riobamba del mes de Octubre, INAMHI.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019



**Anexo 5. Temperatura de Riobamba del mes de Noviembre, INAMHI.**

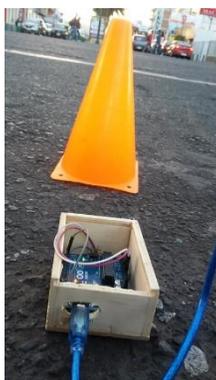
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología INAMHI, 2019



**Anexo 6. Datos tomados a las 07h00 en el Giralda Plaza.**



**Anexo 7. Datos tomados a las 12h00 en el Giralda Plaza.**



**Anexo 8. Datos tomados a las 18h00 en el Giralda Plaza.**



**Anexo 9. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Girald Plaza.**



**Anexo 10. Datos tomados a las 07h00 en el Mercado San Alfonso.**



**Anexo 11. Datos tomados a las 12h00 en el Mercado San Alfonso.**



**Anexo 12. Datos tomado a las 18h00 en el Mercado San Alfonso.**



**Anexo 13. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Mercado San Alfonso.**



**Anexo 14. Datos tomados a las 07h00 en la Estación.**



**Anexo 15. Datos tomados a las 12h00 en la Estación.**



**Anexo 16. Datos tomados a las 18h00 en la Estación.**



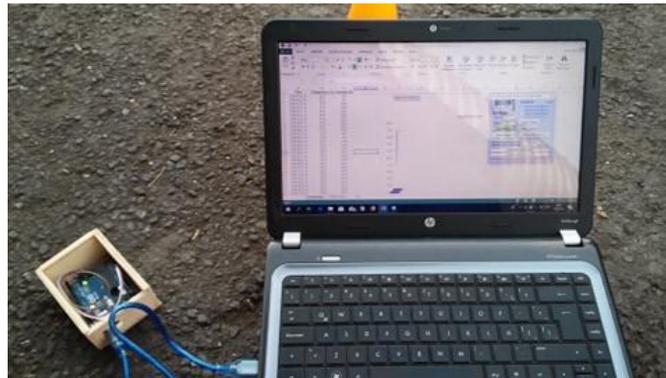
**Anexo 17. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en la Estación.**



**Anexo 18. Datos tomados a las 07h00 en el Mercado de Santa Rosa.**



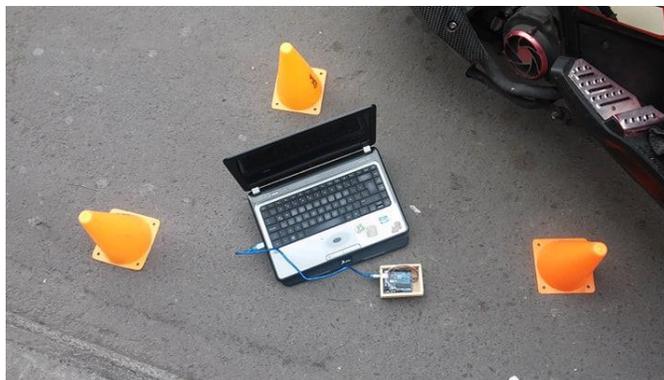
**Anexo 19. Datos tomados a las 12h00 en el Mercado de Santa Rosa.**



**Anexo 20. Datos tomados a las 18h00 en el Mercado de Santa Rosa.**



**Anexo 21. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en el Mercado de Santa Rosa.**



**Anexo 22. Datos tomados a las 07h00 en Yaruquies.**



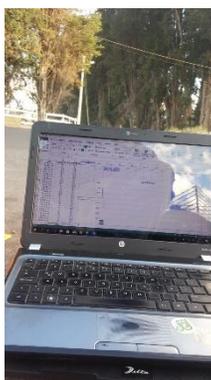
**Anexo 23. Datos tomados a las 12h00 en Yaruquies.**



**Anexo 24. Datos tomados a las 18h00 en Yaruquies.**



**Anexo 25. Datos tomados al siguiente día a las 07h00 en Yaruquies.**



**Anexo 26. Datos tomados a las 07h00 en la UNACH.**



**Anexo 27. Datos tomados a las 12h00 en la UNACH.**



**Anexo 28. Datos tomados a las 18h00 en la UNACH.**



**Anexo 29. Datos tomado al siguiente día a las 07h00 en la UNACH.**

