



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ESTRÉS TÉRMICO EN EL TÚNEL DE SUMAPAZ Y SU RELACIÓN CON LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL DEL PERSONAL ITS

**ASSESSMENT OF THERMAL STRESS LEVELS INSIDE THE
SUMAPAZ TUNNEL TO WHICH ITS TECHNICAL AND
AUXILIARY WORKERS ARE EXPOSED**

Marisol Guzmán Arias

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Erika Yanusi Ortiz Morales

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Bertha Elisa Violet Martelo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21545

Determinación de los niveles de estrés térmico en el Túnel de Sumapaz y su relación con la exposición ocupacional del personal ITS.

Marisol Guzmán Arias¹marisol.guzman-a@uniminuto.edu.co<https://orcid.org/0009-0006-3804-2822>Corporación Universitaria Minuto de Dios
Colombia**Erika Yanusi Ortiz Morales**eortizmoral@uniminuto.edu.co<https://orcid.org/0009-0004-7132-1618>Corporación Universitaria Minuto de Dios
Colombia**Bertha Elisa Violet Martelo**bertha.violet.m@uniminuto.edu<https://orcid.org/0000-0001-9666-8600>Corporación Universitaria Minuto de Dios
Colombia

RESUMEN

La presente investigación se centra en determinar el estrés térmico en el túnel Sumapaz, ubicado estratégicamente entre los departamentos de Tolima y Cundinamarca, Colombia. El objetivo principal de este estudio fue cuantificar los niveles de estrés térmico a los que están expuestos los técnicos y auxiliares durante sus jornadas laborales al interior del túnel, con la finalidad última de optimizar sus condiciones laborales y prevenir riesgos higiénicos. Las condiciones climáticas externas del sector, con temperaturas que pueden alcanzar hasta 37 °C durante las horas diurnas, influyen directamente en la percepción térmica interna, atribuyendo el riesgo a la ubicación geográfica y las características del túnel. Para el desarrollo de esta investigación, se empleó una metodología de enfoque mixto, que integró técnicas cuantitativas y cualitativas, permitiendo un análisis exhaustivo de los datos. La población objeto de estudio estuvo conformada por 4 puestos de trabajo del túnel Sumapaz. Inicialmente, mediante la aplicación de encuestas, se lograron identificar las zonas de operación más susceptibles a riesgo higiénico por estrés térmico. El propósito fue identificar la presencia o ausencia de riesgos higiénicos asociados a las condiciones térmicas en los puestos de trabajo antes de proceder con las mediciones rigurosas. La fase cuantitativa se llevó a cabo a través de mediciones directas. La medición de la exposición se realizó ubicando el sensor del equipo en la cabeza, la cintura y los pies del trabajador para simular las condiciones reales de exposición al calor dentro del túnel. Los registros obtenidos se utilizaron para calcular el índice WBGT promedio y compararlo con los valores límite establecidos según las normativas NTP 1189 y NTP 322. El estudio arrojó como resultado que existe riesgo higiénico en las áreas de trabajo correspondientes a los SOS 15, 21, 25 y 29, dado que el valor umbral crítico fue superado en estas zonas.

Palabras clave: Estrés térmico; Índice WBGT; Consumo metabólico; Kcal/h.

¹ Autor principal

Correspondencia: marisol.guzman-a@uniminuto.edu.co

Assessment of thermal stress levels inside the Sumapaz tunnel to which ITS technical and auxiliary workers are exposed

ABSTRACT

This research focuses on evaluating thermal stress in the Sumapaz Tunnel, strategically located between the departments of Tolima and Cundinamarca, Colombia. The main objective of this study was to quantify the levels of thermal stress to which technicians and assistants are exposed during their work shifts inside the tunnel, with the ultimate goal of optimizing their working conditions and preventing health risks. The external climatic conditions of the area, with temperatures that can reach up to 37°C during the day, directly influence internal thermal perception, attributing the risk to the tunnel's geographical location and characteristics. For this research, a mixed-methods approach was used, integrating quantitative and qualitative techniques, allowing for a comprehensive data analysis. The study population consisted of 10 ITS technicians from the Sumapaz Tunnel. Initially, through the application of surveys, the operational areas most susceptible to health risks due to thermal stress were identified. The purpose was to identify the presence or absence of hygiene risks associated with thermal conditions in the workplaces before proceeding with rigorous measurements. The quantitative phase was carried out through direct measurements. Exposure was measured by placing the equipment's sensor on the worker's head, waist, and feet to simulate the actual heat exposure conditions inside the tunnel. The data obtained were used to calculate the average WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature) index and compare it with the limit values established according to standards NTP 322 and NTP 1189. The study revealed a hygiene risk in the work areas corresponding to SOS 15, 21, 25, and 29, as the critical threshold value was exceeded in these areas.

Keywords: heat stress; wbgt index; metabolic consumption; kcal/h.

Artículo recibido 20 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

El bienestar y la seguridad de los trabajadores son pilares esenciales en cualquier organización, especialmente en entornos donde las condiciones ambientales pueden afectar significativamente la salud, el desempeño y la productividad. El estrés térmico se ha consolidado como un riesgo ocupacional de creciente preocupación, asociado tanto a los efectos del cambio climático como a las características de los espacios confinados e industriales. A nivel global, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) advirtió en 2019 que el incremento del estrés por calor podría traducirse en una pérdida de productividad laboral equivalente a 80 millones de empleos a tiempo completo para el año 2030. (OIT, 2019).

En Colombia, el estrés térmico laboral es oficialmente reconocido como un riesgo físico dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). El Ministerio del Trabajo exige la evaluación de las condiciones micro climáticas y la adopción de medidas preventivas para proteger a los empleados expuestos a altas temperaturas. Esta exigencia se fundamenta en la necesidad de identificar y controlar las condiciones ambientales que pueden comprometer la salud y el desempeño laboral. (MinTrabajo, 2021).

El túnel Sumapaz, una de las infraestructuras viales más importantes del país y punto de conexión entre los departamentos de Tolima y Cundinamarca, presenta condiciones ambientales particulares. Debido a su considerable extensión, su ubicación geográfica y la limitada ventilación natural, se convierte en un escenario de exposición significativa a factores físicos, entre ellos las altas temperaturas. En este entorno, los trabajadores técnicos y auxiliares del sistema ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) enfrentan una exposición constante que puede afectar su bienestar físico y mental. Por ello, evaluar rigurosamente estos niveles de exposición resulta crucial para determinar los valores límites permisibles durante las jornadas de trabajo.

La necesidad de esta investigación se justifica al considerar las implicaciones del estrés térmico en el desempeño y la salud. Una revisión bibliográfica reciente indica que las pérdidas reales de productividad a nivel mundial son cercanas al 10% y se espera que aumenten hasta un 30%-40% en el peor escenario de cambio climático para finales de siglo (Frontiersin, 2023).



En consecuencia, este estudio busca responder a la problemática determinando los niveles de exposición al estrés térmico en el interior del túnel Sumapaz, Cundinamarca, con el fin de evaluar su impacto real en la salud de los técnicos y auxiliares y así orientar la adopción de medidas de prevención y control.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto y con un alcance descriptivo, integrando procedimientos cuantitativos y cualitativos para caracterizar la exposición al estrés térmico y determinar los puntos de mayor criticidad en el entorno laboral. La etapa cualitativa consistió en la aplicación de una breve entrevista estructurada conformada por dos preguntas abiertas, orientada a identificar los puntos S.O.S. con mayor percepción de calor. Esta información permitió seleccionar las áreas con condiciones más exigentes para su posterior evaluación instrumental. Con base en los resultados de la fase cualitativa, se definieron cuatro puntos S.O.S. (15, 21, 25 y 29) como escenarios prioritarios para la medición ambiental. La población de estudio estuvo compuesta por cuatro puestos de trabajo, uno por cada punto S.O.S., quienes desarrollaban actividades operativas a nivel de piso.

Los colaboradores utilizaban uniforme tipo overol en material drill de manga larga y pantalón, botas de seguridad y equipo de protección personal, incluido un respirador de media cara con filtros multigases. Durante la jornada se establecieron pausas para hidratación y alimentación fuera del túnel, con el fin de permitir la recuperación térmica.

Las mediciones se realizaron utilizando un Heat Stress Meter, modelo HT30, siguiendo el método del índice WBGT. El equipo permitió registrar simultáneamente la temperatura del aire (bulbo seco), la temperatura del globo indicativa de la carga radiante y la temperatura del bulbo húmedo, asociada a la humedad relativa. Estos parámetros posibilitaron calcular el índice de estrés térmico y caracterizar las condiciones ambientales presentes en cada punto evaluado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten caracterizar las condiciones ambientales del Túnel de Sumapaz y su impacto en la exposición de los técnicos ITS al estrés térmico. Las mediciones realizadas en los puntos SOS 15, 21, 25 y 29 evidencian variaciones térmicas significativas a lo largo del recorrido, incluso con la operación del sistema integral de ventilación. A continuación, se presentan los valores del índice WBGT, considerando las variables determinantes para la evaluación del riesgo.

La obtención de datos fue lograda mediante la aplicación de los instrumentos de recolección en las áreas críticas previamente definidas. Los resultados de las mediciones del estrés térmico se organizan detalladamente en tablas subsecuentes, clasificando la información en función de los puestos de trabajo en los puntos SOS 15, SOS 21, SOS 25 y SOS 29. Este enfoque permite una revisión sistemática de la exposición por zona.

Tabla 1. Medición SOS 15

Mediciones de puesto de trabajo - **SOS -15** 9:00am a 10:00am

Horario de 9:00 am a 10:00 am	Cabeza	Cadera	Pies
9:00	26,5	26,6	26,3
9:05	26,3	26,1	26,8
9:10	26,1	26	26,3
9:15	26	26,3	26,6
9:20	26,1	26,5	26,1
9:25	26,7	26,6	26,5
9:30	26,2	26,1	26,4
9:35	26,4	26,3	26,2
9:40	26,7	26,2	26
9:45	26	26,2	26,6
9:50	26,1	26,9	26,3
9:55	26,1	26,4	26,5
10:00	26,7	26,6	26,8
Suma de las mediciones	315,4	342,8	343,4
Promedio de las mediciones	24,2	26,3	26,4

Tabla 1. Medición SOS 15- Elaboración Propia (2025)

Se puede identificar en la anterior tabla que las mediciones realizadas en el horario de 9:00 am a 10:00am en el SOS 15, en la parte corporal de los pies, tuvo un índice de WBGT promedio de 24,2°C, en la cadera tuvo un índice WBGT promedio de 26,3°C y finalmente la cabeza tuvo un WBGT promedio de 26,4°C.

Tabla 2. Medición SOS 21Mediciones de puesto de trabajo- **SOS 21** 10:00 pm a 11:00 pm

Horario de 2:00 pm a 3:00 pm	Cabeza	Cadera	Pie
10:00	27,7	26,8	26,9
10:05	27,8	28	27,6
10:10	27,1	26,4	27,9
10:15	27,8	27,1	28,1
10:20	27,5	27,4	26,6
10:25	27,9	26	26,9
10:30	28,4	26,8	26,1
10:35	27,2	27,6	27,7
10:40	28,3	26,2	27,4
10:45	27,9	27,9	27,6
10:50	27,1	26,7	27,1
10:55	26,1	27,2	26,7
11:00	28,8	26,9	26,3
Suma de las mediciones	359,6	351	352,9
Promedio de las mediciones	27,6	27	27,1

Tabla 2. Medición SOS 21- Elaboración Propia (2025)

Se puede identificar en la anterior tabla que las mediciones realizadas en el horario de 10:00 am a 11:00 am en el SOS 21 , en la parte corporal de los pies, tuvo un índice WBGT promedio de 27,6 °C, en la cadera tuvo un índice WBGT promedio de 27 °C y finalmente la cabeza tuvo un WBGT promedio de 27,1°C.

Tabla 3. Medición SOS 25Mediciones de puesto de trabajo- **SOS 25**- 11:00 -12:00

Horario de 11:00 pm a 12:00 pm	Cabeza	Cadera	Pie
11:00	28,1	28,1	28,3
11:05	28,3	28,3	28,8
11:10	28,1	28,2	28,8
11:15	28	28,1	28,4
11:20	28,1	28,1	28,2
11:25	28,7	28,7	28,3
11:30	28,2	28,3	28,9
11:35	28,4	28,6	28,7
11:40	28,7	28,8	28,1
11:45	28	28,1	28,3
11:50	28,1	28,2	28,8
11:55	28,1	28,1	28,2
12:00	28,7	28,7	28,3
Suma de las mediciones	367,5	368,3	370,1
Promedio de las mediciones	28,2	28,3	28,4

Tabla 3. Medición SOS 25 - Elaboración Propia (2025)

Se puede identificar en la anterior tabla que las mediciones realizadas en el horario de 11:00 am a 12:00 am en SOS 25, la parte corporal de los pies tuvo un índice WBGT promedio de 28,2°C, en la cadera tuvo un índice WBGT promedio de 28,3°C, finalmente la cabeza tuvo un WBGT promedio de 28,4°C.



Tabla 4. Medición SOS 29**Mediciones de puesto de trabajo- SOS 29- 11:00 AM -12:00 AM**

<i>Horario de 8:00 am a 9:00 am</i>	<i>Cabeza</i>	<i>Cadera</i>	<i>Pie</i>
11:00	29,6	29,4	29
11:05	29,8	28,7	30,1
11:10	29,2	29,1	30,3
11:15	29,3	29,1	29,1
11:20	29,2	28,1	29,8
11:25	29,3	29,2	29,2
11:30	29,9	29,1	30,3
11:35	29	29,8	29,7
11:40	29,6	29,6	29,6
11:45	30,6	29,6	28,8
11:50	29	29,9	29,4
11:55	29,6	29,5	29,3
12:00	29,6	29,6	29,8
Suma de las mediciones	383,7	380,7	384,4
Promedio de las mediciones	29,5	29,2	29,5

Tabla 4. Medición SOS 29- Elaboración Propia (2025)

En la tabla anterior se observa que, durante el intervalo de 11:00 a 12:00 horas en el SOS 29, la medición del índice WBGT promedio registró 29,5 °C en la zona corporal de los pies, 29,2 °C en la cadera y 29,5 °C en la cabeza.

Para la estimación del consumo metabólico de los trabajadores se consideró la Norma Técnica de Prevención NTP 1189, como se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 5. Consumo Metabólico

	Tasa metabólica (W)	Actividad (ejemplos)
Descanso	115(entre 100 y 125)	Sentado, de pie, en descanso
Actividad ligera	180(entre 125 y 235)	<p>Trabajo manual ligero (escribir, teclear, dibujar, costura, contabilidad).</p> <p>Trabajo manual con manos y brazos (con herramientas pequeñas, inspección, clasificación, montaje o selección de materiales ligeros). Trabajo con los brazos y las piernas (conducción de vehículos en condiciones normales, activación con el pie de interruptores o pedales).</p> <p>Taladrado de pie (piezas pequeñas), fresado (piezas pequeñas), enrollado de bobinas y pequeñas armaduras; mecanizado con herramientas de baja potencia (taladros, amoladoras, etc.), caminar sin prisa (velocidad hasta 2,5 km/h).</p>
Actividad moderada	300(entre 235 y 360)	<p>Trabajo sostenido con manos y brazos constante (clavar clavos, limar, etc.). Trabajo con brazos y piernas (conducción de camiones, tractores o máquinas de obras públicas en obras); trabajo con tronco y brazos (martillos neumáticos, acoplamiento de aperos a tractor, enyesado, manejo intermitente de pesos moderados, escardar, usar la azada, recoger frutas y verduras, tirar de o empujar carretillas ligeras,</p>



		caminar a una velocidad de 2.5 km/h hasta 5,5 km/h, trabajos en forja).
Actividad alta	415(entre 360 y 465)	Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; palear; empleo de macho o maza; empleo de sierra; cepillado o escopleado de madera dura; corte de hierba o cavado manual; caminar a una velocidad de 5,5 km/h hasta 7km/h; empujar o tirar de carros o carretillas guiadas con la mano que transporten cargas elevadas; desbarbado de fundición; colocación de bloques de hormigón.
Actividad muy alta	520(>465)	Actividad muy intensa a ritmo de muy rápido a máximo; trabajo con hacha; cava do o paleado intenso; subir escaleras, rampas o escalas; caminar rápidamente a pequeños pasos; correr; caminar a una velocidad superior a 7 km/h.

Tabla 5. Consumo Metabólico- Elaboración Propia (2025)

Según la NTP 1189 de 2023 la tasa metabólica se clasifica en cinco rangos. La tasa metabólica moderada se define como trabajo manual que implica el uso continuo de manos y brazos, actividades que requieren la movilización de extremidades superiores e inferiores, conducción de vehículos grandes o pesados, operación de carretillas o maquinaria pesada, trabajo que involucra brazos y tronco, labores agrícolas y de jardinería, manipulación de cargas moderadas, y desplazamientos a una velocidad entre 2,5 y 5,5 km/h.

Por esta razón, los puestos de trabajo analizados en el túnel Sumapaz se clasifican con una tasa metabólica moderada de 300 W/m². Posteriormente, se realiza la conversión de la tasa metabólica de W/m² a Kcal/h. En este caso, el valor máximo manejado para la tasa moderada es de 300 W/m².

Considerando que 1 W/m² equivale a 1,553 Kcal/h, se multiplica por la tasa moderada de 300 W/m² corresponde a **465,9 Kcal/h**. Una vez determinada la tasa metabólica en Kcal/h que pueden emplear los trabajadores en cada SOS dentro del túnel Sumapaz, es decir, 465,9 Kcal/h, se lleva a cabo el análisis correspondiente utilizando la tabla de valores límite de referencia para el índice WBGT según la NTP 322 de 1993.

Tabla 6. Valores límite de referencia para el índice WBGT

Consumo	WBGT límite C°			
metabólico	Persona aclimatada		Persona no aclimatada	
Kcal/hora	V=0	V≠0	V=0	V≠0
≤100	33	33	32	32
100-200	30	30	29	29
200-310	28	28	26	26
310-400	25	26	22	23
>400	23	25	28	20

Tabla 6. Valores límite de referencia para el índice WBGT - Elaboración Propia (2025)

Al ubicar el valor correspondiente en la fila 5, con una tasa metabólica de >400 Kcal/H, se relaciona también con la fila 1, al identificar un área de trabajo con baja velocidad del aire y trabajadores aclimatados. Esto permite confirmar que el valor asignado por la tabla es un índice WBGT límite de 23. Para la evaluación del riesgo higiénico se calcula la razón entre el WBGT promedio y el WBGT límite. Si el cociente es igual o superior a 1, se determina la existencia de riesgo higiénico por exposición a estrés térmico; en caso contrario, si es menor a 1, se considera que no existe riesgo.

En las tablas siguientes se realiza la comparación entre el índice WBGT promedio y el índice WBGT límite, verificando la presencia o ausencia de riesgo higiénico según la zona corporal evaluada de los trabajadores que desarrollan actividades dentro del túnel Sumapaz.

Tabla 7. Comparación entre el índice WBGT promedio y el índice WBGT límite

Tabla comparativa de las mediciones					
Puesto de trabajo	de Parte corporal	WBGT promedio °C	WBGT límite	Comparativa	Nivel de riesgo
SOS 15	Cabeza	24,2	23	1,06	Existe riesgo higiénico
	Cadera	26,3	23	1,14	Existe riesgo higiénico
	Pies	26,4	23	1,14	Existe riesgo higiénico
SOS 21	Cabeza	27,6	23	1,2	Existe riesgo higiénico
	Cadera	27	23	1,17	Existe riesgo higiénico
	Pies	27,1	23	1,17	Existe riesgo higiénico
SOS 25	Cabeza	28,2	23	1,22	Existe riesgo higiénico
	Cadera	28,3	23	1,23	Existe riesgo higiénico
	Pies	28,4	23	1,23	Existe riesgo higiénico
SOS 29	Cabeza	29,5	23	1,28	Existe riesgo higiénico
	Cadera	29,2	23	1,26	Existe riesgo higiénico
	Pies	29,5	23	1,28	Existe riesgo higiénico

Tabla 9 - Comparación entre el índice WBGT promedio y el índice WBGT límite Elaboración Propia (2025)

El análisis de la Tabla 7 muestra que en todos los puntos evaluados se identifica un riesgo higiénico relevante asociado al estrés térmico, evidenciado por razones de exposición superiores a 1 en todas las zonas corporales muestreadas. El valor mínimo de sobreexposición se registró en el SOS 15 (cabeza), donde la carga térmica excede el valor límite permisible (VLP) en un 6% (índice 1.06). Si bien este valor representa la menor desviación respecto al VLP, continúa indicando una condición de riesgo, pues cualquier cociente superior a 1 implica que la demanda térmica impuesta por el ambiente supera la capacidad fisiológica de termorregulación del trabajador. En contraste, la máxima criticidad se observó en el SOS 29, con valores de 1.28 tanto en cabeza como en pies, lo cual indica que la carga térmica real experimentada por el técnico es 28% mayor a la permitida para la tasa metabólica y condiciones ambientales establecidas en la normativa. Este nivel de excedencia representa un riesgo significativo de

fatiga térmica, agotamiento por calor e incluso afectaciones agudas como golpe de calor en actividades prolongadas.

La presencia de sobreexposición persistente en todos los puntos analizados evidencia que el riesgo térmico no es un fenómeno aislado ni dependiente exclusivamente de la cercanía a fuentes de calor específicas, sino que responde a características ambientales estructurales del túnel. En esta línea, los factores adicionales que incrementan la carga térmica refuerzan la interpretación del riesgo. El equipo de protección personal (EPP), compuesto por overol de material drill tejido grueso manga larga y respirador de media cara fabricado en caucho y silicona, actúa como una barrera que disminuye la disipación de calor corporal. La reducción del flujo de vapor y la acumulación de humedad en la superficie cutánea disminuyen la eficiencia de los mecanismos de enfriamiento por evaporación y convección, lo que facilita la elevación sostenida de la temperatura corporal interna. Esto coincide con estudios que demuestran que EPP de baja permeabilidad térmica puede aumentar entre un 10% y 20% la percepción térmica y el esfuerzo fisiológico en ambientes calurosos.

Adicionalmente, el flujo vehicular constante dentro del túnel contribuye a un incremento continuo de la temperatura ambiental debido a la liberación de calor por los sistemas de combustión y el efecto de masa térmica generado por el tránsito acumulado. Estos factores, combinados con la ventilación limitada propia de un espacio confinado extenso, generan un microclima estable y altamente desfavorable para el trabajo prolongado. En consecuencia, aun cuando la infraestructura cuenta con un sistema de ventilación y extracción, los resultados sugieren que su capacidad actual no es suficiente para contrarrestar la magnitud del calor generado interna y externamente.

La consistencia de cocientes superiores a 1 en todas las mediciones indica de forma clara que las medidas de control ingenieriles y administrativas implementadas en la actualidad no logran mitigar el riesgo de manera efectiva. Desde un enfoque preventivo, esto implica la necesidad de revisar la eficacia del sistema de ventilación, reevaluar la programación de tareas en función de los picos térmicos, considerar la rotación de personal y explorar alternativas de EPP más liviano o con mayor permeabilidad térmica. Además, estos hallazgos subrayan la importancia de incorporar estrategias de hidratación controlada, pausas activas en zonas más frescas y monitoreo fisiológico del personal expuesto.

En conjunto, los resultados evidencian que el ambiente térmico del Túnel de Sumapaz constituye un escenario de riesgo significativo y persistentemente superior a los VLP establecidos, lo que justifica la necesidad de intervenciones integrales que incluyan mejoras ingenieriles, ajustes organizacionales y optimización del EPP para prevenir enfermedades laborales y el desempeño de los trabajadores.

CONCLUSIONES

La evaluación de las condiciones ambientales en el túnel Sumapaz confirmó la existencia de parámetros térmicos adversos, compuestos por la temperatura húmeda y la temperatura de globo, variables esenciales para la determinación de los límites permisibles de exposición al estrés térmico. Durante el análisis, se constató que la geografía inmodificable de la zona, con temperaturas externas elevadas, sumada a la condición de ambiente confinado del túnel (4 km sin ventilación natural adecuada a nivel de piso), genera una acumulación de calor significativa. Adicionalmente, el tráfico vehicular constituye una fuente térmica endógena que provoca un incremento en los niveles medidos debido al calor emitido por los sistemas de combustión de los vehículos.

La comparación sistemática entre el índice WBGT promedio medido y el WBGT límite permisible estableció un resultado consistentemente igual o superior a 1 en todos los puntos de servicio (S.O.S 15, 21, 25 y 29). Este hallazgo cuantitativo determina inequívocamente la existencia de un nivel de riesgo por exposición ocupacional a estrés térmico en los trabajadores técnicos y auxiliares. Específicamente, se identificó que el riesgo se origina en la exposición del personal que realiza labores a nivel de piso, en una zona donde el flujo de aire generado por el sistema de ventilación superior es insuficiente para mitigar la carga térmica en el sitio de trabajo.

El nivel de riesgo cuantificado se ve agravado por factores operacionales y el diseño del equipo de protección personal (EPP). Se concluye que el EPP actual incrementa la sensación térmica y contribuye al aumento de la temperatura corporal del trabajador. Esto se debe a que el *overol* está confeccionado en material *drill*, de características textiles gruesas y manga larga, y al uso obligatorio de equipos respiratorios de media cara con componentes de caucho y silicona que generan fricción y retención de calor. Aunque se realizan periodos de descanso fuera de las instalaciones del túnel para permitir la ventilación corporal, la exposición durante la ejecución de las labores (horario matutino, 9:00 a 12:00 horas) excede el umbral seguro.

La evidencia del riesgo higiénico y la identificación de sus factores contribuyentes imponen la necesidad de establecer medidas de prevención y control de carácter inmediato. Se requiere implementar soluciones de ingeniería que optimicen la corriente de aire en la zona de trabajo a nivel de piso y/o la reevaluación del EPP, buscando alternativas con materiales que favorezcan la transpirabilidad y la disipación térmica. Estas acciones son esenciales para reducir la sobreexposición y garantizar un entorno laboral que cumpla con los VLP de la normativa vigente, protegiendo así la salud de los trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Geseme . (06 de Junio de 2023). *Geseme Salud Laboral y Prevencion*. Obtenido de <https://geseme.com/prevencion-de-riesgos-laborales-temperaturas-extremas-novedades/#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20del%20personal%20trabajador,fallecimien to%20de%20la%20persona%20trabajadora>.
- ACGIH. (2017). *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*. Obtenido de American Conference of Governmental Industrial Hygienists: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines>
- ACGIH. (2024). *American conference of Governametal Insdustrial Hygienists*. Obtenido de American conference of Governametal Insdustrial Hygienists: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/>
- CCS. (6 de julio de 2020). *Concejo Colombiano de Seguridad*. Obtenido de Concejo Colombiano de Seguridad: <https://ccs.org.co/estres-termico/>
- CCS. (s.f.). *Consejo Colombiano de Seguridad* . Obtenido de Consejo Colombiano de Seguridad : <https://ccs.org.co/estres-termico>
- Concepto. (s.f.). *concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/temperatura/>
- frontiersin. (01 de 08 de 2023). *Estrés térmico ocupacional, efectos relacionados con el calor y pérdidas sociales y económicas relacionadas: una revisión exploratoria de la literatura*. Obtenido de frontiersin: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1173553/full>
- INSST. (2016). *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo* . Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo : <https://www.insst.es>



ISO . (2017). *Internacional Organizacion for Standardization* . Obtenido de Internacional Organizacion for Standardization : <https://www.iso.org/standard/67188.html>

Min,trabajo. (2024). *Ministerio de trabajo* . Obtenido de Ministerio de trabajo : <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/67466765/1857.pdf/1e16b8e2-f3e8-fe1e-a0ff-b25f0f5adfb8?t=1716867698747>

Ministerio de trabajo y seguridad social . (1979). *Ministerio de trabajo y seguridad social*. Obtenido de Ministerio de trabajo y seguridad social: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf>

Montagund, N. (7 de mayo de 2020). *Psicologia y Mente*. Obtenido de <https://psicologaiymente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>

NIOSSH. (2016). *NIOSSH*. Obtenido de NIOSSH: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>

OIT. (2019). *Organización Internacional del Trabajo*. Obtenido de Organización Internacional del Trabajo: <https://www.ilo.org/es>

OMS. (30 de Octubre de 2021). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

OMS. (2023). *Organizacion Mundial de la salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la salud 2023: <https://www.who.int/es>

trabajo, Ministerio de. (2021). *Ministerio de trabajo*. Obtenido de Ministerio de trabajo: <https://www.mintrabajo.gov.co/web/guest/resoluciones>

vida, C. p. (26 de Marzo de 2015). Obtenido de Decreto 1072 del 2015: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

Vida,colombia petencia. (26 de Marzo de 2015). Obtenido de Decreto 1072: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

World Health Organization. (2023). *World Health Organization*. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240099814>



- Geseme . (06 de Junio de 2023). *Geseme Salud Laboral y Prevencion*. Obtenido de <https://geseme.com/prevencion-de-riesgos-laborales-temperaturas-extremas-novedades/#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20del%20personal%20trabajador,fallecimien to%20de%20la%20persona%20trabajadora>.
- ACGIH. (2017). *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*. Obtenido de American Conference of Governmental Industrial Hygienists: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines>
- ACGIH. (2024). *American conference of Governametal Insdustrial Hygienists*. Obtenido de American conference of Governametal Insdustrial Hygienists: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/>
- CCS. (6 de julio de 2020). *Concejo Colombiano de Seguridad*. Obtenido de Concejo Colombiano de Seguridad: <https://ccs.org.co/estres-termico/>
- CCS. (s.f.). *Consejo Colombiano de Seguridad* . Obtenido de Consejo Colombiano de Seguridad : <https://ccs.org.co/estres-termico>
- Concepto. (s.f.). *concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/temperatura/>
- frontiersin. (01 de 08 de 2023). *Estrés térmico ocupacional, efectos relacionados con el calor y pérdidas sociales y económicas relacionadas: una revisión exploratoria de la literatura*. Obtenido de frontiersin: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1173553/full>
- INSST. (2016). *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo* . Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo : <https://www.insst.es>
- ISO . (2017). *Internacional Organizacion for Standardization* . Obtenido de Internacional Organizacion for Standardization : <https://www.iso.org/standard/67188.html>
- Min,trabajo. (2024). *Ministerio de trabajo* . Obtenido de Ministerio de trabajo : <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/67466765/1857.pdf/1e16b8e2-f3e8-fe1e-a0ff-b25f0f5adfb8?t=1716867698747>



Ministerio de trabajo y seguridad social . (1979). *Ministerio de trabajo y seguridad social*. Obtenido de Ministerio de trabajo y seguridad social: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf>

Montagund, N. (7 de mayo de 2020). *Psicología y Mente*. Obtenido de <https://psicologiaymente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>

NIOSSH. (2016). *NIOSSH*. Obtenido de NIOSSH: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>

OIT. (2019). *Organización Internacional del Trabajo*. Obtenido de Organización Internacional del Trabajo: <https://www.ilo.org/es>

OMS. (30 de Octubre de 2021). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

OMS. (2023). *Organizacion Mundial de la salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la salud 2023: <https://www.who.int/es>

trabajo, Ministerio de. (2021). *Ministerio de trabajo*. Obtenido de Ministerio de trabajo: <https://www.mintrabajo.gov.co/web/guest/resoluciones>

vida, C. p. (26 de Marzo de 2015). Obtenido de Decreto 1072 del 2015: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

Vida,colombia petencia. (26 de Marzo de 2015). Obtenido de Decreto 1072: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

World Health Organization. (2023). *World Health Organization*. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240099814>

