

2015

## **Evaluación de los niveles de estrés térmico, material particulado total y luminosidad, en el interior de las taquillas de las estaciones de Transmilenio**

Juan Sebastián Ruíz Castro  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Paola Andrea Pabón Piratoba  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

---

### **Citación recomendada**

Ruíz Castro, J. S., & Pabón Piratoba, P. A. (2015). Evaluación de los niveles de estrés térmico, material particulado total y luminosidad, en el interior de las taquillas de las estaciones de Transmilenio. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/555](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/555)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ESTRÉS TÉRMICO, MATERIAL PARTICULADO  
TOTAL Y LUMINOSIDAD, EN EL INTERIOR DE LAS  
TAQUILLAS DE LAS ESTACIONES DE  
TRANSMILENIO

JUAN SEBASTIÁN RUIZ CASTRO  
PAOLA ANDREA PABÓN PIRATOBA

Trabajo de grado para optar al título de profesional en Ingeniería Ambiental y  
Sanitaria

DIRECTOR

GABRIEL HERRERA TORRES  
Ingeniero Sanitario -MSc. Ambiental

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÀ, JULIO 2015

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ESTRÉS TÉRMICO, MATERIAL PARTICULADO  
TOTAL Y LUMINOSIDAD, EN EL INTERIOR DE LAS  
TAQUILLAS DE LAS ESTACIONES DE  
TRANSMILENIO

JUAN SEBASTIÁN RUIZ CASTRO  
PAOLA ANDREA PABÓN PIRATOBA

Trabajo de Grado para optar al título de profesional en Ingeniería Ambiental y  
Sanitaria

DIRECTOR

GABRIEL HERRERA TORRES  
Ingeniero Sanitario -MSc. Ambiental

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÀ, JULIO 2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

Firma del Director

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Julio de 2015.

## **AGRADECIMIENTOS**

A través de estas palabras queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que con su soporte científico y humano han colaborado en la realización de este trabajo de investigación.

Queremos agradecer en primer lugar a la Universidad de la Salle, por permitirnos ser parte de ella, la cual a través de sus enseñanzas nos brindaron el espacio de realización y desarrollo intelectual y personal.

A nuestro director del proyecto, el Ingeniero Gabriel Herrera quien nos brindó la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico para orientarnos durante el desarrollo del trabajo.

A la Ingeniera Deysi Rodríguez, quien con su constante apoyo y perseverancia nos ayudó a la iniciación del proyecto.

A Transmilenio, S.A por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.

A Recaudo Bogotá S.A.S por su constante acompañamiento y vigilancia en la ejecución del trabajo.

Al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, por permitirnos el análisis de muestras y disposición de los equipos de medición.

Agradezco este logro personal y profesional:  
A Dios por haberme permitido el milagro de existir, por  
estar presente en los momentos más importantes de mi vida, y por siempre acompañarme en el camino de  
la vida.

A mi madre, por ser mi ejemplo a seguir y mi inspiración,  
por su amor y apoyo incondicional, por sus valores y motivación que me fortalecieron como persona, y  
por su paciencia en cada uno de los momentos de mi vida

Mama gracias por todo esto es por ti.

Paola Andrea Pabón Piratoba

Agradezco a Dios y a mis padres por el apoyo constante en la obtención de este importante logro en  
mi vida, además me enseñaron que sea lejos o sea cerca siempre toca llegar.

Sebastián Ruiz Castro

## TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS.....	12
GLOSARIO .....	14
RESUMEN .....	17
SUMMARY .....	18
INTRODUCCIÓN .....	19
JUSTIFICACIÓN .....	20
1. OBJETIVOS.....	21
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
2. ANTECEDENTES.....	22
2.1 ESTUDIOS INTERNACIONALES .....	24
2.2 ESTUDIOS NACIONALES.....	25
3. MARCO TEÓRICO .....	27
3.1 RIESGOS.....	28
3.2 MATERIAL PARTICULADO (MP <sub>T</sub> ).....	29
3.2.1 Efectos en la salud .....	32
3.2.2 Valores límites permisibles .....	35
3.3 CONFORT TÉRMICO .....	36
3.3.1 Índice WBGT (Temperatura Global de Bulbo Húmedo).....	39
3.3.2 Efectos en la salud .....	39
3.3.3 Valores límites permisibles .....	42
3.4 ILUMINACIÓN.....	43
3.4.1 Tipos de iluminación.....	45
3.4.2 Efectos en la Salud.....	45
3.4.3 Valores límites permisibles .....	46
4. MARCO LEGAL .....	48
5. METODOLOGÍA.....	49
5.1 FASE 1 IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	50
5.1.1 Información general de la troncal Calle 26 - área de referencia .....	50
5.1.2 Información general de la troncal Carrera Décima – área crítica .....	58
5.2 FASE 2 PLAN DE TRABAJO .....	71
5.3 FASE 3 TOMA DE MUESTRAS .....	72
5.3.1 Material particulado total.....	72
5.3.2 Estrés térmico (WBGT).....	76
5.3.3 Iluminación .....	79
5.4 FASE 4 CUANTIFICACIÓN DE RESULTADOS.....	81
5.4.1 Material particulado total.....	81
5.4.2 Estrés térmico .....	83
5.4.3 Luminosidad.....	84
5.5 FASE 5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	84
5.5.1 Material Particulado.....	86
5.5.2 Estrés térmico .....	86

5.5.3 Luminosidad .....	87
5.6 FASE 6 INFORME .....	88
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	89
6.1 Resultados y Análisis– Zona de referencia Troncal Calle 26 .....	89
6.1.1 Material Particulado Total – Zona de referencia .....	89
6.1.2 Estrés térmico – Zona de referencia .....	90
6.1.3 Luminosidad hora mañana – Zona de referencia .....	91
6.1.4 Luminosidad horas de la tarde – Zona de referencia .....	92
6.2 Resultados y Análisis– Zona Crítica Troncal Carrera Décima .....	93
6.2.1 Material Particulado Total – Zona crítica .....	93
6.2.2 Estrés térmico – zona crítica .....	94
6.2.3 Luminosidad horas de la mañana – zona crítica .....	96
6.2.4 Luminosidad horas de la tarde – zona crítica .....	97
6.3 Resultados generales .....	98
6.3.1 Material Particulado Total .....	98
6.3.2 Estrés Térmico .....	99
6.3.3 Luminosidad horas de la mañana .....	100
6.3.4 Horas de la tarde .....	101
7. CONCLUSIONES .....	102
8. RECOMENDACIONES Y/O MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS PARA CADA PARÁMETRO EN LOS SITIOS DE MEDICIÓN DONDE SE PRESENTARON RIESGOS OCUPACIONALES .....	103
8.1 Material Particulado total .....	103
8.2 Estrés Térmico .....	103
8.3 Luminosidad .....	104
9. LISTA DE REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....	105

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Evidencia de contaminación sobre la ciudad de Bogotá, tomada desde la Universidad de la Sallé- mayo 2015. ....	23
Fotografía 2. Panorámica de la Calle 26 a la altura de la estación Salitre-El Greco.....	50
Fotografía 3. Condiciones viales Calle 26 (área de referencia).....	52
Fotografía 4. Condiciones Estructurales Calle 26 (área de referencia). ....	53
Fotografía 5. Flujo vehicular área de referencia.....	55
Fotografía 6. Taquilla estación Salitre- El Greco (área de referencia). ....	56
Fotografía 7. Taquilla estación CAN (área de referencia). ....	56
Fotografía 8. Taquilla estación Gobernación (área de referencia). ....	57
Fotografía 9. Taquilla estación Quinta Paredes (área de referencia). ....	58
Fotografía 10. Panorámica Carrera Décima a la altura de la estación Museo Nacional. ....	59
Fotografía 11. Actividades comerciales y buses de servicio público convencional Carrera Décima.....	59
Fotografía 12. Diseño vial Carrera Décima. ....	61
Fotografía 13. Alto flujo de personas en la estación Avenida Primera de Mayo. ....	62
Fotografía 14. Condiciones Estructurales de la Carrera Décima.....	63
Fotografía 15. Plano elevado y Condiciones Estructurales de la Carrera Décima. ....	63
Fotografía 16. Emisiones atmosféricas generadas por los vehículos en la Carrera Décima. ....	64
Fotografía 17. Emisiones de los vehículos de transporte público convencional en la Carrera Décima.....	66
Fotografía 18. Taquilla estación Museo Nacional (área crítica). ....	67
Fotografía 19. Taquilla estación Avenida Primera de Mayo (área crítica). ....	67
Fotografía 20. Estación Portal Dorado (área crítica). ....	68
Fotografía 21. Evidencia de estacionamiento de alimentadores y acumulación de pasajeros .....	69
Fotografía 22. Taquilla estación Avenida Rojas (área crítica). ....	70
Fotografía 23. Flujo de aire estación Avenida Rojas. ....	70
Fotografía 24. Filtro de 5,0 $\mu\text{m}$ - 35PVC marca Zefon, porta filtro y bomba de muestreo personal Gilian.....	73
Fotografía 25. Bomba de muestreo personal, porta filtro y manguera. ....	74
Fotografía 26. Filtros de $\text{PM}_{10}$ en desecador y balanza en condiciones ambientales controladas .....	75
Fotografía 27. Ubicación de la bomba de muestreo personal y posición común del trabajador. ....	76
Fotografía 28. Monitor de estrés térmico con verificación de calibración. ....	78
Fotografía 29. Ubicación de monitor de estrés térmico QUESTemp al interior de las taquillas de evaluación. ....	79
Fotografía 30. Medición de intensidad lumínica en el interior de las taquillas.....	80
Fotografía 31. Ambiente laboral y presencia de equipos electrónicos con pantalla. ....	87

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución de la tasa de incidencia de enfermedades profesionales.....	29
Gráfico 2. Relaciones de PM <sub>10</sub> en ambientes internos y externos en Kansas City (U.S) para diferentes tiempos de exposición. ....	30
Gráfico 3. Composición de partículas suspendidas totales. ....	31
Gráfico 4. Permanencia de las partículas suspendidas totales en el sistema respiratorio. ....	33
Gráfico 5. Relaciones de PM <sub>10</sub> con diferentes indicadores de efectos sobre la salud....	33
Gráfico 6. Volumen vehicular hora pico (6:45-7:45). Calle 26.....	54
Gráfico 7. Volúmenes de vehículos por hora sobre el corredor sentido Sur-Norte.....	65
Gráfico 8. Concentraciones MP <sub>T</sub> encontradas durante el periodo de muestreo en la zona de referencia. ....	89
Gráfico 9. Niveles de estrés térmico por calor al interior de las taquillas de Transmilenio zona de referencia- horas de la tarde.....	90
Gráfico 10. Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- mañana en la zona de referencia. ....	91
Gráfico 11. Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- tarde en la zona de referencia.....	92
Gráfico 12. Concentraciones MP <sub>T</sub> encontradas durante el periodo de muestreo en la zona de crítica.....	93
Gráfico 13. Niveles de estrés térmico por calor al interior de las taquillas de Transmilenio zona crítica.....	95
Gráfico 14. Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- mañana en la zona crítica. ....	96
Gráfico 15. Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- tarde en la zona crítica.....	97
Gráfico 16. Gráfico de radar para PM <sub>T</sub> al interior de las taquillas de Transmilenio.....	98
Gráfico 17. Gráfico de radar con los máximos índices WBGT obtenidos al interior de las taquillas de Transmilenio.....	99
Gráfico 18. Gráfico de araña para luminosidad- mañana al interior de las taquillas de Transmilenio. ....	100
Gráfico 19. Gráfico de araña para luminosidad- tarde al interior de las taquillas de Transmilenio. ....	101

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efectos atribuidos a la exposición de MP a corto y largo plazo. ....	34
Tabla 2. Thershold limit value (TLV's). ....	36
Tabla 3. Gasto energético por posición y movimiento del cuerpo. ....	38
Tabla 4. Gasto energético por tipo de trabajo. ....	38
Tabla 5. Enfermedades más frecuentes relacionadas con la exposición al calor. ....	40
Tabla 6. Efectos fisiológicos y psicológicos durante diferentes tiempos de exposición. ....	41
Tabla 7. Valores aceptables de temperatura en ambientes laborales. ....	42
Tabla 8. Límites permisibles de Estrés térmico para bajas temperaturas. ....	43
Tabla 9. Tipos de alumbrado en zonas de trabajo. ....	45
Tabla 10. Efectos atribuidos a la inadecuada iluminación. ....	45
Tabla 11. Límites permisibles de iluminación para diferentes puestos de trabajo. ....	47
Tabla 12. Marco legal del Proyecto. ....	48
Tabla 13. Tipo de vía de la Calle 26. ....	51
Tabla 14. Tipo de vía de la Carrera Décima. ....	60
Tabla 15. Estaciones de evaluación. ....	71
Tabla 16. Especificaciones en fecha (Semana-día) de cada uno de los monitoreos realizados. ....	72
Tabla 17. Tipo de recinto. ....	87
Tabla 18. Criterios de valoración para los niveles de iluminación. ....	88

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Impactos en el sistema respiratorio de acuerdo al tamaño de las partículas. ....	32
Imagen 2. Intercambio térmico entre el hombre y el ambiente laboral. ....	37
Imagen 3. Rendimiento laboral dependiendo la temperatura ambiente. ....	41
Imagen 4. Lux. ....	43
Imagen 5. Parámetros fundamentales que influyen en el rendimiento de un operario. ....	44
Imagen 6. Fatiga visual laboral. ....	46
Imagen 7. Diagrama de flujo del proyecto de investigación. ....	49
Imagen 8. Ubicación área de referencia y crítica troncal Calle 26. ....	51
Imagen 9. Ubicación General área crítica Carrera 10. ....	60
Imagen 10. Equipo QUESTemp 34 ThermalEnvironment y sus componentes. ....	77
Imagen 11. Luxómetro Extech 407026. ....	79
Imagen 12. Modelo de rangos de exposición. ....	85

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caudal estándar para el cálculo de la concentración de $MP_T$ .....	81
Ecuación 2. Caudal de muestreo para el cálculo de la concentración de $MP_T$ .....	82
Ecuación 3. Volumen de aire para el cálculo de la concentración de $MP_T$ .....	82
Ecuación 4. Concentración de $MP_T$ .....	83
Ecuación 5. Índice WBGT sin exposición solar .....	83
Ecuación 6. Índice WBGT con exposición solar.....	84

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de troncales sistema masivo de transporte Transmilenio
Anexo 2. Calibración bombas de muestreo personal
Anexo 3. Formato de campo
Anexo 4. Resultados día a día para cada estación

## ABREVIATURAS

**ACGIH** American Conference of Governmental Industrial Hygienists

**ASHRAE** American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

**C<sub>MPT</sub>** Concentración de material particulado total (mg/m<sup>3</sup>)

**EPA** Agency Protección Environmental

**ERA** Enfermedad Respiratoria Aguda

**GR** Grado de Riesgo

**Hr** Humedad relativa

**Kcal** Kilocaloría

**L** Litros

**LED** Light Emitting Diode

**m<sup>2</sup>** Metro cuadrado

**MP<sub>T</sub>** Material Particulado Total

**OMS** Organización Mundial de la Salud

**OSHA** Occupational Safety and Health Administration

**P<sub>amb</sub>** Presión atmosférica ambiente

**PM<sub>T</sub>** Material Particulado Total

**PM<sub>10</sub>** Material Particulado 10 micras

**P<sub>std</sub>** Presión atmosférica estándar (760 mm Hg)

**Q** Caudal de muestreo

**Q<sub>std</sub>** Caudal estandarizado

**T** Tiempo de medición

**T<sub>a</sub>** Temperatura seca del aire (°C / °F)

**T<sub>amb</sub>** Temperatura ambiente

**T<sub>g</sub>** Temperatura de globo

**T<sub>h</sub>** Temperatura húmeda

**TIEP** Tasa de Incidencia de Enfermedades Profesionales

**TLV's** Thershold LimitValue

**T<sub>std</sub>** Temperatura ambiente estándar (298 K)

**WBGT** Índice de estrés térmico

**W<sub>f</sub>** Peso del filtro después del monitoreo (gramos)

**W<sub>i</sub>** Peso inicial del filtro (gramos)

**V** Volumen de aire

**VLP** Valor Límite Permisible

## GLOSARIO

**Aire:** Fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

**Alamedas:** Conjunto de árboles que se encuentran cerca de un corredor vial.

**Ambiente extramural:** Ambiente exterior al aire libre que no es influenciado por lugares cerrados.

**Ambiente intramural:** Ambiente interior, confinado por paredes que influyen su comportamiento por estar encerrado.

**Atmósfera:** Capa gaseosa que rodea a la Tierra.

**Brillo:** Intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la misma. El ojo ve brillo no iluminación. Todos los objetos visibles tienen brillo, que normalmente es independiente de la distancia de observación. Pueden existir dos tipos de brillo:

- Directo o emitido: corresponde a las fuentes luminosas.
- Indirecto o reflejado: corresponde a los objetos iluminados.

**Contaminación atmosférica:** Presencia o acción de los contaminantes en condiciones tales de duración, concentración o intensidad, que afecten la vida y la salud humana, animal o vegetal.

**Edificio enfermo:** La Organización Mundial de la Salud lo ha definido como un conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en estos espacios cerrados.

Conjunto de molestias y enfermedades originadas en la mala ventilación, la descompensación de temperaturas, las cargas iónicas y electromagnéticas, las partículas en suspensión, los gases y vapores de origen químico y los bioaerosoles, entre otros agentes causales identificados.

El tipo de malestares que producen y estimulan estas situaciones es variado: jaquecas, náuseas, mareos, resfriados persistentes, irritaciones de las vías respiratorias, piel y u ojos, etc. Entre estos malestares, las alergias ocupan un papel importante.

**Emisión:** Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en algunas combinaciones de estos, proveniente de una fuente fija o móvil.

**Enfermedad respiratoria aguda:** Es un conjunto de patologías como neumonía, bronquiolitis, asma bronquial, traqueo bronquitis, entre otras, que afectan al sistema respiratorio, siendo causa muy frecuente de morbilidad y mortalidad.

**E.P.A:** Environmental Protection Agency. Agencia de protección del medio ambiente.

**Fuente de emisión:** Es toda actividad, proceso u operación realizada por seres humanos o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

**Iluminación:** La iluminación (E), es el flujo luminoso F (lumen) por unidad de superficie A (m<sup>2</sup>), es decir  $E = F/A$ .

**Inmisión:** Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”.

**Índice WBGT:** Proviene de que en su cálculo van a ser necesarios los valores de la temperatura húmeda, temperatura seca y temperatura de globo, medidas respectivamente mediante un termómetro de bulbo húmedo (Wet Thermometer), un termómetro de bulbo seco (Bulb Thermometer) y un termómetro de globo (Globe Thermometer), se establece cuándo una situación presenta riesgos de estrés térmico.

**Intensidad luminosa:** Flujo emitido en un ángulo sólido, en una dirección dada. Su unidad de medida es Candela. Densidad de luz dentro de un ángulo sólido extremadamente pequeño, en una dirección determinada.

**Luminancia:** Característica propia del aspecto luminoso de una fuente de luz o de una superficie iluminada en una dirección dada. Es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad; la mayor o menor claridad con que vemos los objetos igualmente iluminados depende de su iluminancia.

**Lux:** Unidad de medida del sistema métrico para cuantificar los niveles de iluminación. Equivale al nivel de iluminación que produce un lumen distribuido en un metro cuadrado de superficie. 1 Lux = 0.09729 Bujía-pie (Foot – Candle).

**Morbilidad:** Número proporcional de personas que enferman en población y tiempo determinados.

**Mortalidad:** Número proporcional de defunciones en población o tiempo determinados.

**Norma de calidad del aire o nivel de inmisión:** Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

**Material particulado total:** Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

**Temperatura de bulbo seco o de referencia:** Temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se ha apantallado de la radiación por algún medio que no restrinja la circulación natural del aire a su alrededor. Es la temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos. Tiene importancia cuando las mediciones se realizan en exteriores con carga solar.

**Temperatura de globo:** Temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo se encuentra alojado en el centro de una esfera de cobre hueca, de 15 cm de diámetro y pintada exteriormente de negro mate.

**Temperatura bulbo húmedo:** Temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se encuentra recubierto por una muselina empapada de agua, ventilado únicamente de forma natural y no apantallado de las fuentes de radiación. Esta es la temperatura parte de evaluar la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor.

**Tiempo de exposición:** Es el lapso de duración de un episodio o evento de contaminación.

**Estrés térmico:** Carga de calor o presión que el trabajador recibe y acumula en su cuerpo resultante de la interacción entre las condiciones ambientales del lugar de trabajo.

**Temperatura:** Nivel de intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra.

**Concentración de una sustancia en el aire:** Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de determinar la existencia o no de riesgos ocupacionales por estrés térmico, material particulado total y luminosidad a los trabajadores ubicados en el interior de las taquillas del sistema masivo de transporte (Transmilenio), en las troncales Carrera Décima y Calle 26. Los criterios de selección que se tuvieron en cuenta para la determinación de la zona de estudio, fueron: las características viales, condiciones del uso del suelo, condiciones estructurales y comportamiento de la flota vehicular, identificando así un área crítica y una de referencia. Para el área crítica se escogieron dos estaciones de la troncal Carrera Décima (Museo Nacional, Avenida Primera de Mayo), y dos de la troncal Calle 26 (Avenida Rojas, portal Dorado), en cuanto al área de referencia se seleccionaron cuatro estaciones de la troncal Calle 26 (Salitre- El Greco, CAN, Gobernación y Quinta Paredes).

Para la toma de muestras se utilizaron tres equipos de medición (un *QUESTemp 34 Thermal Environment*, dos Bombas portátil Gilian y un Luxómetro), los cuales fueron instalados en el interior de cada una de las taquillas seleccionadas por un periodo de tres meses aproximadamente iniciando el 16 de septiembre y finalizando el 5 de diciembre del 2014, tomando 96 muestras de material particulado total y 192 muestras de estrés térmico y luminosidad. Posteriormente se realizaron los ensayos de laboratorio (acondicionamiento de filtros, pesaje de filtros y descarga de datos) necesarios para la cuantificación de los resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los resultados finales se pudo determinar que las estaciones Portal Dorado y Museo Nacional, exceden los valores límites permisibles de material particulado total en interiores; en cuanto al comportamiento del confort térmico, no se encontró estrés térmico por calor ni por frío durante el muestreo, estableciendo así la inexistencia de riesgos ocupacionales para el personal de trabajo. Con respecto a la luminosidad, ninguna de las estaciones evaluadas se encuentran dentro del rango permitido por los Threshold limit value (TLV's), evidenciándose riesgos ocupacionales por luminosidad tanto de exceso como déficit.

Se recomienda en las estaciones donde se presentaron riesgos ocupacionales por material particulado total (Museo Nacional and Portal Dorado) y luminosidad aplicar las recomendaciones generadas en el presente documento.

Palabras claves: Material particulado total, Estrés térmico, Luminosidad, Riesgos ocupacionales, TLV's.

## SUMMARY

The present research was conducted in order to determine the existence of occupational hazards due to heat stress, total particulate matter and light inside the desk of a massive transport system(Transmilenio) located in the trunk of 26<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> street. The selection judgment that was taken into account when determining the study área were the road characteristics, social, structural conditions and performance of the vehicle fleet,thus identifying a crítica area and the reference. For the crítica área two stations of Carrera 10th (Museo Nacional, Avenida Primera de Mayo) backbone, and two of the trunk of 26<sup>th</sup> Street (Avenida Rojas, Portal Dorado), were chosen as the reference área were selected four sections of the trunk 26<sup>th</sup> Street (Salitre-El Greco, CAN, Gobernación and Quinta Paredes).

Three teams measurements were used for sampling (*QUESTemp 34 Thermal Environment*, portable pumps Gilian, light meter), which were installed inside each of the selected lockers for a period of three months (September, October and November) taking 96 samples of total particulate matter and 192 samples of thermal stress and luminosity. Subsequently laboratory tests were made (conditioning filters, weighing filters and download data) necessary for the quantification of the results.

After obtaining the final results it was determined that the stations (El portal Dorado y Museo Nacional), exceed the permissible limit values of total particulate matter indoors. This research adopted the threshold limit value (TLV's) as reference measurement, which is accepted by the government of Colombia and Occupational Safety and Health Administration (OSHA). On the behavior of thermal comfort, heat stress was not found by either heat or cold during sampling, thus establishing the absence of occupational hazards to personnel working. Regarding brightness, none of the stations were evaluated with in the range allowed by thershold limit value(TLV's), showing occupational risks brightness.

It is recommended in stations where there were occupational hazards for total particulate matter(Museo Nacional and Portal Dorado) and light, implement the recommendations generated in the present document.

Key words: Total particulate matter, Thermal stress, Light, Occupational hazards, TLV's.

## INTRODUCCIÓN

Tras la llegada del Transmilenio en el año 2000, la ciudad de Bogotá presentó una evolución positiva en términos visuales, estructurales y urbanísticos, reduciendo notablemente los tiempos de recorrido al interior de la ciudad, lo que generó una expansión acelerada de dicho sistema por las diferentes vías de la ciudad.

Al implementarse el sistema Transmilenio en Bogotá, se observó una disminución gradual de los niveles de contaminantes atmosféricos que se venían presentando causados por los antiguos vehículos públicos de la ciudad, dicha reducción ha permitido que el sistema cumpla el marco legal propuesto por la resolución 910/ 2008. Aunque la flota vehicular del sistema presenta un cumplimiento normativo, es de gran importancia contextualizar el funcionamiento de este sistema dentro de la ciudad, ya que la gran mayoría de vías por las cuales transita diariamente el sistema de Transmilenio, son compartidas por vehículos de carga, servicio particular, escolar y vehículos de transporte públicos convencionales, lo que genera importantes problemáticas de contaminación atmosférica para la ciudad y la población civil expuesta.

Aunque numerosas entidades públicas y privadas han realizado investigaciones sobre las condiciones medioambientales al interior de los puestos de trabajo, en diferentes puntos de tránsito crítico; no se ha evaluado aún la incidencia de factores tales como temperatura, iluminación y material particulado total sobre la salud de los trabajadores que a diario laboran en el interior de las taquillas del sistema masivo de transporte Transmilenio; partiendo de esto, es importante realizar una investigación que permita evaluar factores como: Estrés térmico, concentración de material particulado total y niveles de iluminación al interior de estas taquillas, estableciendo así el cumplimiento o no de la normatividad legal pertinente y los posibles efectos a la salud a causa de la exposición continua de los trabajadores con los factores anteriormente citados; planteando alternativas de control y manejo en caso de existir efectos negativos y posibles riesgos laborales.

Durante el periodo de Julio - Agosto del 2014 se escogió estratégicamente la ubicación de 8 estaciones dentro de las dos troncales de investigación (Carrea Décima- Calle 26) de las cuales 4 correspondieron a estaciones críticas (Museo nacional, Avenida Primera de Mayo, Avenida Rojas y Portal Dorado) ubicadas en una zona de mayor problemática según las observaciones registradas por los autores y los antecedentes descritos por los administrativos y trabajadores del sistema masivo de transporte, y 4 estaciones de referencia (Salitre- El Greco, CAN, Gobernación y Quinta Paredes) en una zona de menor exposición, donde se presentan condiciones laborales visiblemente favorables. Posterior a la selección de las estaciones sujetas a investigación, se realizó un monitoreo continuo que inicio el mes de Septiembre y finalizo en Diciembre del 2014, obteniendo un total de 12 datos de Material particulado total, 24 datos de Estrés Térmico y 24 datos de luminosidad para cada una de las estaciones de estudio.

## JUSTIFICACIÓN

Dada la problemática de contaminación del aire presente en el área de estudio y las opiniones de algunos trabajadores del sistema de transporte masivo Transmilenio, surge la necesidad de realizar una investigación que permita evaluar las condiciones laborales en el interior de las estaciones, ya que el Gobierno Distrital y las diferentes entidades encargadas de vigilar la calidad del aire en la ciudad, no han prestado la atención adecuada a la evaluación de las condiciones que allí se presentan, y como han certificado numerosos investigadores nacionales e internacionales son tan graves las problemáticas de contaminación atmosférica indoor como outdoor.

Paralelo a esto, las dos áreas de investigación (troncal Calle 26 –troncal Carrera Décima), presentan condiciones medioambientales diferentes, la primera muy favorable (área de referencia) con espacios amplios, poca presencia de industrias y velocidades de movilidad altas, mientras que la segunda (área crítica) muy cercana a la malla vial, múltiples zonas de comercio, velocidades de movilidad bajas y rodeada por gran cantidad de obras inconclusas, presenta un estado crítico el cual debe ser evaluado lo más pronto posible.

Según lo nombrado anteriormente fue necesario plantear alternativas de prevención y control de acuerdo con los resultados obtenidos, fomentando el cumplimiento del derecho fundamental a un ambiente sano.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los niveles de estrés térmico, material particulado total y luminosidad en las taquillas, ubicadas al interior de las estaciones de Transmilenio de las troncales Carrera Décima y Calle 26, determinando la existencia o no de riesgos ocupacionales para el personal expuesto.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnóstico de las condiciones de los ambientes de trabajo en las taquillas de las troncales Carrera Décima y Calle 26, seleccionando las estaciones que serán objeto de medición.
- Establecer los niveles de Estrés térmico, iluminación y material particulado total, y verificar si cumplen o no con la normatividad legal pertinente para ambientes laborales internos.
- Establecer recomendaciones para aquellas estaciones donde se establezcan niveles de riesgos ocupacionales, de tal modo que puedan ser incluidas en el plan de acción laboral de la empresa Transmilenio S.A.

## 2. ANTECEDENTES

El sistema masivo de transporte Transmilenio nace durante el gobierno del ex alcalde Enrique Peñalosa en el año 2000, donde incluyó en su programa de gobierno este proyecto para ofrecer una solución al problema del transporte público. Durante este mandato se determinó la construcción de una infraestructura especial destinada de manera específica y exclusiva a su operación, a partir de corredores, troncales especializadas dotada de carriles de uso único, estaciones, puentes, ciclorutas y plazoletas de acceso peatonal especial, diseñados para facilitar el uso del sistema a los usuarios. Las primeras rutas que comenzaron a operar en el sistema masivo de transporte , fueron la troncal de la Caracas seguido de las troncales Autonorte y Calle 80; posteriormente en el segundo periodo de administración del alcalde se incluyeron tres nuevas troncales de transporte masivo: troncal Américas, NQS y Avenida Suba. En la administración de alcalde Gustavo Petro entraron a operar las troncales de la Avenida El Dorado y Carrera Décima.

Actualmente el sistema cuenta con 112,9 kilómetros de vía en troncal de operación, 12 troncales de operación, 134 estaciones, 9 portales y 9 patio garajes, por otro lado moviliza en promedio 1.926.985 pasajeros diarios cubriendo el 30% de la demanda de transporte público de Bogotá. Aunque la llegada de Transmilenio mejoró notablemente las condiciones de transporte y urbanización de la ciudad, se han generado diferentes problemáticas a nivel ambiental, según un estudio realizado por la Universidad Nacional, un 18% del material contaminante de Bogotá corresponde a los buses de la fase 1 de Transmilenio, además el estudio muestra que los buses de Transmilenio emiten aproximadamente un 70% de contaminación en las zonas que opera. En cuanto al área ocupacional del sistema, la empresa Recaudo Bogotá S.A.S, ha realizado algunos estudios acerca de las condiciones ambientales en los puestos de trabajo de los operarios que a diario operan en el sistema; uno de estos estudios fue realizado en 4 estaciones (Nieves, Corferias, Portal Dorado y Modelia), el cual tenía como fin analizar las condiciones lumínicas en dichas estaciones, por otro lado se han realizado estudios de confort térmico en las estaciones Avenida Rojas, Portal Dorado y Museo Nacional. En el *anexo No 1*, se puede observar el esquema actual de las troncales del sistema masivo de transporte Transmilenio.

La ciudad de Bogotá en los últimos años ha mostrado un crecimiento económico importante, lo que ha generado una mayor demanda de recursos como transporte, vías y espacios de comercio; al aumentar la carga de vehículos y de personas en los diferentes puntos de la ciudad surgen importantes problemáticas de contaminación atmosférica indoor como outdoor, debido a las partículas generadas por los vehículos automotores y las actividades antrópicas que se realizan alrededor de estas concurridas áreas. Al aumentar las partículas suspendidas en el aire, aumentan las problemáticas a la salud de las personas expuestas. Las problemáticas son tan graves que la ciudad de Bogotá ha sido reconocida como el tercer centro urbano con mayor contaminación atmosférica en América latina (Organización Panamericana de la Salud, 2005). En la *fotografía No 1*, se evidencia la contaminación atmosférica sobre la ciudad de Bogotá.

**Fotografía 1.** Evidencia de contaminación sobre la ciudad de Bogotá, tomada desde la Universidad de la Sallé- mayo 2015.



**Fuente:** Elaboración propia

El médico Italiano Bernardino Ramazzini (1633-1714), que ejerció su profesión como docente en la universidad de Modena y posteriormente como catedrático de medicina de Padua, es reconocido como el padre de la medicina ocupacional. Fue el primer investigador que efectuó estudios sistemáticos sobre diversas actividades laborales, observando con perspicacia que algunas enfermedades se presentaban con mayor frecuencia en determinadas profesiones (Bedoya, 2010).

Junto con el material particulado existen otros parámetros claves como lo son el estrés térmico y las condiciones lumínicas que se convierten en determinantes a la hora de desarrollar ambientes laborales adecuados y armónicos. Según lo cita la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el mundo hay cientos de millones de personas que trabajan bajo condiciones inseguras poniendo en riesgo su salud. Cada año 1,1 millones de personas en todo el mundo mueren a causa de lesiones y enfermedades ocupacionales; y por año suceden 160 millones de casos nuevos de enfermedades laborales.

A continuación se citan diversos estudios, en los cuales se involucran los parámetros evaluados (material particulado total, estrés térmico y luminosidad) en la presente investigación, y se muestra como estos han causado importantes problemáticas ocupacionales y de salud pública alrededor de Colombia y el mundo.

## 2.1 ESTUDIOS INTERNACIONALES

Numerosos estudios realizados por investigadores internacionales, han demostrado que la problemática de contaminación atmosférica en ambientes interiores es tan significativa como en ambientes exteriores y afecta de igual forma a países del primer y tercer mundo. Un estudio realizado por ThadGodish en la ciudad de Kansas City (U.S), comprobó que la concentración de  $PM_{10}$  presente en las atmósferas interiores de las casas era superior que las áreas comunes exteriores, lo que generaba importantes problemáticas de salud pública para los habitantes de la ciudad (Godish, 1989).

Investigaciones realizadas en Sur América, por el Programa de Biología Celular y Molecular en la Facultad de medicina de la Universidad de Chile, han demostrado, el efecto de los contaminantes sobre la salud de las personas. El estudio fue realizado entre junio y octubre de 1997 en el sector del Castillo, en la comuna de La Pintana, ubicada en la periferia sur de la ciudad de Santiago (17 km), y tuvo como objetivo caracterizar las fuentes más importantes e identificar y cuantificar los principales contaminantes de ambientes interiores; el monitoreo se realizó en 24 casas, donde había presencia de menores de edad, y en donde se presentaba mayor frecuencia de consultas médicas por afecciones respiratorias. Como resultado del monitoreo de contaminantes en ambientes interiores, las concentraciones de los contaminantes estudiados, entre ellos material particulado y monóxido de carbono, fueron significativamente mayores en interiores que en exteriores, con concentraciones promedio interiores hasta ocho veces superior a las concentraciones promedio exteriores (Cáceres, y otros, 2001). La problemática de contaminación in door, trasciende aun en países donde resultan escasos los estudios dirigidos a la evaluación de calidad del aire en interiores; este es el caso de Cuba, en donde se realizó una investigación, por el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología en el año 2006; el cual describe las concentraciones de contaminantes seleccionados en el aire interior de la vivienda y sus efectos en la salud humana. El proyecto se llevó acabo en el interior de viviendas, durante cinco días consecutivos; en efecto las concentraciones de  $MP_T$  fueron considerables en el interior, por otro lado las concentraciones de dióxido de azufre duplicaron las del exterior; esta mayor acumulación se debe, además de la filtración de contaminantes externos, a las fuentes internas de combustión, en este caso las cocinas de gas (Molina Esquivel & Cuba Valdes, 2006).

En el 2007, investigadores venezolanos evaluaron el riesgo por iluminación en puestos de trabajo de oficinas y talleres ubicados en las instalaciones de Petróleos de Venezuela S.A, estableciendo como resultados que cerca de la mitad de los puestos ocupacionales evaluados en esta empresa no cumplían los rangos permisibles por la normatividad legal vigente. De un total de 558 puestos de trabajo, 266 de ellos presentaban niveles de iluminancia por debajo de 500 lux. Lo que indica que el 47,67% de las personas que laboran en estos puestos, se encuentran en situación de riesgo por iluminación (Corredor, Edwin, & Sánchez, 2008).

Para la evaluación de las condiciones lumínicas en ambientes internos, es importante estudiar la naturaleza de la onda de luz ya que de ahí se derivan diversos índices de eficiencia y ahorros económicos, investigadores como el profesor Li, Linjie de la

universidad de Kansas City han comparado luminarias convencionales (lámparas fluorescentes) con luminarias LED; en esta investigación se realizó una evaluación subjetiva de la calidad de la luz y la satisfacción del desempeño laboral. Se utilizó una fotografía de rango amplio y dinámico como una forma novedosa de medición de luz en las oficinas. Los resultados revelaron que la iluminación LED tenía mayor consistencia en el desempeño para el color que la fluorescente, así como mayor satisfacción en cuanto a tareas de digitación. La iluminación LED podía reducir el consumo de energía luminosa (alrededor de 65,5% en este estudio) sin ningún impacto negativo sobre la ergonomía en la oficina (Linjie, 2013).

En cuanto al estrés térmico, se han realizado varias investigaciones a nivel internacional, en donde los trabajadores están expuestos a cambios bruscos en la temperatura, afectando así su salud física y su espacio laboral. Una investigación realizada en Costa Rica por el Colegio de Enfermeras de dicho país, evaluó la exposición a altas temperaturas de los operarios de unos hornos de una industria de galletas, los cuales se exponen a la emisión de calor durante la jornada de 8 horas diarias, como resultado final los datos mostraron que a pesar de la exposición de los trabajadores a las altas temperaturas, el metabolismo es bajo, por lo que existe un alto porcentaje de insatisfechos, pero no existe un riesgo por estrés térmico (Espinoza & Suárez, 2005).

## **2.2 ESTUDIOS NACIONALES**

Una investigación realizada por la Universidad Javeriana en el año 1999 la cual fue llamada "Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Santafé de Bogotá" pudo establecer una asociación significativa entre el incremento en la concentración másica de material particulado en el aire y el aumento en el número de consultas por enfermedad de vía aérea, superior en menores de 14 años, basado en datos de los hospitales de los barrios Venecia, Bosa y Trinidad Galán. El estudio predice, a partir de sus resultados, que una disminución de PM<sub>10</sub> en 10µg/m<sup>3</sup> produciría una disminución del 17% en el número de consultas por síntomas de enfermedades respiratorias (Solarte, Caicedo, & Restrepo, 2002), lo cual se convierte en un dato importante a tener en cuenta a la hora de manejar poblaciones humanas.

En un estudio realizado en vías de alto flujo en Bogotá, se determinó la mayor concentración de PM<sub>2.5</sub> en el corredor de la Calle 19 (92.68µg/m<sup>3</sup>), siendo 1.2 veces mayor que en el corredor de la Avenida Jiménez (78.03µg/m<sup>3</sup>) (Ruiz, 2006). Lo anterior es concordante con el proyecto adelantado por (Espinoza Valderrama, Rojas, & Gómez, 2005), en el que se determinó una concentración de PM<sub>2.5</sub> tres veces mayor en el corredor de la Carrera Séptima (Sistema de Transporte Público Colectivo) que en el de la Avenida Caracas (Sistema de Transporte Público Masivo).

En el estudio "Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá" se estableció que los niveles de concentración de material particulado en las inmediaciones de los colegios distritales evaluados, son elevados y superiores a los valores de referencia que han sido considerados como nocivos para la salud de poblaciones sensibles por la OMS. Las

concentraciones registradas son de especial preocupación teniendo en cuenta que los menores permanecen en sus instituciones educativas por periodos de ocho horas o más, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el colegio distrital seleccionado como control (Área rural-baja contaminación) y las concentraciones encontradas en los otros tres colegios (Áreas crítica próximas a vías del alto flujo) (Franco, y otros, 2009).

Por otro lado, La Cámara de Comercio de Bogotá en su informe final "*Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo*" pudo evidenciar que los niveles de contaminación por material particulado registrados en cercanías a la Avenida Carrera Séptima tienden a ser mayores que en otras zonas de la ciudad (Behrentz, 2006). Esto es en gran parte debido al nivel de congestión vehicular asociado al transporte público colectivo que se presenta en diferentes sectores de esta avenida. Lo que se convierte en un aspecto interesante al evaluar los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que la estación Museo Nacional ubicada en la Avenida Carrera Séptima presentó concentraciones de MP<sub>T</sub> más altas que en las otras estaciones de análisis.

Otra investigación realizada por la Universidad Javeriana demostró que el estrés térmico es una variable que afecta comúnmente las condiciones y eficiencia laboral. En este estudio realizado a los conductores de vehículos de carga de la región central del país se pudo demostrar, que las condiciones de temperatura generada por el motor y el reducido espacio laboral estaban provocando continuas fatigas, que generaban desconcentración y molestias continuas en los trabajadores. Que vistas desde este contexto laboral se podrían ver reflejadas en accidentes e ineficiencias laborales (Sánchez García & Forero Henao, 2004).

Un estudio realizado por la compañía SISOMAC S.A.S en el año 2013 en la estación Avenida Rojas, la cual presta el servicio de asesora en riesgos laborales, demostró que las condiciones de temperatura para las zonas evaluadas muestran valores con un 67 % respecto a la evaluación, con calificación caluroso, y el restante 23% respecto a la evaluación, con calificación ligeramente caluroso según la ASHRAE, lo cual indica que existe la necesidad de intervenir en el manejo de la temperatura medioambiental. De acuerdo al este estudio el 76,1 % de la población trabajadora presenta disconfort con el ambiente térmico, es decir el área evaluada presenta este porcentaje de disconfort, con base a su área de trabajo con TRM ponderado de 31,4. Se concluye que en las áreas evaluadas existen condiciones que se pueden presentar y generar por espacios de tiempo disconfort térmico en la población trabajadora, este fenómeno se presenta por las altas temperaturas, la humedad, el factor físico de la taquilla, sumado ello la falta de ventilación para recambios de microclima dentro de la misma que afecta al manejo medioambiental.

### 3. MARCO TEÓRICO

Numerosos episodios de contaminación atmosférica a lo largo de la historia (Italia 1976, Londres 1952, entre otros), han motivado diferentes investigaciones para la implementación de alternativas que permitan reducir y controlar los efectos negativos de estos eventos sobre la población humana. Según lo definido por el autor Parker (Parker, 2001), "cada persona respira en promedio de 14 a 18 Kg de aire al día, mientras que solo consume de 1,5 a 2 Kg de agua en una u otra forma, y no más de 0,7 Kg de materia sólida seca como alimento". Al determinar la importancia del aire como constitutivo de vida surge la necesidad de evaluar las partículas totales suspendidas, estrés térmico y luminosidad ; como elementos perjudiciales en ambientes laborales internos de alta exposición, ya que según lo indicado por la EPA (EPA, 2014), muchos de los efectos inmediatos a la salud (irritación de los ojos , nariz y garganta, dolores de cabeza , mareos y fatiga) están directamente relacionados con la contaminación atmosférica indoor y podrían ser corregidos oportunamente si se tuviera una evaluación adecuada de dichos contaminantes; además de esto, exposiciones continuas a estos contaminantes podrían presentar importantes efectos a largo plazo como cáncer, enfermedades al corazón, problemas cardiovasculares que podrían generar un debilitamiento significativo a la salud de la persona expuesta, incluso la muerte.

Además de lo anteriormente citado la contaminación atmosférica ha generado un incremento gradual en los costos por tratamientos a la salud, como lo demuestra el estudio " Colombia: Strengthening Environmental and Natural Resources Institution" realizado por el Banco Mundial en el 2012, el cual estima que los costos en la salud que representa este tipo de contaminación han pasado del 0.8 % del PIB al 1.1 % del PIB en el 2009.

Al citar estos ejemplos es importante que las empresas y directivos de las mismas busquen condiciones óptimas de confort laboral con el fin de reducir riesgos y aumentar la eficiencia productiva de los trabajadores, según Dounis (Dounis & Caraiscos, 2008), las condiciones óptimas de confort en el interior de un edificio u oficina se pueden determinar a partir de tres factores determinantes: el confort térmico, el confort visual y la calidad del aire.

Así mismo la Oficina regional del Pacífico oeste de la OMS (OMS, 1999), define un entorno de trabajo saludable como: " Un lugar donde todos trabajan unidos para alcanzar un visión conjunta de salud y bienestar para los trabajadores y la comunidad; esto proporciona a todos los miembros de la fuerza de trabajo, condiciones físicas, psicológicas, sociales y organizacionales que protegen y promueven la salud y la seguridad, además esto permite a los jefe y trabajadores tener cada vez mayor control sobre su propia salud, mejorarla y ser más energéticos, positivos y felices."

### 3.1 RIESGOS

Los riesgos ocupacionales son la probabilidad de que un objeto material, sustancia o fenómeno pueda potencialmente desencadenar perturbaciones en la salud o integridad física del trabajador.

Existen diferentes tipos de riesgos que afectan la calidad de vida de las personas que laboran en lugares en donde las condiciones de trabajo no son las más óptimas; de acuerdo con el Ministerio de Trabajo (Mintrabajo, 2013), se encuentran distintos riesgos ocupacionales ocasionados por actividades laborales como lo son:

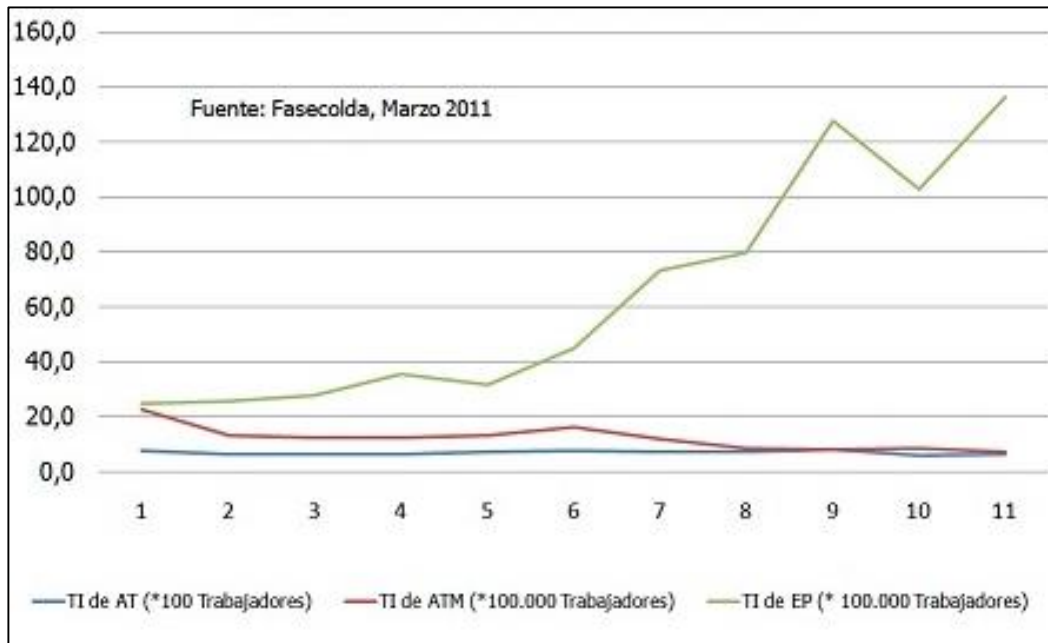
- **Físicos:** Originados por iluminación inadecuada, ruido, vibración, temperatura, humedad, radiaciones, electricidad y fuego.
- **Mecánicos:** Generados por la maquinaria, herramientas, aparatos de izar, instalaciones, superficies de trabajo, orden y aseo. Son factores asociados a la generación de accidentes de trabajo.
- **Químicos:** Originados por la presencia de polvos minerales, vegetales, polvos y humos metálicos, aerosoles, nieblas, gases, vapores y líquidos utilizados en los procesos laborales.
- **Biológicos:** Por el contacto con virus, bacterias, hongos, parásitos, venenos, sustancias sensibilizantes de plantas y animales. Los vectores como insectos y roedores facilitan su presencia.
- **Ergonómicos:** Originados por la posición, sobreesfuerzo, levantamiento de cargas y tareas repetitivas. En general por uso de herramientas, maquinaria e instalaciones que no se adaptan a quien la usa.
- **Psicosociales:** Los generados en organización y control del proceso de trabajo. Pueden acompañar a la automatización, monotonía, repetitividad, parcelación del trabajo, inestabilidad laboral, extensión de la jornada, turnos rotativos y trabajo nocturno, nivel de remuneraciones, tipo de remuneraciones y relaciones interpersonales.

Otro tipos de riesgos laborales son los ocasionados por lugares de trabajo inadecuados, equipos de trabajo, riesgos por incendio o explosión, radiaciones, trabajos con pantallas de visualización de datos, nanotecnologías, entre otros.

La accidentalidad en ambientes laborales ha venido disminuyendo gradualmente en la última década, ya que la mayoría de instituciones y empresas han implementado programas para evitarlos; sin embargo, Fasecolda (Federación de aseguradores de Colombia), ha reportado un aumento en la tasa de incidencia de enfermedades

profesionales en los últimos años, en el *gráfico No 1*, se puede observar el comportamiento de la TIEP EN 100.000 trabajadores. Es de vital importancia evaluar las condiciones medioambientales en el espacio laboral, para así garantizar la salud de los trabajadores y prevenir futuras enfermedades.

**Gráfico 1.** Evolución de la tasa de incidencia de enfermedades profesionales.

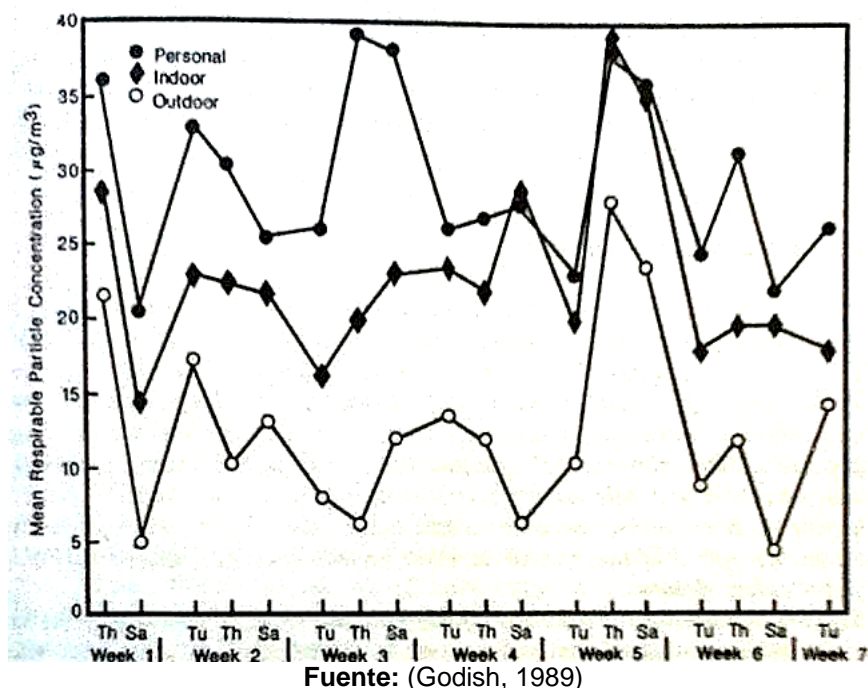


Fonte: (Fasecolda, 2011)

### 3.2 MATERIAL PARTICULADO (MP<sub>T</sub>)

En un estudio internacional realizado por Thad Godish en la ciudad de Kansas City (U.S) se ve la correlación del material particulado presente en ambientes interiores y exteriores, donde demostró que la contaminación atmosférica indoor era más representativa y perjudicial que la contaminación atmosférica exterior. Dicho estudio estableció también, que el personal expuesto a la contaminación atmosférica indoor estaba en contacto con concentraciones de hasta 40 µg/m<sup>3</sup>, las cuales superaban en más del 100 % las concentraciones analizadas en el aire ambiente exterior. El *gráfico No 2*, muestra el comportamiento del material particulado en cada uno de los ambientes evaluados por el autor en su investigación:

**Gráfico 2.** Relaciones de PM<sub>10</sub> en ambientes internos y externos en Kansas City (U.S) para diferentes tiempos de exposición.



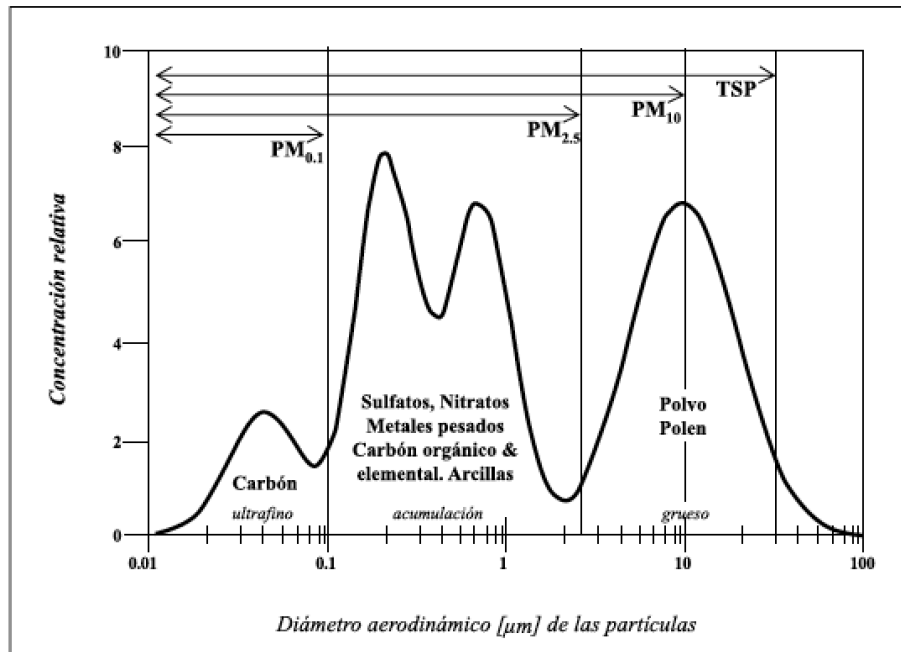
Para el caso propio de estudio, la contaminación del aire en Bogotá se da por diversos agentes, dentro de los cuales el que más sobrepasa el límite de la norma de calidad de aire es el material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>). Las mediciones en espacios extramuros han mostrado valores promedio diarios que exceden la norma de calidad de aire en el 70 % de los días del año. También se ha evidenciado la presencia de PM<sub>10</sub> en espacios intramuros como extensión de la contaminación extramural o por la presencia de fuentes de emisión dentro de los mismos espacios (Aristizabal, Hernández, & Medina, 2009).

Los mayores aportes al PM<sub>10</sub> en Bogotá están constituidos por fracciones carbonáceas, las cuales están asociadas principalmente a las fuentes de combustión, tanto fijas como móviles. La fracción mineral, asociada a polvo fugitivo o resuspendido por fuentes móviles (Vargas & Rojas, 2010).

El material particulado es un contaminante de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño, y densidad), sino también por sus características químicas, ya que está compuesto por mezclas de carbón elemental, compuestos de carbón orgánico y compuestos como metales pesados, óxidos de metal, ácidos condensados, sulfatos y nitratos (Harrison & Yin, 2000), estas características son críticas para determinar el tipo y magnitud de los efectos sobre la salud humana. A continuación en el *gráfico No 3*, se muestra un estudio preliminar del material particulado de fuentes estacionarias con la concentración relativa de material particulado (Prendez, Corvalan, & Cisternas, Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias:

Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile, 2007).

**Gráfico 3.** Composición de partículas suspendidas totales.



**Fuente:** (Prendez, Corvalan , & Cisternas, Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile, 2007)

El material particulado presente en la atmósfera tienen un rango de tamaño entre 0,001 y 50 µm (Morawska, Thomas , Jamriska, & Johnson, 1999). La fracción de aerosoles respirables con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm (PM<sub>10</sub>), penetran a diferentes profundidades del sistema respiratorio. Las partículas más pequeñas son respirables en mayor porcentaje. Las partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 µm son 100% respirables (PM<sub>2,5</sub>). Las partículas más pequeñas de 0,5 µm pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en los alvéolos pulmonares (Prendez, Ortiz, Zolezzi, & Campo, 1991).

En el diámetro de un cabello humano podrían caber al menos 5 partículas de material particulado de 10 micrómetros, las cuales por su tamaño ya pueden penetrar las vías respiratorias. El material particulado está constituido por una mezcla de partículas sólidas y de gotas líquidas encontradas en el aire. Varias partículas pueden ser vistas por el ojo humano: polvo, hollín, humo y otras más pequeñas no son visibles sino solo bajo el microscopio. Las partículas más pequeñas varían de forma y tamaño y pueden estar compuestas por gran cantidad de sustancias químicas. Su efecto sobre la salud humana puede deberse a su tamaño, su composición química y su contenido microbiológico (Sarnat & Brown, 2005).

El comportamiento de las partículas en la atmósfera está determinado por su tamaño, siendo las de menor tamaño afectadas por movimientos de tipo browniano y las de mayor tamaño por fuerzas gravitacionales e inerciales (Lazar, Reilly, & Whitten, 1999).

El material particulado analizado en la presente investigación es tomado como polvo total. En su definición, el polvo es una cantidad de partículas sólidas que se encuentran dispersas en el aire que proceden de una disgregación. Este tipo de partículas, denominadas también  $MP_T$ , son susceptibles de llegar hasta los alveolos pulmonares de los seres humanos (Rojas, 2005).

### 3.2.1 Efectos en la salud

La presencia de  $MP_T$ , conocidas como inhalables y  $PM_{10}$ , que son respirables, han sido asociadas con la mortalidad y morbilidad de los seres humanos. Se ha observado un incremento del 0,7 al 1,6% en la mortalidad diaria, por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en la concentración de partículas (Pietrini, Sandra, & Alfredo, 1998). En la *imagen No 1* se puede evidenciar los impactos de dichas partículas en el sistema respiratorio.

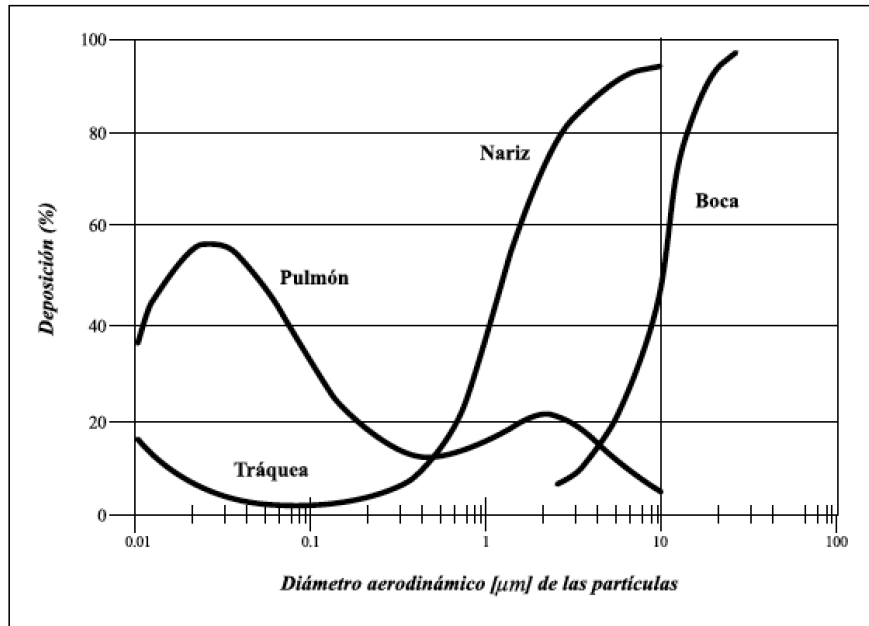
**Imagen 1.** Impactos en el sistema respiratorio de acuerdo al tamaño de las partículas.



Fuente: (Pietrini, Sandra, & Alfredo, 1998)

El autor Swisscontact en el Programa aire puro realizado en 2001, definió la permanencia de las partículas suspendidas totales en 4 importantes partes del sistema respiratorio, obteniendo los mayores tiempos de residencia para las partículas más finas.

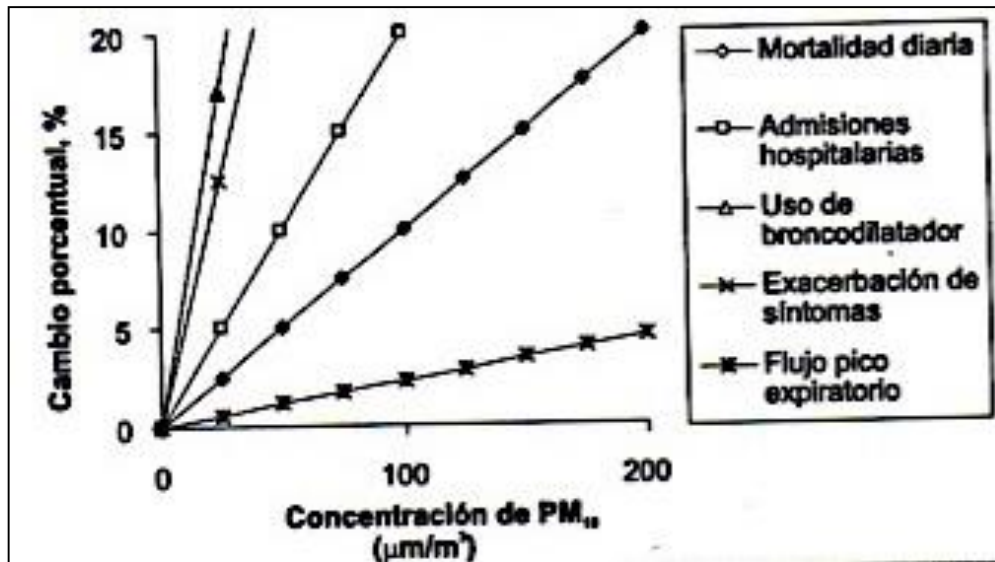
**Gráfico 4.** Permanencia de las partículas suspendidas totales en el sistema respiratorio.



Fuente: (Swisscontact, 2001)

El gráfico No 5, muestra las diferentes afecciones respiratorias y cardiovasculares, presentadas para diferentes cambios porcentuales en la concentración de  $\text{PM}_{10}$ :

**Gráfico 5.** Relaciones de  $\text{PM}_{10}$  con diferentes indicadores de efectos sobre la salud.



Fuente: (Dockery & Spengler, 1993)

A nivel cardiovascular se ha demostrado que la exposición a MP, genera incremento en la frecuencia cardiaca, así como induce a la aterosclerosis acelerando la obstrucción

sanguínea; además aumenta la producción de fibrinógeno e inducción de trombosis, favoreciendo la aparición clínica del síndrome agudo coronario. Otro de los efectos respiratorios encontrados por exposición aguda a material particulado, es la afección de la función nasal causando síntomas como discomfort, obstrucción y sequedad de la mucosa (García, 2009).

Los síntomas relacionados con material particulado, varían dependiendo del tiempo de exposición, a corto y a largo plazo, como muestra la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Efectos atribuidos a la exposición de MP a corto y largo plazo.

<b>Efectos atribuidos a la exposición de corto plazo</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mortalidad diaria.</li><li>• Ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.</li><li>• Consultas de urgencia por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.</li><li>• Consultas en atención primaria por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.</li><li>• Uso de prescripciones respiratorias y cardiovasculares.</li><li>• Días de actividad restringida.</li><li>• Ausentismo laboral.</li><li>• Ausentismo escolar.</li><li>• Síntomas agudos (sibilancias, tos, expectoración, infecciones respiratorias).</li><li>• Cambios fisiológicos (función pulmonar).</li></ul>
<b>Efectos atribuidos a la exposición de largo plazo</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.</li><li>• Incidencia y prevalencia de enfermedades respiratorias crónicas (asma, EPOC, cambios patológicos crónicos).</li><li>• Cambios crónicos en funciones fisiológicas.</li><li>• Enfermedad cardiovascular crónica.</li><li>• Cáncer pulmonar.</li><li>• Restricción en el crecimiento intrauterino (bajo peso en partos de término, retardo del crecimiento intrauterino, baja talla para la edad gestacional).</li></ul>

**Fuente:** (OMS, 2006)

La mayoría de actividades que realiza el hombre a lo largo del día ,están ubicadas en el campo laboral ,en donde las buenas condiciones de trabajo permiten la seguridad, confort y rendimiento de los trabajadores; por eso el espacio donde se desarrollan las actividades laborales deben ser los más confortables y agradables.

### 3.2.2 Valores límites permisibles

En muchos países se han establecido límites de exposición profesional para la exposición biológica y la inhalación de agentes químicos y físicos. Hasta la fecha, de las más de 60.000 sustancias químicas de uso comercial, unas 600 han sido evaluadas por distintas organizaciones y países. Los principios que justifican los límites son determinados por las organizaciones que los establecen. Los límites más utilizados, llamados valores límite umbral (TLV), son los que establece en Estados Unidos la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH).

La ACGIH es una asociación con sede en USA que agrupa a más de 3000 profesionales de la higiene del trabajo que desarrollan su labor en instituciones públicas y universidades de todo el mundo. Los valores que establece la ACGIH se denominan "Threshold Limit Values" (TLV) y se basan exclusivamente en criterios científicos de protección de la salud. Estos valores TLV'S son sólo unos límites recomendados, pero gozan de un elevado prestigio en el mundo de la Higiene Industrial. Normalmente, cuando se citan los valores TLV'S de USA sin más especificación se está haciendo referencia a los valores propuestos por la ACGIH (Insht, 2008). Se destaca esta normatividad ya que el gobierno de Colombia mediante el Ministerio de Salud en la resolución 2400 de 1979, adopta los Threshold limit value TLVs publicados por la ACGIH, como límites de exposición profesional para la exposición biológica y la inhalación de agentes químicos y físicos.

En el caso de las exposiciones, existen tres tipos de TLV:

- **TLV-TWA:** Es la exposición media ponderada para una jornada normal de 8 horas y 40 horas semanales, a la cual la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos. Este es el tipo más característico, al que se hace referencia habitualmente cuando se cita un valor TLV.
- **TLV-C:** Es la concentración que no debería ser sobrepasada en ningún instante. La práctica habitual de la higiene admite para su valoración muestreos de 15 minutos excepto para aquellos casos de sustancias que puedan causar irritación inmediata con exposiciones muy cortas.
- **TLV-STEL:** Se define como la exposición media ponderada en el tiempo durante 15 minutos que no debe sobrepasarse en ningún momento de la jornada.

En la *tabla No 2*, se observa la concentración límite permitida de  $MP_T$  en espacios laborales.

**Tabla 2.**Thershold limit value (TLV's).

SUBSTANCE	TWA	STEL/Celling	Notations
Particles (insoluble or poorly soluble)	10 mg/m3	-	-

Fuente: (ACGIH, 2014)

### 3.3 CONFORT TÉRMICO

El calor es uno de los contaminantes físicos ambientales que más pueden afectar el ambiente laboral y la salud del trabajador, especialmente en determinadas épocas del año. Cuando hace calor, trabajar puede resultar bastante incómodo o incluso agobiante, especialmente si no corre aire y si la humedad del ambiente es alta (Riojano, 2010).

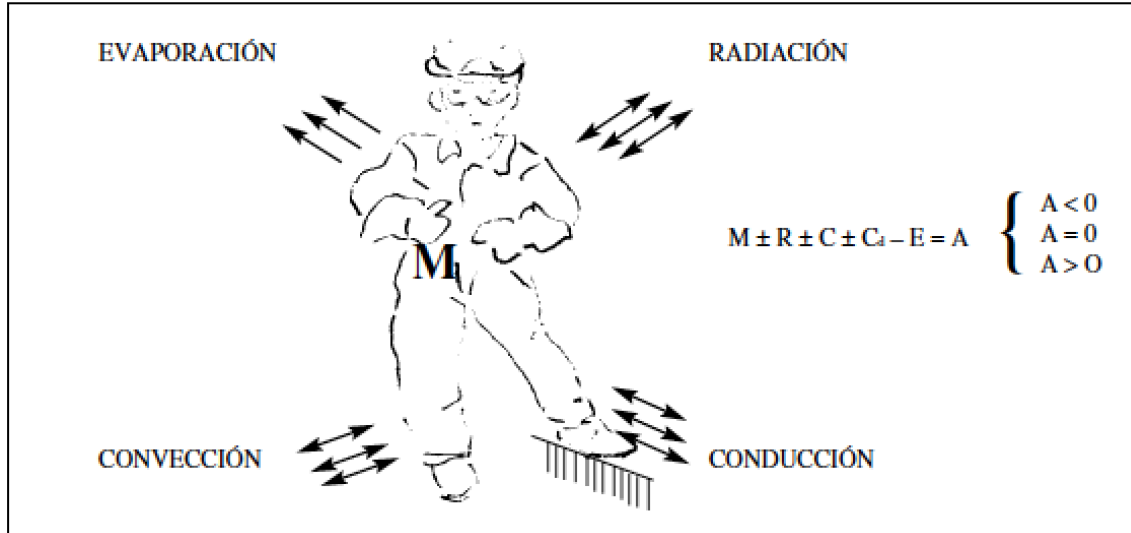
El ser humano mantiene un equilibrio térmico a través de mecanismos reguladores internos que permiten conservar su temperatura basal (cuerpo) en 37 °C con pequeñas variaciones de 0,5 °C alrededor de este valor, según los individuos. Las alteraciones a esta temperatura provocan trastornos de tipo fisiológico que mientras no alcance límites superiores a 39 °C o inferiores a 34 °C, no implican trastornos graves a la salud de la persona (Dalcame, 2001).

El Hipotálamo es el centro encargado de regular las temperaturas de todo el cuerpo humano frente a aportes o pérdidas de calor, utilizando al sistema nervioso central como medio de información para controlar las variaciones de temperaturas, para lo cual se presentan dos mecanismos de regulación de temperatura; el uno es de naturaleza fisiológica y el otro que depende del comportamiento de la persona. Ambas formas interactúan de tal manera que evitan la presencia de enfermedades y logran que las personas se sientan confortables (OIT, 2005).

La temperatura del cuerpo humano cambia periódicamente como resultado de las actividades físicas realizadas en el día, por esta razón las condiciones laborales deben ser las más confortables para la salud humana en los sitios de trabajo. En las zonas cerradas o semicerradas se generan unas condiciones climáticas que, aunque influidas por el clima externo, difieren normalmente de éste, formando un microclima en los ambientes laborales internos; dentro de las condiciones de trabajo, la temperatura es un factor determinante en el rendimiento de un trabajador, temperaturas muy altas o demasiado bajas repercuten en el operador de manera perjudicial, no solo para su labor sino también en su salud (Mondelo & Barrau, 1999).

Para realizar un estudio ergonómico del ambiente térmico, es imprescindible analizar el intercambio térmico que se efectúa, básicamente, de cuatro maneras entre el hombre y el medio donde realiza sus actividades.

**Imagen 2.** Intercambio térmico entre el hombre y el ambiente laboral.



**Fuente:** (Mondelo & Barrau, 1999)

1. Por conducción: Este tipo de transmisión generalmente puede ser obviado debido a su poca influencia en relación con las restantes.
2. Por convección: Para su determinación se mide la temperatura seca y la velocidad del aire.
3. Por radiación: En este caso la propagación es electromagnética y, se calcula mediante la temperatura de globo.
4. Por evaporación del sudor: Si hay, por evaporación siempre se pierde calor. Cuando la temperatura radiante producida por un foco externo excede significativamente a la temperatura ambiente, las fuentes de calor deben ser apantalladas para reducir su efecto, pues los incomodidad y reduciendo la capacidad de trabajo.

El intercambio térmico que se efectúa entre el organismo humano y el medio que lo rodea se puede representar aritméticamente mediante la ecuación de balance térmico. Obviando el intercambio de calor por conducción y el intercambio de calor por la respiración, por ser generalmente poco significativos en los estudios ergonómicos, la ecuación de balance térmico se expresa:

$$M \pm R \pm C - E = A \text{ en la que:}$$

M es la ganancia de calor por el metabolismo  
R la ganancia o la pérdida de calor por radiación  
C la ganancia o pérdida de calor por convección  
E la pérdida de calor por evaporación del sudor  
A el calor acumulado en el organismo

En los últimos años Bogotá ha registrado temperaturas máximas hasta de 21°C; esto se le atribuye al fenómeno isla de calor, el cual infiere en un cambio de la temperatura local

resultado de la urbanización y la contaminación atmosférica; estas variaciones además de generar eventos hidroclicmáticos extremos, incendios forestales y escases de agua, ocasiona trastornos en la calidad de vida de los habitantes.

A partir de lo anteriormente citado se puede decir que la temperatura es un elemento importante al momento de evaluar la contaminación intramural en los ambientes laborales, ya que por el aumento o disminución de esta se pueden presenciar perturbaciones en la salud, falta de confort y bajo rendimiento en el trabajo. En el caso de la presente investigación, la contaminación es observada por los cambios bruscos de temperatura (indoor y outdoor), por la presencia de otros contaminantes (efecto invernadero), el tránsito de personas constantemente, y además en el aumento de temperatura evidenciado en Bogotá.

La literatura ha estimado unos gastos metabólicos, para diversas actividades laborales, los cuales sirven como referencia para la comparación normativa, a continuación en las *tablas No 3 y No 4*, se citan dichas estimaciones:

**Tabla 3.** Gasto energético por posición y movimiento del cuerpo.

<b>Posición y movimientos del cuerpo</b>	<b>Kcal/minuto</b>
Sentado	0.3
De pie	0.6
Andando en terreno llano	2.0 - 3.0
Andando en terreno inclinado	Añadir a terreno llano 0.8 por metro de desnivel

**Fuente:** (Mondelo, Gregori, & Uriz, 2001)

**Tabla 4.** Gasto energético por tipo de trabajo.

<b>GASTO ENERGÉTICO POR TIPO DE TRABAJO</b>		
<b>Tipo de trabajo</b>	<b>Media (Kcal/min)</b>	<b>Rango (Kcal/min)</b>
Trabajo manual ligero	0,4	0,2 – 1,2
Trabajo manual pesado	0,9	
Trabajo ligero con un brazo	1,0	0,7 – 2,5
Trabajo pesado con un brazo	1,7	
Trabajo ligero con ambos brazos	1,5	1,0 – 3,5
Trabajo pesado con ambos brazos	2,5	
Trabajo ligero con el cuerpo	3,5	2,5 – 15
Trabajo moderado con el cuerpo	5,0	
Trabajo pesado con el cuerpo	7,0	
Trabajo muy pesado con el cuerpo	9,0	

**Fuente:** (Mondelo, Gregori, & Uriz, 2001)

### 3.3.1 Índice WBGT (Temperatura Global de Bulbo Húmedo)

Este índice fue establecido por Young y Minard, en los años 50, para la Marina Norteamericana, como método para estudiar el ambiente térmico durante la ejecución de ejercicios y entrenamientos militares. La gran ventaja de este método radica en su sencillez de aplicación: mediciones, cálculos e interpretación, el cual es un índice basado en la combinación de las cargas de calor ambiental y cargas de calor metabólico.

- **Cargas de Calor Ambiental:** Están representadas por los valores de temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo, y la temperatura de bulbo seco, cuando se trabaja bajo exposición solar.
- **Calor Metabólico:** Es la suma del calor que se produce en el cuerpo humano debido a la acción de las funciones vegetativas tales como digestión, respiración, circulación sanguínea etc.; más el calor producido por las funciones físicas que se estén realizando de acuerdo al trabajo efectuado, o labor que este desempeñando el trabajador.

### 3.3.2 Efectos en la salud

#### 3.3.2.1 Altas temperaturas

Los principales efectos de temperaturas altas en ambientes laborales sobre el organismo puede ocasionar diferentes cambios en el sistema energético, tales como la vasodilatación sanguínea, la cual produce un aumento del calor activando las glándulas sudoríparas, además del aumento de la circulación sanguínea periférica que puede llegar a 2,6 L/m<sup>2</sup>. Por otro lado se requiere mayor esfuerzo para mantener la temperatura del cuerpo a su nivel normal, generando tensión térmica que ocasiona alteraciones patológicas consiguientes a la sobrecarga térmica, en donde se pueden evidenciar aumento de la frecuencia del pulso y de la temperatura corporal, igualmente calambres e incomodidad y dificultad al realizar diferentes actividades laborales (ISTAS, 2009).

Los riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, originados al trabajar en condiciones calurosas, se deben a que puede producirse una acumulación excesiva del calor en el cuerpo; este fenómeno se le denomina estrés térmico el cual es la carga de calor o presión que el trabajador recibe y acumula en su cuerpo resultante de la interacción entre las condiciones ambientales del lugar de trabajo. A continuación se muestra en la *tabla No 5* las enfermedades más frecuentes relacionadas con el estrés térmico por calor y sus síntomas:

**Tabla 5.** Enfermedades más frecuentes relacionadas con la exposición al calor.

<b>ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL ESTRÉS TÉRMICO (Calor)</b>	<b>SÍNTOMAS</b>
<b>Erupción Cutánea</b>	Erupción roja desigual en la piel. Puede infectarse, picores intensos.
<b>Calambres</b>	Espasmos, dolores musculares en brazos, piernas, abdomen, etc., pueden aparecer durante el trabajo o después.
<b>Sincope por calor</b>	Desvanecimiento, visión borrosa, mareo, pulso débil.
<b>Deshidratación</b>	Sed, boca y mucosidades secas, fatiga, aturdimiento, taquicardia, piel seca acartonada, micciones menos frecuentes y de menor volumen, orina concentrada y oscura.
<b>Agotamiento por calor</b>	Debilidad y fatiga extremas, náuseas, malestar, mareos, taquicardia, dolor de cabeza, pérdida de conciencia pero sin obnubilación. Piel pálida, fría y mojada por el sudor.
<b>Golpe de calor</b>	Taquicardia, respiración rápida y débil, tensión arterial elevada o baja, disminución de la sudación, irritabilidad, confusión y desmayo. Alteraciones del sistema nervioso central. Piel caliente seca, con cese de sudoración. PELIGRO DE MUERTE

Fuente: (ISTAS, 2009)

Autores como Grandjean han correlacionado el rendimiento laboral con el aumento en la temperatura ambiente lo que muestra resultados no muy favorables para la realización de cualquier trabajo, en la *imagen No 3*, se observa cómo el rendimiento laboral va cambiando al aumentar la temperatura en el ambiente de trabajo.

**Imagen 3.** Rendimiento laboral dependiendo la temperatura ambiente.

20 °C	Tª confortable	Capacidad rendimiento plena
	Malestar	Trastornos Psíquicos
	Irritabilidad	
	Dificultad de concentración	
	Disminución rendimiento intelectual	
	Aumento fallos en trabajo	Trastornos Psicofisiológicos
	Dismu. rend. trabajos de destreza	
	Mayor nº accidentes	
	Disminu. rend. trabajos pesados	Trastornos Fisiológicos
	Perturbación metab. hidro-salino	
	Sobrecarga sist. cardiovascular.	
	Fuerte fatiga, riesgo de agotamiento	
35-40 °C	Límite de la máxima temperatura tolerable	

Fuente: (Ergonomía ,2003)

### 3.3.2.2 Bajas temperaturas

La exposición laboral en ambientes fríos, depende fundamentalmente de la temperatura del aire y de su velocidad. Cuando el flujo de calor cedido al ambiente es excesivo y la temperatura del cuerpo desciende se dice que existe riesgo de estrés térmico por frío. Los dos efectos principales del frío son el descenso de la temperatura interna, más conocida como hipotermia, y la congelación de los miembros ,la cual origina la subdivisión de las situaciones de estrés por frío, en enfriamiento general del cuerpo y en enfriamiento local de ciertas partes del cuerpo. A continuación se observa los efectos fisiológicos y psicológicos durante diferentes tiempos de exposición:

**Tabla 6.** Efectos fisiológicos y psicológicos durante diferentes tiempos de exposición.

DURACIÓN DE EXPOSICION	EFFECTOS FISIOLÓGICOS	EFFECTO PSICOLOGICO
Segundos	Bloqueo inspiratorio, hiperventilación, aumento de la frecuencia cardiaca, vasoconstricción periférica, elevación de la presión arterial.	Sensación cutánea, malestar.
Minutos	Enfriamiento de los tejidos, enfriamiento de las extremidades, deterioro neuromuscular,	Reducción del rendimiento, dolor

DURACIÓN DE EXPOSICIÓN	EFFECTOS FISIOLÓGICOS	EFFECTO PSICOLÓGICO
	tiritona, congelación por contacto y convección.	por enfriamiento local.
Horas	Menor capacidad para el tráfico físico, hipotermia, lesiones por frío	Deterioro de la función mental
Días/meses	Lesiones por frío sin congelación, aclimatación.	Habituaación, menores molestias.
Años	Efectos tisulares crónicos.	

Fuente: (UGT, 2012)

Con el frío, disminuye el rendimiento muscular y con él la capacidad de trabajo. Las manos se ven realmente afectadas por las bajas temperaturas ya que se pierde gran cantidad de calor a través de ellas. Los movimientos finos, rápidos y precisos de las manos se pierden cuando la temperatura baja simplemente unos grados.

### 3.3.3 Valores límites permisibles

En la *tabla No 7* se presentan los valores normativos propuestos por la ACGIH para las diferentes condiciones de temperatura aceptables en un ambiente laboral:

**Tabla 7.** Valores aceptables de temperatura en ambientes laborales.

REGIMÉN DE TRABAJO-DESCANSO	CARGA DE TRABAJO Kcal/hr		
	LIGERO 200 Kcal/hora o menos	MODERADO 200 -300 Kcal/hora	PESADO más de 300 Kcal/hora
Trabaja Continuo	30.0 °C	26.7 °C	25.0 °C
75% trabajo- 25% descanso (cada hora)	30.6 °C	28.0 °C	25.9 °C
50% trabajo- 50% descanso (cada hora)	31.4 °C	29.4 °C	27.9 °C
25%- 75% descanso (cada hora)	32.2 °C	31.1 °C	30.0 °C

Fuente: (ACGIH, 2014)

Para los límites máximos de exposición aceptables en ambientes laborales en bajas temperaturas, se encuentran los siguientes valores en la *tabla No 8*:

**Tabla 8.** Límites permisibles de Estrés térmico para bajas temperaturas.

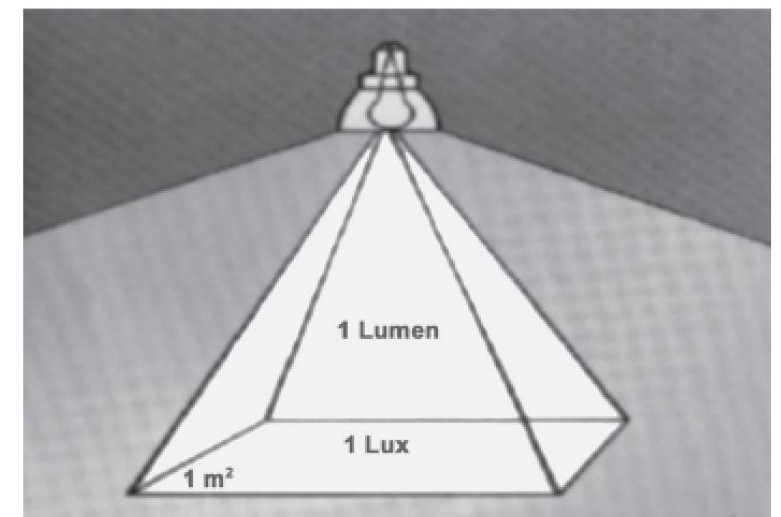
REGIMÉN DE TRABAJO- DESCANSO	CARGA DE TRABAJO Kcal / hr		
	LIGERO 200 Kcal/hora o menos	MODERADO 200 -300 Kcal/hora	PESADO más de 300 Kcal/hora
Trabaja Continuo	-7 °C	-7 °C	-7 °C

Fuente: (ACGIH, 2014)

### 3.4 ILUMINACIÓN

La iluminación (E), es el flujo luminoso F (lumen) por unidad de superficie A (m<sup>2</sup>), es decir  $E = F/A$ . Cuando la luz emitida por una fuente incide sobre una superficie, se dice que esta se encuentra iluminada, siendo entonces la iluminación la cantidad de flujo luminoso. Dado que el flujo F se mide en lux y el área A en m<sup>2</sup>, la iluminación E se mide en lúmenes por m<sup>2</sup>o lux (Piñeda & Montes, 2013). En la *imagen No 4*, se ilustra el significado del lux.

**Imagen 4.** Lux.



Fuente: (Taboada, 1979)

Uno de los factores más importantes para que la actividad laboral sea adecuada es la iluminación, ya que se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual; un tratamiento adecuado del ambiente visual permite incidir en

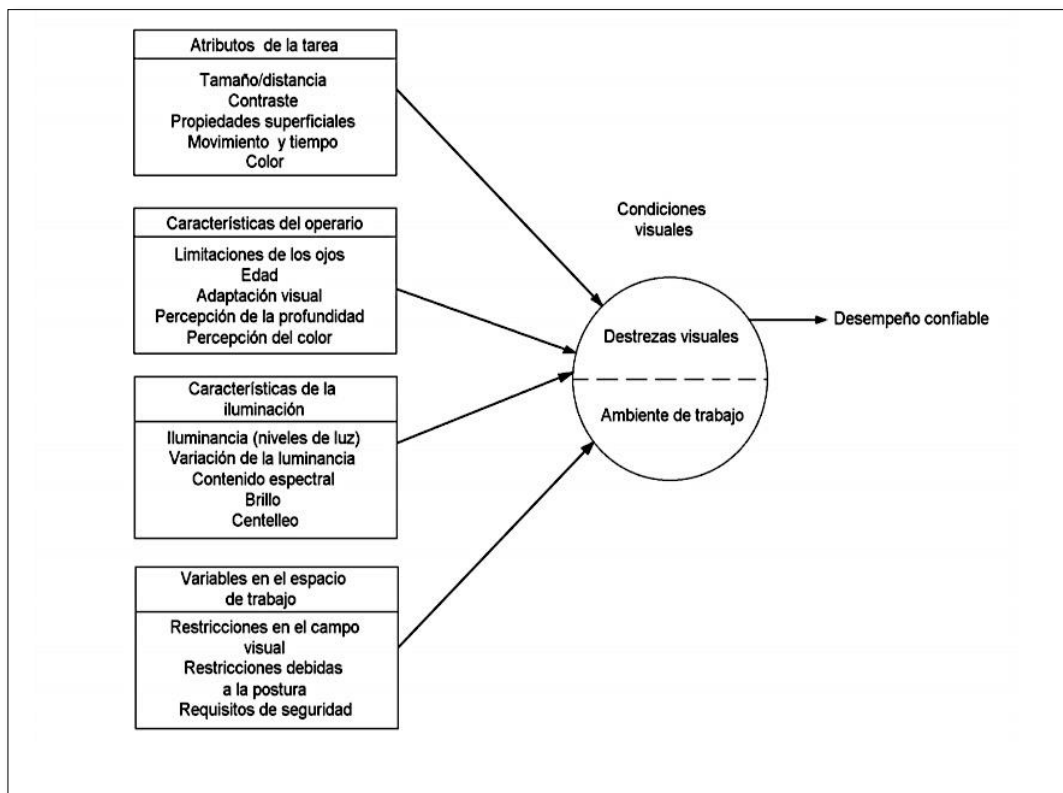
tres aspectos principales los cuales son: seguridad, confort y productividad, estos tres aspectos integrados desarrollaran un trabajo seguro, cómodo y eficaz.

La iluminación es un elemento esencial que se debe tener en cuenta para el apropiado espacio laboral; para conseguir un buen nivel de confort visual se debe conseguir un equilibrio entre la cantidad, la calidad y la estabilidad de luz, de tal forma que se consiga una ausencia de reflejos y de parpadeo, uniformidad en la iluminación y ausencia de excesivos contrastes. Todo ello, en función tanto de las exigencias visuales del trabajo como en las características personales de cada persona.

Cuando no existe este equilibrio entre la calidad, la cantidad y la estabilidad de luz, los efectos de deslumbramiento y baja iluminación, pueden producir molestias en las zonas de trabajo, ya que ocasionan la disminución de recepción visual y fatiga ocular, reduciendo notablemente el rendimiento laboral (Ministerio de Trabajo, 2000).

A la hora de evaluar las condiciones lumínicas en un área laboral interna, la Guía Técnica Colombiana número ocho, establece atributos importantes respecto al operario y espacio de trabajo, que son factores determinantes en el rendimiento laboral y confort visual del trabajador, como se observa en la *imagen No 5*:

**Imagen 5.** Parámetros fundamentales que influyen en el rendimiento de un operario.



**Fuente:** (Incontec, 2013)

### 3.4.1 Tipos de iluminación

Existen tres tipos de iluminación frecuentes en las áreas de trabajos, las cuales indican la distribución de la luz según el grado de uniformidad deseado, teniendo en cuenta la actividad que se esté llevando a cabo. A continuación se observa las características generales de cada una de ellas.

**Tabla 9.** Tipos de alumbrado en zonas de trabajo.

TIPOS DE ILUMINACIÓN EN ZONAS DE TRABAJO	CARACTERÍSTICAS
General	Proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada; se usa habitualmente en oficinas, centros de enseñanza, fábricas, comercios. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo local.
General localizado	Proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que ésta se concentra sobre las áreas de trabajo. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra donde hace falta.
Localizado	Iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto, ejemplo lámparas de escritorio.

Fuente: (García, 2004)

### 3.4.2 Efectos en la Salud

Una iluminación inadecuada puede originar molestias, tales como, fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes de todo tipo. El trabajo con poca luz daña la vista, al igual que los cambios bruscos de luz pueden ser peligrosos, ya que pueden cegar temporalmente. A continuación en la *tabla No 10*, se muestra los tipos de iluminación inadecuada, con sus respectivos efectos:

**Tabla 10.** Efectos atribuidos a la inadecuada iluminación.

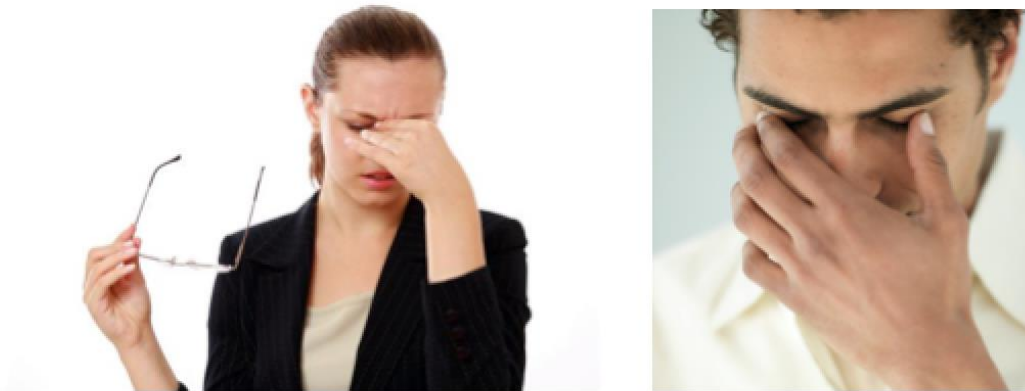
ILUMINACIÓN INADECUADA	TIPO	EFFECTOS
<b>Deslumbramiento directo</b>	Luminancia proveniente directamente de una ventana o luminaria	Disconfort y fatiga visual como consecuencia del continuo ajuste y reajuste de las pupilas a dos niveles de iluminación muy diferente.
<b>Deslumbramiento Reflejado</b>	Luz reflejada por superficies brillantes	Esfuerzo visual y fatiga.

ILUMINACIÓN INADECUADA	TIPO	EFFECTOS
<b>Luminancia de Velo</b>	Reflejo producido por una luminaria que oscurece parcial o totalmente detalles	Puede oscurecer partes de un texto o velar imágenes fotográficas dificultando su visión
<b>Sombras Duras y Alto Contraste</b>	Diferencia significativa entre la iluminancia del objeto y su entorno inmediato	Disconfort visual, la vista se cansa más rápidamente que en ambientes en los cuales las sombras son difusas y las iluminancias más uniformes.

Fuente: (Laszlo, 2002)

Las lesiones más corrientes son las oculares: irritación de ojos, cansancio o fatiga visual, la cual se considera como una alteración funcional debida a demandas sobre los músculos oculares y de la retina, a fin de obtener una focalización fija de la imagen sobre la retina. Las causas pueden ser por estrés y cansancio, que al sumar a los aspectos del ambiente físico, incrementa la fatiga visual (Piñeda & Montes, 2013).

Imagen 6. Fatiga visual laboral.



Fuente: (Lookfordiagnosis, 2014)

También pueden darse lesiones no oculares como: dolor de cabeza, neuralgias. Generalmente estas dolencias se tratan como enfermedades comunes pero, probado su origen laboral, se pueden considerar como accidentes de trabajo (Álvarez, 2007).

### 3.4.3 Valores límites permisibles

En la *tabla No 11*, se encuentran los límites permisibles de iluminación dependiendo el puesto de trabajo.

**Tabla 11.** Límites permisibles de iluminación para diferentes puestos de trabajo.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	Niveles de iluminación (lx)		
	Mínimo	Medio	Máximo
<b>Salas</b>			
Iluminación general	50	100	150
Examen	200	300	500
Lectura	150	200	300
Circulación nocturna	3	5	10
<b>Salas de examen</b>			
Iluminación general	300	500	750
Inspección local	750	1000	1500
<b>Terapia intensiva</b>			
Cabecera de la cama	30	50	100
Observación	200	300	500
Estación de enfermería	200	300	500
<b>Salas de operación</b>			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	10000	30000	100000
<b>Salas de autopsia</b>			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	5000	10000	15000
<b>Consultorios</b>			
Iluminación general	300	500	750
Iluminación local	500	750	1000
<b>Farmacia y laboratorios</b>			
Iluminación general	300	400	750
Iluminación local	500	750	1000
<b>Oficinas</b>			
Oficina general, computación	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>750</b>
Salas de conferencia	300	500	750
<b>Área de mantenimiento</b>			
Taller de mecánica	150	200	300
Taller de madera	300	500	750
Almacén	300	500	750
Trabajo ocasional	150	200	300

Fuente: (ACGIH, 2014)

Para la presente investigación se utilizó como tipo de recinto el de oficina general de computación tomando como valor mínimo de luminosidad 300 lux y como mayor 750 lux. En la metodología del presente trabajo se explican los criterios de selección sustentados desde la bibliografía y otras investigaciones.

#### 4. MARCO LEGAL

A continuación se citan cada de uno de las normas jurídicas y técnicas para el planteamiento y desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 12.** Marco legal del Proyecto.

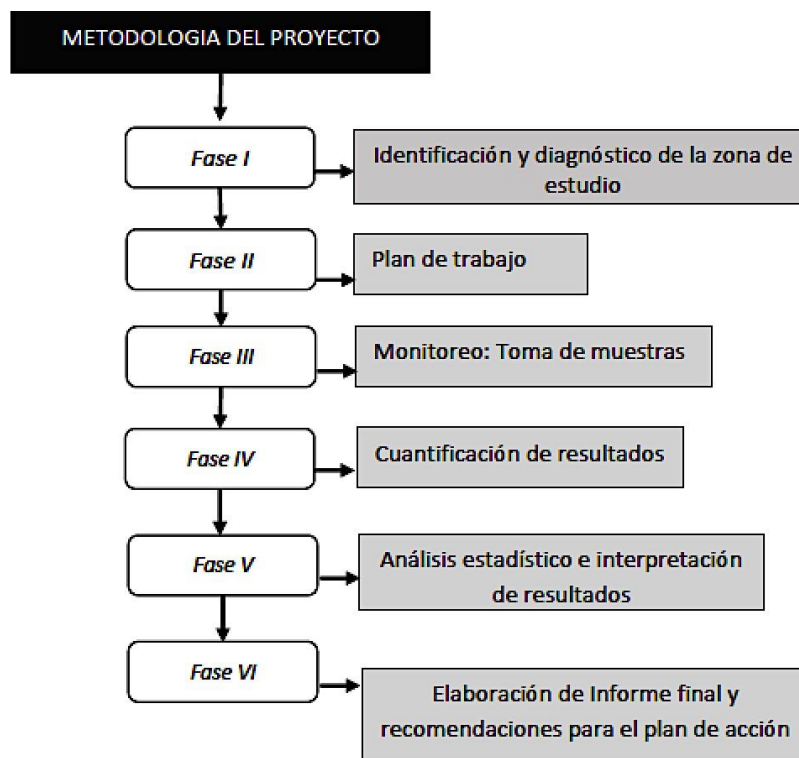
<b>INTERNACIONAL</b>		
<b>Thershold limit valueTLVs (2014).</b>		Valores límites permisibles publicados por la American Conference of Govermental Industrial hygienists (ACGIH).
<b>OSHA No 500</b>		Método de muestreo de partículas totales.
<b>NACIONAL</b>		
<b>Constitución política de Colombia (1991)</b>	<b>Artículo 25</b>	El trabajo es un derecho y una obligación social y goza, en todas sus modalidades, de la especial protección del Estado. Toda persona tiene derecho a un trabajo en condiciones dignas y justas.
	<b>Artículo 79</b>	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.
	<b>Artículo 80</b>	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
<b>Ley 09 (1979)</b>	<b>Artículo 73</b>	Corresponde al gobierno mantener la atmósfera en condiciones que no causen molestias o daños o interfieran el desarrollo normal de la vida humana, animal o vegetal y de los recursos naturales renovables.
	<b>Artículo 74</b>	Se prohibirá, restringirá o condicionará la descarga, en la atmósfera de polvo, vapores, gases, humos, emanaciones y, en general, de sustancias de cualquier naturaleza que pueda causar enfermedad, daño o molestias a la comunidad o a sus integrantes, cuando sobrepasen los grados o niveles fijados.
<b>Ley 6 (1981)</b>	<b>Artículo 161</b>	La duración máxima de la jornada ordinaria de trabajo es de 8 horas al día y 48 horas a la semana.
<b>Resolución 2400 (1979)</b>	<b>Artículo 64</b>	De la temperatura, humedad y calefacción. Para realizar la evaluación del ambiente térmico se tendrá en cuenta el índice WBGT calculado con temperatura húmeda, temperatura globo y temperatura seca; además se tendrá en cuenta para el caculo del índice WBGT la exposición promedia ocupacional.
	<b>Artículo 79</b>	Todos los lugares de trabajo tendrán la iluminación adecuada e indispensable de acuerdo a la clase de labor que se realice según la modalidad de la industria; a la vez que debe satisfacer las condiciones de seguridad para todo el personal.
<b>Resolución 910 (2008)</b>		Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres; se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.
<b>Guía técnica Colombiana GTC 45 (2010)</b>		Guía para la identificación de los riesgos y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional.

**Fuente:** Elaboración Propia

## 5. METODOLOGÍA

La caracterización de las condiciones laborales en el interior de las taquillas del sistema Transmilenio S.A en Bogotá, inició en septiembre del 2014 con una duración total de 3 meses, en trabajo conjunto de la Universidad de la Salle, Recaudo Bogotá S.A.S y Transmilenio S.A, con el fin de medir los niveles de material particulado total, iluminación y estrés térmico; determinando los posibles efectos que éstos tuviesen sobre los trabajadores directamente expuestos. Durante el periodo de septiembre a diciembre de 2014 en la troncal Carrera Décima y Calle 26, se escogieron estratégicamente 8 estaciones dentro de las cuales 4 correspondieron a estaciones críticas ubicadas en una zona de mayor problemática según las observaciones propias registradas y los antecedentes descritos por los administrativos y funcionarios del sistema; y 4 estaciones a una zona de menor exposición, donde se presentan condiciones laborales visiblemente favorables. Para la selección, evaluación y análisis de las muestras obtenidas en la presente investigación se siguieron protocolos a continuación descritos, para cada una de las fases llevadas a cabo en el desarrollo del presente proyecto. En la *imagen No 7*, se observa las fases que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la investigación:

**Imagen 7.** Diagrama de flujo del proyecto de investigación.



**Fuente:** Elaboración Propia

## 5.1 FASE 1 IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la selección y definición de las troncales de estudio (Calle 26 – Carrera Décima) se tuvieron en cuenta las opiniones y consideraciones de la Ingeniera Deysi Rodríguez Aponte (área de planeación Transmilenio S.A) y María Camila Pardo (coordinadora HSE de Recaudo Bogotá S.A.S), las cuales manifestaron un importante interés por desarrollar la investigación en estas troncales, especialmente en las estaciones (Museo Nacional, Portal Dorado, Avenida Rojas y Primera de Mayo), ya que se han presentado problemáticas de ausentismo laboral y quejas constantes de los trabajadores con respecto a los parámetros medio ambientales propuestos. Junto con las consideraciones de los funcionarios del sistema se decidió tener en cuenta las características viales, condiciones de usos del suelo, condiciones estructurales y características de la flota vehicular; debido a que estos aspectos influyen directamente los ambientes laborales investigados. A continuación se describen cada una de las troncales estudiadas teniendo los aspectos anteriormente citados.

### 5.1.1 Información general de la troncal Calle 26 - área de referencia

Para el área de referencia, se escogió parte de la troncal Calle 26 (entre Carrera 68 y NQS), ya que en esta zona se observa un comportamiento totalmente opuesto al del área crítica, con poca presencia de industrias, espacios amplios, velocidades de movilidad altas, y condiciones de ventilación favorables. Aunque las condiciones son opuestas al área crítica de evaluación, fue necesario escoger dos estaciones críticas dentro de la troncal Calle 26, ya que según las indicaciones de los trabajadores, la empresa Recaudo Bogotá S.A.S y administradores del sistema Transmilenio, las estaciones Avenida Rojas y Portal Dorado presentan condiciones especiales de diseño, construcción y ubicación que han llevado a importantes problemáticas de ausentismo laboral. Por esta razón dichas estaciones fueron sujetas a evaluación dentro de la presente investigación. En la fotografía No 2, se observa el panorama de la Calle 26 al mediodía.

**Fotografía 2.** Panorámica de la Calle 26 a la altura de la altura de la estación Salitre-El Greco.

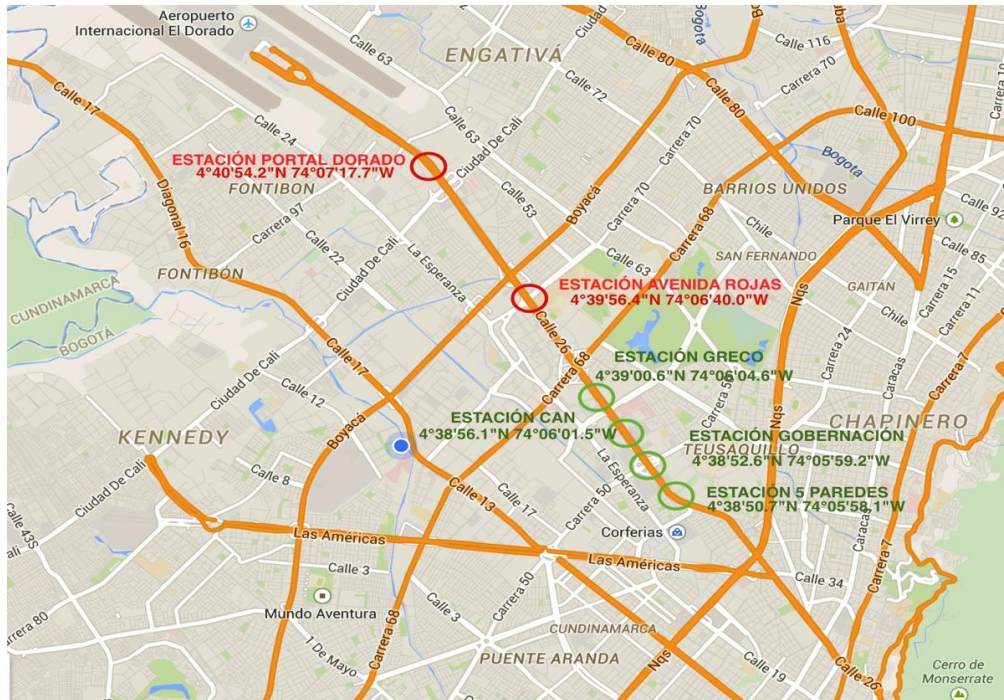


**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.1.1.1 Localización

El área de referencia se encuentra ubicada en la Avenida Esperanza entre la estación Salitre- El Greco hasta la estación Quinta Paredes; como se observa en *la imagen No 8* con sus respectivas coordenadas geográficas; además se muestran las dos áreas críticas dentro de la troncal Calle 26 señaladas en rojo.

**Imagen 8.** Ubicación área de referencia y crítica troncal Calle 26.



Fuente: Google Maps (2015)

### 5.1.1.2 Características viales

**Tabla 13.** Tipo de vía de la Calle 26.

Nombre	Tipo de vía (P.O.T)	Tipo de tránsito
Calle 26	V2	Urbano

Fuente:(Alcaldía de Bogotá, 1961)

\*Se llama V -2 la vía urbana cuya longitud y características permiten el enlace o conexión de dos o más circuitos; generalmente es el límite de los sectores

La Calle 26 fue construida en 1952 para conectar el centro de Bogotá, al oriente con el Aeropuerto Internacional El Dorado; esta avenida nace en las estribaciones del Cerro de Monserrate cerca de las estaciones del Funicular y del Teleférico en el barrio Germanía

y desciende gradualmente hacia el occidente cruzando el centro de Bogotá. Hacia el occidente donde constituye junto con la Autopista Norte, una de las avenidas más modernas de Bogotá, además es considerada la vía más amplia en la ciudad (LocationColombia, 2009). La Calle 26 es una zona en donde las vías son orientadas hacia el tránsito normal, ya que de acuerdo con el plan maestro de movilidad para Bogotá, el subsistema vial en esta zona está conformado principalmente por una malla vial arterial complementaria y una malla vial local con alamedas, pasos peatonales, red de ciclo rutas y corredores de movilidad local con cuatro calzadas anchas, dos de tres carriles rápidos y las dos restantes con dos carriles para tráfico lento. En la siguiente *fotografía No 3*, se pueden observar las adecuadas condiciones de las vías a lo largo de toda el área de referencia del proyecto, presentando vías amplias, señalización apropiada y buen estado vial, lo cual facilita a la movilidad, sin presentar mayores problemas de tráfico.

**Fotografía 3.** Condiciones viales Calle 26 (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

### **5.1.1.3 Condiciones del uso del suelo**

Según la Secretaria Distrital de Planeación en el plan de ordenamiento territorial, el área de referencia está representada principalmente por zonas comerciales, gubernamentales, hoteleras y en menor escala residenciales destacándose los sectores Ciudad-Salitre, Pablo VI, Modelia, Quinta Paredes, entre otras.

### **5.1.1.4 Condiciones estructurales**

Para esta área de investigación se observa edificaciones y construcciones con arquitectura moderna que favorecen el paisaje urbanístico en esta parte de la ciudad; debido al rápido crecimiento económico que ha tenido la ciudad de Bogotá en los últimos años, muchas entidades financieras, gubernamentales e importantes cadenas comerciales (hoteles, constructoras, centros comerciales), se han establecido en esta zona conllevando a la valorización catastral y a un mayor interés por parte de las autoridades locales, aumentando la inversión para obras de infraestructura y mejora

urbanística, entre las más relevantes se encuentran el Centro de Administración Nacional (CAN), la embajada de los Estados Unidos, la Secretaria de Educación Distrital, la Gobernación, Ministerio de Transporte, Ministerio de Defensa y Seguridad Nacional, Comando General de la Policía Nacional.

Por otro lado, la Calle 26 es la única área de ingreso y salida del aeropuerto internacional el Dorado, lo cual ha obligado a las diferentes entidades públicas y privadas de esta zona a realizar mayores inversiones económicas para el desarrollo paisajístico del área. En la *fotografía No 4*, se ilustran algunas de estas edificaciones.

**Fotografía 4.** . Condiciones Estructurales Calle 26 (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

#### **5.1.1.5 Condiciones Temperatura Ambiente**

Para la evaluación de las condiciones de temperatura ambiente del área de referencia y las estaciones críticas Portal Dorado, Avenida Rojas y Museo Nacional durante el periodo de investigación Septiembre – Diciembre, se escogió la estación meteorológica CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO (C.D.R.A ) perteneciente a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB.

Para la elección de esta estación meteorológica se tuvieron en cuenta dos criterios importantes:

- 1) Cercanía de la estación meteorológica a las estaciones de estudio.

2) A partir de la investigación realizada por (Guerrero, 2013) en conjunto con la Universidad de Nacional Colombia, se estableció que la estación C.D.A.R es una de las estaciones más representativas de Bogotá a la hora de analizar parámetros meteorológicos ya que se encuentra ubicada en centro geográfico de Bogotá.

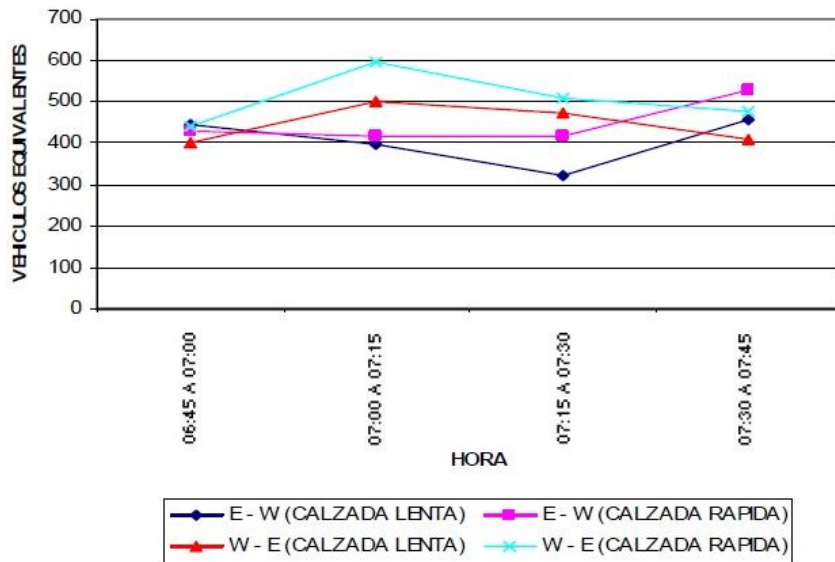
Este fue un parámetro meteorológico clave, ya que para la cuantificación de los datos de  $MP_T$ , la normatividad y protocolos internacionales exigen estandarizar las condiciones de temperatura y presión del área de estudio. Partiendo de esto se tomaron los datos de temperatura para cada día de evaluación y se promedió el horario correspondiente a la jornada laboral de análisis (5 a.m. - 1 p.m.; 6 a.m. - 2 p.m.).

### 5.1.1.6 Características y comportamiento de la flota vehicular

Para el área de referencia, la flota vehicular está representada principalmente por el sistema masivo de transporte (Transmilenio) y transporte particular, evidenciándose un mínimo tránsito de transporte convencional; en cuanto a transporte de carga pesada no se observó durante el periodo de muestreo del proyecto.

En un estudio realizado por la Universidad Nacional (U.Nacional, 2013), se realizó un aforo vehicular estableciendo el número de vehículos en la hora pico de 6:45 am – 7:45am, en el siguiente gráfico (Gráfico No 6), se observan los resultados obtenidos:

**Gráfico 6.** Volumen vehicular hora pico (6:45-7:45). Calle 26.



**Fuente:** (Universidad Nacional, 2013)

A partir de la gráfica anteriormente citada se puede establecer un flujo aproximado de 7139 vehículos por hora, al igual el estudio cita *“La composición vehicular de la calzada rápida W-E arrojó un 100 % de Participación de automóviles, esto se debe a que se trata de una calzada central rápida que restringe el flujo de vehículos pesados sobre la*

*misma*". Al prevalecer estos dos tipos de transporte en la zona de referencia, las condiciones de movilidad son favorables, ya que no se presentan congestiones vehiculares considerables durante el día. En la *fotografía No 5*, se puede observar cómo predomina el transporte particular.

**Fotografía 5.** Flujo vehicular área de referencia.



**Fuente:** Elaboración Propia

#### **5.1.1.7 Estaciones de referencia evaluadas del sistema masivo de transporte Transmilenio**

Para el área de referencia se escogieron cuatro estaciones de la troncal Calle 26, las cuales son: Salitre- El Greco, CAN, Gobernación y Quinta Paredes, estas estaciones se encuentran en la misma zona, por ello sus condiciones viales, estructurales, y sociales son iguales, diferente a lo que ocurre en el área crítica.

##### **5.1.1.7.1 Estación Salitre-Greco**

La estación Salitre-El Greco se encuentra ubicada sobre la Calle 26, frente al centro comercial Gran Estación, y responde a las coordenadas geográficas 4°39'00.6" N 74°06'04.6 W. Sus condiciones viales son favorables; en cuanto a la movilidad, además no se presentan considerables flujos de usuarios dentro de la estación durante el día. En cuanto a la taquilla, su ubicación no presenta ningún inconveniente, ya que presenta un espacio considerable dentro de ella. En la *fotografía No 6*, se muestra el comportamiento habitual en la estación Salitre- El Greco.

**Fotografía 6.** Taquilla estación Salitre- El Greco (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

#### 5.1.1.7.2 Estación CAN

Esta estación se encuentra al frente del Centro Administrativo Nacional, corresponde a las coordenadas geográficas 4°38'56.1" N 74°06'01.5 W. Sus condiciones viales son favorables, presentando gran cantidad de alamedas; en cuanto a la movilidad, no se presentan considerables congestiones de tráfico y usuarios durante el día (*fotografía No 7*).

**Fotografía 7.** Taquilla estación CAN (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.1.1.7.3 Estación Gobernación

La estación Gobernación está ubicada sobre la Calle 26 con Carrera 50, al lado de importantes centros gubernamentales de la ciudad como la Gobernación y el Ministerio de Defensa, sus coordenadas geográficas son 4°38'52.6" N 74°05'59.2 W; en cuanto a las condiciones viales se encuentran en buen estado, y la estación presenta una estructura adecuada.

**Fotografía 8.** Taquilla estación Gobernación (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.1.1.7.4 Estación Quinta Paredes

La estación Quinta Paredes se encuentra en frente de la embajada de los Estados Unidos, y corresponde a las coordenadas geográficas: 4°38'50.7" N 74°05'58.1 W; al igual que las estaciones de esta parte de la troncal, presenta buenas condiciones viales, con disponibilidad de cicloparqueo. En la *fotografía No 9*, se observa el comportamiento diurno de la estación Quinta Paredes.

**Fotografía 9.** Taquilla estación Quinta Paredes (área de referencia).



**Fuente:** Elaboración Propia

### **5.1.2 Información general de la troncal Carrera Décima – área crítica**

Para el desarrollo de la presente investigación fue seleccionada la Carrera Décima y parte de la Calle 26 como área crítica de evaluación. Con respecto a la troncal de la Carrera Décima se escogió esta zona, ya que debido a sus características viales, estructurales, comerciales y usos del suelo, presenta gran cantidad de problemáticas medio ambientales que se ven reflejadas negativamente en la salud de las personas que trabajan y transitan a diario por esta concurrida área de la ciudad. En cuanto a la zona de la troncal Calle 26, fueron escogidas las estaciones Portal Dorado y Avenida Rojas, ya que estas presentan condiciones de diseño y ubicación que afectan las condiciones laborales de los operarios.

En el área de la troncal Carrea Décima, son evidente los problemas de contaminación atmosférica, generada en su mayoría por los vehículos de transporte público convencional que no cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la ley para transitar por la ciudad de Bogotá, además de esto los diseños no son acordes al flujo vehicular de la zona se convierten en importantes factores de riesgo para los trabajadores y personas del común. A continuación en las *fotografías No 10 y No 11*, se observa el comportamiento típico de la Carrera Décima, muy concurrida y llena de diversas actividades comerciales de tipo formal e informal.

**Fotografía 10.** Panorámica Carrera Décima a la altura de la estación Museo Nacional.



**Fuente:** Elaboración Propia

**Fotografía 11 .** Actividades comerciales y buses de servicio público convencional Carrera Décima.

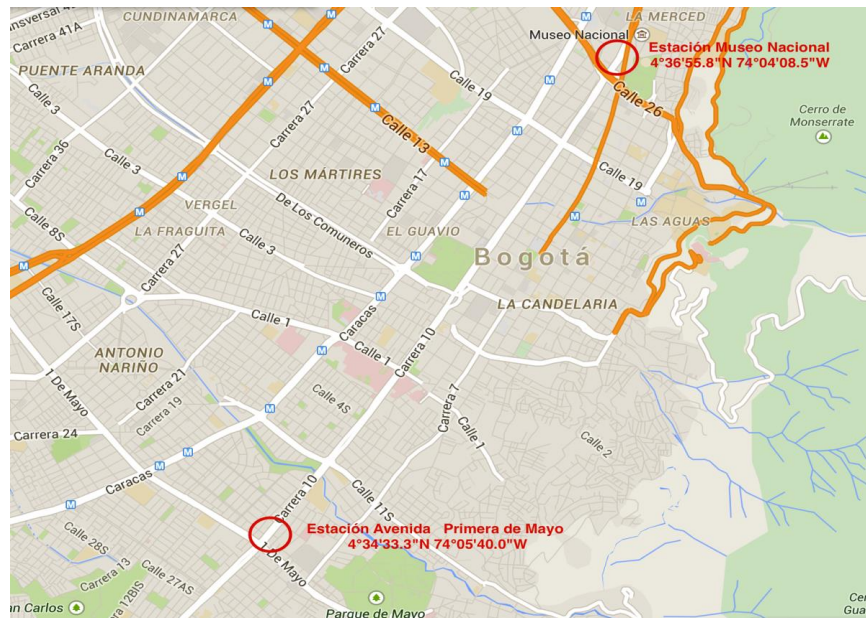


**Fuente:** (Fernandez, 2012)

### 5.1.2.1 Localización

El área crítica de estudio se encuentra ubicada sobre la Carrera Décima al costado suroccidental de los cerros orientales en el centro de la ciudad de Bogotá, limitada al sur con la Avenida Primera de Mayo y al norte con la Calle 28 justo frente al Museo Nacional como se observa en la *imagen No 9*:

**Imagen 9.** Ubicación General área crítica Carrera Décima.



**Fuente:** Google Mapas (2015).

### 5.1.2.2 Características Viales

**Tabla 14.** Tipo de vía de la Carrera Décima.

Nombre	Tipo de vía (P.O.T)	Tipo de tránsito
Carrera Décima	V3	Urbano

**Fuente:**(Alcaldía de Bogotá, 1961)

\*Se llama V -3 la vía urbana que sirve de penetración a los sectores; generalmente es el límite de los barrios.

La carrera Décima, conocida también como avenida Fernando Mazuera o avenida Darío Echandía, es una vía arterial del centro de Bogotá. Fue diseñada y realizada entre 1945 y 1960. Al sur comienza en la localidad San Cristóbal, encontrándose sin embargo la mayor parte de su trazado en la de Santa Fe, donde concluye a la altura del Museo Nacional, en la calle Veintiocho (Niño Murcia & Reina Mendoza, 2010).

La Carrera Décima tiene dos problemáticas importantes respecto a las condiciones viales que afectan directamente el comportamiento de los parámetros evaluados en la presente investigación: La primera problemática es causa de un error de diseño, reflejado en el ancho vial , ya que las dimensiones actuales no son suficientes para el importante flujo vehicular que a diario transita por esta zona; lo que genera serios problemas de congestión vehicular en casi todos los momentos del día , especialmente en horas pico. Cuando los vehículos permanecen estacionados con motor en marcha generan mayores cantidades de material particulado lo que conlleva a mayores problemáticas en la salud

de las personas expuestas, principalmente los trabajadores, los cuales permanecen toda su jornada laboral expuesta a dicho contaminante ( $MP_T$ ).

Para la presente investigación es importante señalar que el personal expuesto se encuentra ubicado en el área central de las dos vías ( 8 carriles) , lo que aumenta la probabilidad de que estos tengan un mayor contacto con el material particulado generado por la flota vehicular concurrente en la zona, además el alto flujo de vehículos estacionados constantemente se convierte en una fuente calórica importante a la hora de evaluar estrés térmico, ya que la vía es demasiado angosta favoreciendo la retención de calor.

La segunda problemática que afecta esta área de evaluación, es que es una de las principales salidas e ingreso al centro de la ciudad lo que en horas pico genera serios inconvenientes de movilidad. Como se muestra en la *fotografía No 12*, las características viales de la zona en investigación, está compuesta por dos vías orientadas de sur a norte y dos vías de norte a sur, las cuales cuentan con dos carriles los cuales se encargan de movilizar transporte público (convencional, sistema masivo) y particular.

**Fotografía 12.** Diseño vial Carrera Décima.



**Fuente:** (Fernandez, 2012).

### 5.1.2.3 Condiciones del uso del suelo

Esta área presenta una característica importante ya que es una de las principales áreas comerciales del centro de la ciudad, lo que genera a diario gran flujo de personas por ésta área, aumentando la demanda de buses de servicio público y del sistema

Transmilenio para el ingreso y salida de esta zona de la ciudad. Además de esto la zona es bastante concurrida debido a que se ubican gran cantidad de sedes gubernamentales, históricas, judiciales y turísticas lo que aumenta considerablemente el flujo de personas. En la *fotografía No 13*, se muestra el flujo de personas dentro de la estación Avenida Primera de Mayo.

**Fotografía 13.** Alto flujo de personas en la estación Avenida Primera de Mayo.



**Fuente:** Elaboración Propia

El alto flujo vehicular estacionados y de personas, sumado con las condiciones ambientales se convierten en las principales causantes de estrés térmico en los trabajadores ubicados en el interior de la taquilla.

#### **5.1.2.4 Condiciones Estructurales**

La Carrera Décima está compuesta estructuralmente en su mayoría por edificaciones antiguas de tipo comercial y financiero, las edificaciones son de altura considerable y arquitectura antigua como se observa en la *fotografía No 14*:

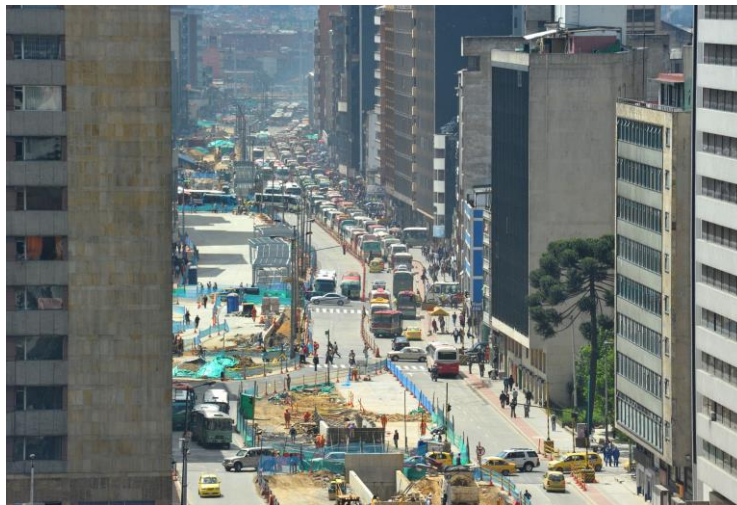
**Fotografía 14.** Condiciones Estructurales de la Carrera Décima.



**Fuente:** Elaboración Propia

En la fotografía citada a continuación se pueden observar las condiciones estructurales desde un plano elevado, y cómo fue la construcción del sistema de transporte masivo Transmilenio en esta área de la ciudad.

**Fotografía 15.** Plano elevado y Condiciones Estructurales de la Carrera Décima.



**Fuente:** (Felipe, 2010)

#### **5.1.2.5 Condiciones de Temperatura Ambiente**

Para la evaluación de las condiciones meteorológicas en la zona de la Carrera Décima se escogió la estación Meteorológica San Cristóbal perteneciente a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB ya que es notoriamente cercana a la

estación Avenida Primera de Mayo .Como se indica en el inicio del presente capítulo las condiciones de temperatura de las estaciones críticas Museo nacional, Avenida Rojas y Portal Dorado fueron evaluadas con la estación meteorológica C.D.A.R por los criterios igualmente citados.

Se decidió tener en cuenta la información de temperatura ambiente, ya que el ambiente laboral de análisis se encuentra notablemente expuesto a las condiciones ambientales de temperatura, dichas condiciones de temperatura podrían tener efecto sobre los resultados y análisis finales del índice WBGT.

Los valores de temperatura registrados en la estación San Cristóbal fueron utilizados para la cuantificación de los datos de  $MP_T$  según lo requiere la normatividad y protocolos internacionales; como fue citado en las condiciones meteorológicas de la zona de referencia este valor estandarizo las condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica del área de monitoreo.

#### 5.1.2.6 Características y comportamiento de la Flota vehicular

Por esta área de investigación transita tráfico de servicio público (convencional y Transmilenio) y particular. La gran mayoría de vehículos que transitan el área son de servicio público convencional los cuales se movilizan sin cumplir los requerimientos mínimos indicados por la ley respecto a emisiones en fuentes móviles, como se puede observar en la *fotografía No 16*:

**Fotografía 16.** Emisiones atmosféricas generadas por los vehículos en la Carrera Décima.

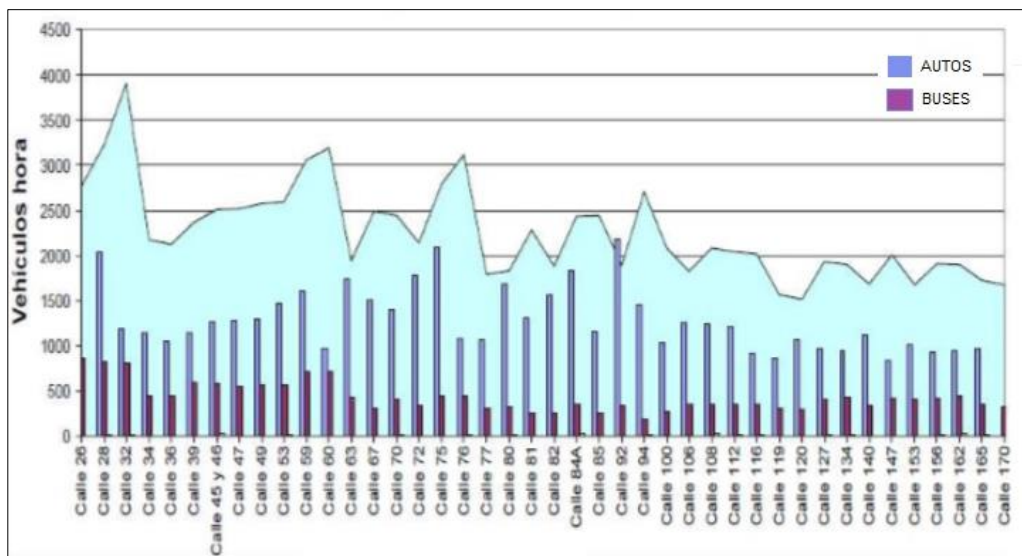


**Fuente:** (Fernandez, 2012)

Las mayores congestiones vehiculares se presentan en las horas de la mañana (6-9 am) y tarde (5- 7 pm) cuando la demanda vehicular es mayor. Una de las principales causas de la alta demanda de vehículos en la zona, es que la Carrera Décima es una de las principales vías de ingreso y salida del centro histórico de la ciudad de Bogotá donde se desarrolla a diario miles de actividades educativas, comerciales, gubernamentales, legales y financieras que requieren un tránsito importante de personas por esta zona.

En el estudio “Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C” se demostró que por la calle 28 (justo enfrente de la estación Museo Nacional) transitan alrededor de 2000 vehículos por hora de los cuales aproximadamente 800 son buses de servicio público (*Gráfico No 7*). Así mismo demostró que este punto es de los más críticos en tránsito de todo la troncal. De acuerdo con el SITYMUR de la Universidad de Los Andes, la velocidad promedio de viaje es de 26 Km/h. En las horas pico de la mañana, de 6:00 a.m. a 9:00 a.m.

**Gráfico 7.** Volúmenes de vehículos por hora sobre el corredor sentido Sur-Norte.



**Fuente:** (Romero, Becerra, Herrera, & Trujillo, 2011)

La empresa Transmilenio S.A ha introducido a su flota vehículos con bajas emisiones de contaminantes atmosféricos como se aprecia en la *fotografía No 12*, pero dichos esfuerzos siguen siendo reprimidos por el bajo control de las autoridades de tránsito, que permiten que a diario transiten vehículos antiguos sin los requerimientos mínimos de emisiones atmosféricas descritos por la ley (*fotografía No 16, No 17*).

**Fotografía 17.** Emisiones de los vehículos de transporte público convencional en la Carrera Décima.



**Fuente:** (Fernandez, 2012)

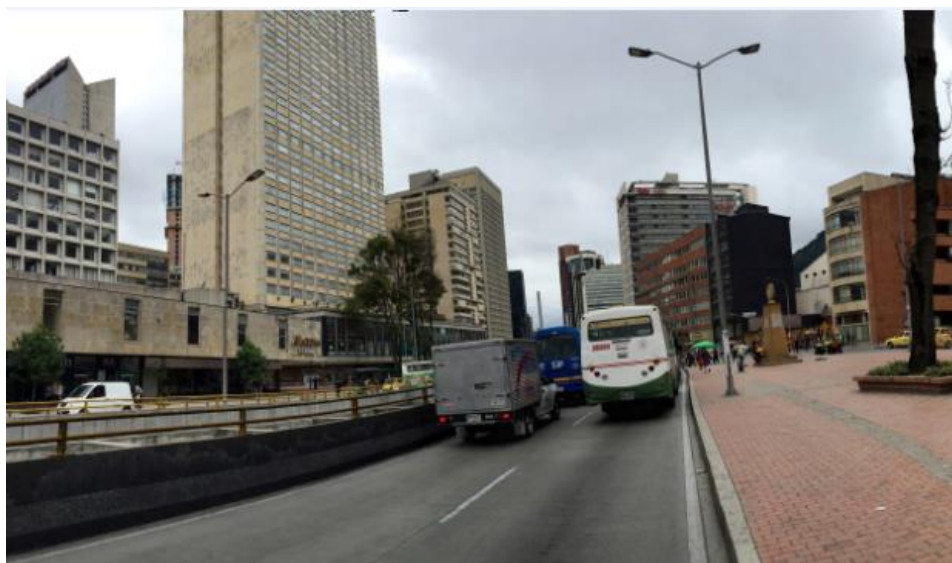
### **5.1.2.7 Estaciones críticas evaluadas del sistema masivo de transporte Transmilenio**

Para el área crítica se escogieron dos estaciones de la troncal Carrera Décima y dos de la troncal Calle 26, las pertenecientes a la troncal Carrera Décima son : Museo Nacional y Avenida Primera de Mayo, y las de la troncal Calle 26 son: Avenida Rojas y Portal Dorado. Como se explicó anteriormente las estaciones Avenida Rojas y Portal Dorado fueron seleccionadas dentro de la troncal Calle 26 ya que presentan importantes problemáticas de ausentismo y discomfort laboral según lo indicado por los trabajadores, la empresa recaudadora Bogotá S.A.S y directivos del sistemas de transporte masivo.

#### **5.1.2.7.1 Estación Museo Nacional**

Esta estación se encuentra ubicada al oriente de la ciudad de Bogotá, en la localidad de Chapinero, sobre la Carrera Séptima, sus coordenadas geográficas son: 4°36'55.8" N 74°04'08.5 W. En cuanto al tráfico, sus condiciones no son favorables, ya que en horas picos es bastante el flujo vehicular y de personas, además es una zona empresarial, en donde existen edificaciones altas, las cuales se convierten en perturbaciones que no ayudan a la dispersión de contaminantes.

**Fotografía 18.** Taquilla estación Museo Nacional (área crítica).



**Fuente:** Elaboración Propia

#### 5.1.2.7.2 Estación Avenida Primera de Mayo

La estación Avenida Primera de Mayo, se encuentra ubicada sobre la Carrea Décima con Avenida Primera de Mayo, al suroriente de la ciudad de Bogotá, y corresponde a las coordenadas 4°34'33.3" N 74°05'40.0 W. Las condiciones de movilidad en este estación no son las mejores, ya que existe una considerable aglomeración de personas a cualquier hora del día (*fotografía No 19*), además cerca a la estación se encuentra una zona de construcción inconclusa, la cual provoca una mayor concentración de partículas suspendidas en el aire; por otro lado en esta vía transita todo tipo de vehículos desde transporte público convencional hasta de carga pesada.

**Fotografía 19.** Taquilla estación Avenida Primera de Mayo (área crítica).



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.1.2.7.3 Estación Portal Dorado

Esta estación se encuentra ubicada sobre la Calle 26 con Avenida Ciudad de Cali, sus coordenadas geográficas son: 4°40'54.2" N 74°07'17.7 W. Aunque las condiciones viales en esa zona son favorables, la ubicación de las taquillas no son las adecuadas, ya que éstas se encuentran al frente del estacionamiento de los alimentadores.

La estación Portal Dorado tiene unas características especiales de construcción y diseño, ya que a diferencia de las otras, ésta es construida en concreto y tiene 5 ventanillas de venta de tiquetes como se muestra en la *fotografía No 20*:

**Fotografía 20.** Estación Portal Dorado (área crítica).



**Fuente:** Elaboración Propia

Al estar la taquilla ubicada enfrente de la zona de estacionamiento, los trabajadores tienen un mayor contacto con el MP<sub>T</sub> generado por los automotores; como se explicó en el marco teórico del presente documento los vehículos estacionados generan una mayor cantidad de partículas. Como se observa en la siguiente fotografía los vehículos alimentadores permanecen estacionados frente a las taquillas mientras se les asigna ruta y recogen los respectivos pasajeros.

**Fotografía 21.** Evidencia de estacionamiento de alimentadores y acumulación de pasajeros



**Fuente:** Elaboración Propia

#### **5.1.2.7.4 Estación Av. Rojas**

La estación Avenida Rojas se encuentra ubicada sobre la Calle 26 con carrera 70, y corresponde a las coordenadas 4°39'56.4" N 74°06'40.0 W. Esta estación presenta unas condiciones de diseño especiales, ya que la zona de alimentación eléctrica se encuentra ubicada de manera continua al área de trabajo, aparte de esto esta estación no cuenta con entradas de flujo de aire como las demás estaciones.

En la *fotografía No 22*, se puede evidenciar la distribución espacial de la taquilla, señalando la importante cercanía entre la taquilla y el cuarto de elementos eléctricos.

**Fotografía 22.** Taquilla estación Avenida Rojas (área crítica).



**Fuente:** Elaboración Propia

Aparte del inconveniente anteriormente mencionado, la estación Avenida Rojas tiene serios inconvenientes con el flujo de aire exterior ya que no cuenta con un espacio mínimo que permita el ingreso de aire exterior lo que favorece a la acumulación de calor dentro de la taquilla.

Como se puede observar en la siguiente fotografía, es común encontrar en las demás taquillas de la troncal entradas de flujo de aire que permiten una ventilación natural del espacio laboral evitando inconvenientes por la acumulación de temperaturas y estrés térmico sobre los trabajadores expuestos.

**Fotografía 23.** Flujo de aire estación Avenida Rojas.



**Fuente:** Elaboración Propia

## 5.2 FASE 2 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo fue definido en coordinación de los investigadores junto con la oficina de planeación y Recaudo Bogotá; los cuales mediante 3 reuniones estratégicas definieron los tiempos de monitoreo así como la logística necesaria para la introducción y puesta en marcha de los equipos en el interior de las taquillas evaluadas.

En cada día de evaluación se monitorearon dos estaciones como se puede observar en la *tabla No 16*, que muestra una pareja de estaciones para cada día. Las semanas representadas en color verde (6 semanas) hacen referencia a los monitoreos hechos en la zona de referencia y las semanas representadas en color naranja (6 semanas) hacen referencia a los monitoreos hechos en la zona crítica. Se evaluó un total de 12 semanas, obteniendo un total de 12 monitoreos por cada estación de análisis.

Para la solución de la presente investigación se desarrollaron 96 muestreos de material particulado total, tomando una muestra diaria para cada estación; y 192 muestras de estrés térmico y luminosidad para cada estación en dos diferentes momentos del día (mañana y tarde). Dichos muestreos se llevaron a cabo entre el 16 de Septiembre del 2014 hasta el 5 de Diciembre del 2014 de acuerdo a lo especificado en la *tabla No 15*:

**Tabla 15.** Estaciones de evaluación.

ESTACIONES		ESTACIONES DE REFERENCIA	ESTACIONES CRÍTICAS
	1	GRECO	PORTAL DORADO
	2	CAN	AVENIDA ROJAS
	3	GOBERNACIÓN	MUSEO NACIONAL
	4	QUINTA PAREDES	AVENIDA PRIMERA DE MAYO

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 16.** Especificaciones en fecha (Semana-día) de cada uno de los monitoreos realizados.

UNIVERSIDAD DE <b>LASALLE</b>	DIAS DE TOMA DE MUESTRAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO ""Evaluación de los niveles de material particulado total, estrés térmico y luminosidad en el interior de las taquillas de venta del Sistema Transmilenio"																				
	Septiembre Semana (15-21)				Septiembre Semana (22-28)				Septiembre Semana (29-5)												
SEMANA	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
SEMANA 1		1-2	3-4			1-2	3-4														
SEMANA 2								1-2	3-4			1-2	3-4								
SEMANA 3														1-2	3-4				1-2	3-4	
SEMANA	Octubre Semana (6-12)				Octubre Semana (13-19)				Octubre Semana (20-26)												
DIA	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
SEMANA 4		1-2	3-4			1-2	3-4														
SEMANA 5								1-2	3-4			1-2	3-4								
SEMANA 6														1-2	3-4				1-2	3-4	
SEMANA	Octubre Semana (27-2)				Noviembre Semana (3-9)				Noviembre Semana (10-16)												
DIA	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
SEMANA 7		1-2	3-4	1-2	3-4																
SEMANA 8								1-2	3-4	1-2	3-4										
SEMANA 9														1-2	3-4	1-2	3-4				
SEMANA	Noviembre Semana (17-23)				Noviembre Semana (24-30)				Diciembre Semana (1-7)												
DIA	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
SEMANA 10		1-2	3-4	1-2	3-4																
SEMANA 11								1-2	3-4	1-2	3-4										
SEMANA 12														1-2	3-4	1-2	3-4				

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 FASE 3 TOMA DE MUESTRAS

De acuerdo a lo legalmente requerido, para las mediciones y evaluaciones, los equipos de medición fueron debidamente certificados, este requerimiento garantiza que los datos obtenidos sean confiables. Para el presente estudio se seleccionó el equipo: *QUESTemp 34 Thermal Environment Monitor* para la medición del índice de estrés térmico, 2 bombas de muestreo personal Gilian para medición de material particulado Total (MP<sub>T</sub>) y 1 luxómetro *Extech407026* para la medición de la intensidad lumínica.

Por aspectos de seguridad, dado que al interior de las taquillas se manejan valores, no se permitió en algunas ocasiones el acceso al interior de las taquillas para la toma de muestras, por lo cual fue necesario capacitar e instruir a los trabajadores para la instalación, puesta en marcha y retiro de los equipos del interior de las taquillas. A continuación se describe el proceso para la toma de cada una de las muestras recogidas durante la presente investigación:

#### 5.3.1 Material particulado total

Los contaminantes atmosféricos se recogen en medios de muestreo, ya sea extrayendo activamente una muestra del aire a través del medio, o permitiendo pasivamente que el aire alcance el medio. El muestreo activo se realiza con una bomba alimentada por pilas, y el muestreo pasivo se realiza haciendo que los contaminantes alcancen el medio de

muestreo por difusión o gravedad. Los gases, los vapores, las partículas en suspensión y los bioaerosoles se recogen mediante métodos activos de muestreo; los gases y los vapores pueden recogerse también mediante muestreo pasivo por difusión (Herrick, Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo, 2008).

Para la medición de material particulado total en los ambientes laborales evaluados, se emplearon 2 bombas Gilian marca Sensidy de 37 mm, las cuales permiten un flujo de aire constante; estas bombas funcionan por medio de una batería interna, la cual tiene una duración máxima de 10 horas continuas de muestreo. Estas bombas de muestreo personal se encargaron de captar el  $MP_T$  en un filtro de 37mm de diámetro referencia 5,0  $\mu m$  - 35PVC marca Zefon. El filtro a su vez va al interior de un porta filtro el cual asegura que el filtro no se deteriore durante el monitoreo; y luego de finalizado el muestreo evita que el  $MP_T$  captado se pierda por el transporte de este al laboratorio, ya que los porta filtros cuentan con dos tapones especiales los cuales sellan cualquier entrada de aire al filtro como se aprecia en la *fotografía No 24*:

**Fotografía 24.** Filtro de 5,0  $\mu m$  - 35PVC marca Zefon, porta filtro y bomba de muestreo personal Gilian.



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.3.1.1 Condiciones del muestreo

Para la medición de  $MP_T$  en cada una de las estaciones de evaluación, se estableció un tiempo de muestreo de 8 horas continuas, lo cual equivale a la jornada laboral descrita por la ley 6ª de 1981 artículo 161, se desarrollaron 96 muestreos de material particulado total de las cuales 48 fueron medidas entre 5 a.m. y 1 p.m. y las restantes fueron medidas de 6 a.m. a 2 p.m. , la hora de diferencia es causada por el traslado, instalación y calibración de los equipos entre una estación y otra como se citó anteriormente en la *Fase 2. Plan de trabajo*.

En el desarrollo de esta investigación se muestreo con un caudal de flujo de aire (Q) promedio de 2 L.P.M, ya que el método de muestreo de partículas totales No 500 de la OSHA, establece un rango permisible de 1 a 2 L.P.M para el flujo de aire con bombas

de muestreo personal. Siendo 2 L.P.M un caudal comúnmente usado por investigadores nacionales e internacionales para el desarrollo de investigaciones ocupacionales. En la *fotografía No 25*, se observa la ubicación de la bomba Gilian en el puesto de trabajo dentro de la taquilla de la estación.

**Fotografía 25.** Bomba de muestreo personal, porta filtro y manguera.



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.3.1.2 Acondicionamiento y pesaje del filtro

Los filtros fueron dejados durante 24 horas antes y después de la toma de la muestra de  $MP_T$  en un desecador bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas (*fotografía No 27*), según lo establecido por la EPA la cual recomienda una temperatura entre 25°C y 30°C, y una humedad relativa menor al 50% (Espinosa Valderrama, Rojas, & Gómez, 2005)

Dicho acondicionamiento busca eliminar cualquier tipo humedad presente en el filtro que pudiese haber sido captada durante el muestreo o transporte al laboratorio. Es importante eliminar tal humedad ya que esta se convierte en un aporte másico a la hora de calcular el  $MP_T$  y genera graves errores e imprecisiones sobre los resultados finales.

El peso de la muestra se obtiene de la diferencia de pesos del filtro con muestra y del filtro sin muestra, previamente acondicionados como se mencionó.

Para el pesaje de los filtros se utilizó una balanza de seis dígitos debidamente calibrada marca *Sartorius*, la cual se encuentra ubicada en un espacio donde se controla las condiciones de temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y la electrostática portada por el cuerpo humano. *En la fotografía No 26*, se observa la balanza y las condiciones empleadas para el pesaje de los filtros utilizados en la presente investigación.

**Fotografía 26.** Filtros de PM<sub>T</sub> en desecador y balanza en condiciones ambientales controladas



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.3.1.3 Calibración del equipo

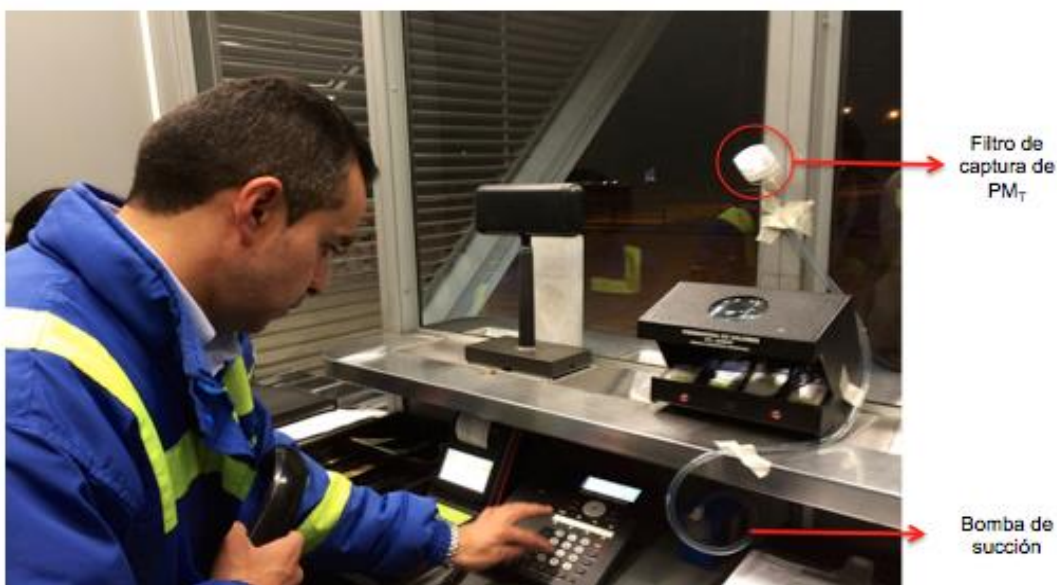
La calibración de las 2 bombas Gilian de muestreo personal fue realizada al inicio de la investigación. En el *anexo No 2*, se encuentran los datos de calibración así como la gráfica construida para la validación de los mismos.

#### 5.3.1.4 Ubicación del equipo

En la definición de la ubicación ideal para el equipo de muestreo fue importante tener varios aspectos en cuenta, tales como: espacio disponible, posición del trabajador e interferencias entre el equipo de muestreo y la actividad laboral.

En la *fotografía No 27*, se puede observar la posición normal del trabajador durante su jornada laboral. Partiendo de esto se decidió instalar el equipo sobre el puesto de trabajo a una altura igual a la de la respiración del trabajador ya que la movilidad de este a lo largo de la jornada laboral no varía. Permaneciendo la mayoría de su tiempo de trabajo en el interior de la taquilla.

**Fotografía 27.** Ubicación de la bomba de muestreo personal y posición común del trabajador.

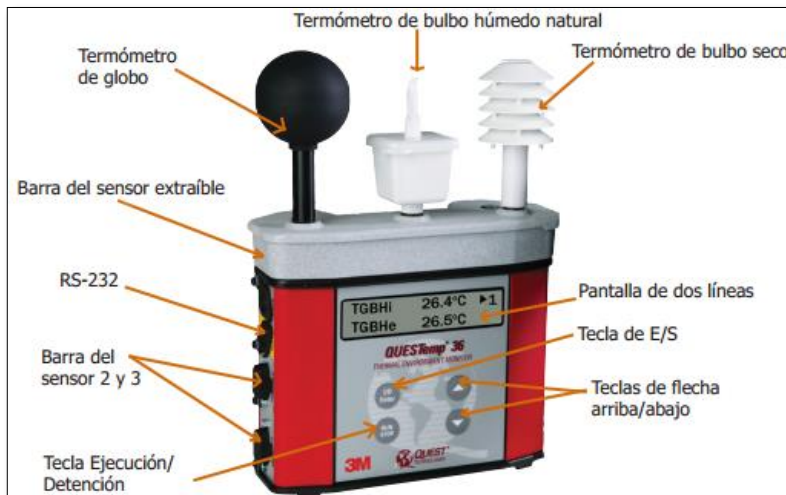


Fuente: Elaboración Propia

#### 5.3.2 Estrés térmico (WBGT)

Para la medición del índice del estrés térmico en los ambientes laborales estudiados (taquillas sistema Transmilenio), se empleó el monitor *QUESTemp 34 Thermal Environment*, el cual se encargó de medir el índice de estrés térmico (WBGT) de manera automática en cada uno de los periodos de evaluación. A continuación se muestra el equipo utilizado con sus respectivos componentes:

**Imagen 10.** Equipo QUESTemp 34 ThermalEnvironment y sus componentes.



**Fuente:** (Coleparmer, 2011)

### 5.3.2.1 Condiciones del muestreo

En cada estación se establecieron dos momentos importantes para la captura de datos uno en las horas donde se registran las más bajas temperaturas (5 am - 7 am) ambiente y otro hacia las horas del mediodía donde se registran las mayores temperaturas ambiente (12 pm – 2 pm).

De los 192 datos obtenidos de Estrés térmico, 96 fueron capturados en horas de bajas temperaturas y 96 en horas de altas temperaturas. Obteniendo así un total de 24 datos por estación para los dos momentos analizados.

En cada día de monitoreo se evaluaron dos estaciones, midiendo en la primera estación de 5 - 6 am y en la segunda de 6-7 a.m. para las horas de bajas temperaturas.

Para las horas de altas temperaturas se midió de 12 pm - 1 pm en la primera estación del día y de 1 pm a 2 pm en la segunda estación; la hora de diferencia es causada por el traslado, instalación y calibración de los equipos entre una estación y otra.

Para la medición del índice de estrés térmico el equipo se encargó de capturar implícitamente las temperaturas de bulbo húmedo, bulbo seco, humedad relativa y temperatura de globo durante cada 5 minutos promediándolos internamente, obteniendo así un dato global para cada hora de monitoreo.

### 5.3.2.2 Calibración del equipo

En cuanto a la calibración del monitor de estrés térmico se tuvo en cuenta lo descrito por el proveedor 3M, el cual establece que el equipo debe ser calibrado previamente a cada monitoreo, verificando que los datos obtenidos con el calibrador del equipo no difieran en + /- 5% de los datos de referencia establecidos por el equipo, dicho procedimiento se muestra en la siguiente fotografía.

**Fotografía 28.** Monitor de estrés térmico con verificación de calibración.



**Fuente:** Elaboración Propia

Además de esto el proveedor indica que el equipo debe ser iniciado 15 minutos antes de la toma de la muestra, con el fin de que el equipo se ajuste a las condiciones propias del ambiente laboral de investigación.

### 5.3.2.3 Ubicación del equipo

Las mediciones deben realizarse a 0.1 m, 1.1 m, y 1.7 m del suelo si la posición en el puesto de trabajo es de pie, y a 0.1 m, 0.6 m, y 1.1 m, si es sentado. Si el ambiente es homogéneo, basta con una medición a la altura del abdomen (Vasco, 2011). A partir de lo anteriormente citado se determinó que el personal involucrado en la presente investigación se encuentra al interior de un ambiente laboral homogéneo ya que las condiciones respecto al tiempo no varían significativamente en el desarrollo de su rutina laboral; además de esto las características propias del trabajo realizado (venta de tiquetes) obligan al personal a permanecer la mayor parte del tiempo en el mismo lugar y en la misma posición.

Como se observa en la *fotografía No 29*, el equipo QUESTemp 34 Thermal Environment fue ubicado a la altura del pecho del personal conservando la mínima distancia posible entre el equipo y la persona buscando siempre la menor interferencia entre el equipo y el desarrollo normal de las actividades laborales.

**Fotografía 29.** Ubicación de monitor de estrés térmico QUESTemp al interior de las taquillas de evaluación.



**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.3.3 Iluminación

Los niveles de iluminación fueron evaluados por medio de un *Luxómetro Extech407026* el cual capta las ondas lumínicas en una celda fotovoltaica presentando digitalmente los resultados en unidades lux. Además el equipo cuenta con un modelo de programación el cual permite seleccionar la naturaleza de la luz presente en el ambiente laboral entre: Tungsteno, fluorescente, sodio y mercurio. Definiendo fluorescente como componente principal de las luminarias presente el ambiente laboral de estudio. A continuación se muestra en la *imagen No 11*, el equipo de medición de iluminación *Luxómetro Extech407026* con su sonda fotovoltaica encargada de capturar las ondas lumínicas presentes en el espacio laboral.

**Imagen 11.** Luxómetro Extech 407026.



**Fuente:** (Directindustry, 2014)

### 5.3.3.1 Condiciones del muestreo

La medición de la intensidad luminosa en el interior de las taquillas fue realizada de forma instantánea, durante dos momentos del día (mañana y tarde). Obteniendo un total de 24 datos para cada una de las estaciones evaluadas.

Para la captura de cada dato la sonda fotovoltaica fue desplazada a través de todo el puesto de trabajo a la altura promedio de la visión de los trabajadores buscando siempre una altura homogénea como se muestra en la siguiente fotografía:

**Fotografía 30.** Medición de intensidad lumínica en el interior de las taquillas.



**Fuente:** Elaboración Propia

Es importante resaltar que la sonda fotovoltaica toma dato por cada punto por el cual es desplazado y lo promedia internamente; una vez terminado el recorrido por el puesto de trabajo el equipo muestra un valor global máximo, mínimo y promedio de todos los puntos recorridos en el interior del puesto de trabajo. Permitiendo al investigador obtener un dato de toda el área

### 5.3.3.2 Calibración del equipo

El equipo cuenta con un protector de sonda oscuro, el cual lleva los niveles de luminosidad a cero, de esta manera se confirmaba la exactitud de medición del equipo, cabe mencionar que el equipo fue calibrado antes de tomar cada muestra.

### 5.3.3.3 Ubicación del equipo

De acuerdo a las características propias del equipo, este no se ubicó en un sitio específico, sino se realizó un barrido con la sonda fotovoltaica por toda la zona del área de trabajo del operario en la taquilla y los resultados obtenidos de estos son los que promedia el equipo.

## 5.4 FASE 4 CUANTIFICACIÓN DE RESULTADOS

Los procedimientos y ecuaciones a continuación descritos fueron aplicados a cada uno de los datos obtenidos en todas las 8 estaciones de análisis.

### 5.4.1 Material particulado total

La concentración de  $MP_T$  en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen total de aire muestreado y se expresa en miligramos por metro cúbico de aire (DOF, 1993). A partir de esto se describe el siguiente procedimiento para el cálculo de la concentración de  $MP_T$  en el interior de las taquillas.

#### 5.4.1.1 Cuantificación de concentración Material Particulado Total

Para la cuantificación de la concentración de material particulado se utilizaron las formulas descritas a continuación donde se involucra el peso de la muestra, tiempo de monitoreo y caudal de muestreo de cada una de las 96 muestras obtenidas en la investigación.

Antes de proceder a los respectivos cálculos la normatividad y protocolos internacionales exigen que el caudal de muestreo sea estandarizado a las condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica del sitio donde se realizó la evaluación, estableciendo la *ecuación No 1* para tales propósitos.

**Ecuación 1.** Caudal estándar para el cálculo de la concentración de  $MP_T$ .

$$Q_{std} = Q \times \frac{P_{amb}}{P_{std}} \times \frac{T_{std}}{T_{amb}}$$

Donde:

Q<sub>std</sub> = Caudal estandarizado

Q = caudal de muestreo

P<sub>amb</sub> = Presión atmosférica ambiente

T<sub>amb</sub> = Temperatura ambiente

P<sub>std</sub> = Presión atmosférica estándar (760 mm Hg)

T<sub>std</sub> = Temperatura ambiente estándar (298 K)

Los datos de presión atmosférica y temperatura ambiente fueron obtenidos de la red de calidad de aire de Bogotá (RMCAB) de acuerdo a lo especificado en la Fase 1 de la presente metodología, donde se indica cuales estaciones meteorológicas fueron utilizadas en cada una de las áreas de estudio involucradas en esta investigación.

Al conocer el caudal estándar y tiempo de muestreo utilizado en el análisis, es posible despejar el volumen muestreado de aire de la *ecuación No 2*.

**Ecuación 2.** Caudal de muestreo para el cálculo de la concentración de MP<sub>T</sub>.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

V = Volumen de aire

Q = caudal de muestreo

t = tiempo de medición

Obteniendo así la *ecuación No 3*, la cual permite calcular directamente el volumen de aire muestreado. Cabe mencionar que el valor de Q de muestreo es 2 L.P.M y el tiempo de muestreo 8 horas de acuerdo a lo descrito en la *Fase.3 Toma de muestras* de la presente metodología.

**Ecuación 3.** Volumen de aire para el cálculo de la concentración de MP<sub>T</sub>.

$$V = Q * t$$

Donde:

V = Volumen de aire

Q = Caudal de muestreo

t = Tiempo de medición

Una vez obtenido el volumen de aire muestreado y el peso de la muestra se procede al cálculo de la concentración del MP<sub>T</sub> mediante la *ecuación No 4*.

**Ecuación 4.** Concentración de MP<sub>T</sub>.

$$[C_{MPT}] = \frac{(W_f - W_i)}{V} \times 10^3$$

Donde:

*W<sub>f</sub>* = Peso del filtro después del monitoreo (gramos)

*W<sub>i</sub>* = Peso inicial del filtro (gramos)

*V* = Volumen (m<sup>3</sup>)

*C<sub>MPT</sub>* = Concentración de material particulado total (mg/m<sup>3</sup>)

10<sup>3</sup> = conversión de gramos a miligramos

## 5.4.2 Estrés térmico

### 5.4.2.1 Descarga de datos Confort térmico

Los datos de estrés térmico fueron descargados mediante el software especializado "3M™ Detection Management Software DMS" versión V 1.9.88 el cual se encarga de capturar y clasificar los datos obtenidos en cada monitoreo según la hora y fecha.

Una vez el equipo de muestreo *QUESTemp 34 Thermal Environment* es enlazado con el software de análisis, se realiza la descarga de un reporte automático generado por el software el cual muestra para cada periodo de evaluación los valores máximos, mínimos y promedios de: Humedad relativa, Temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo; con los cuales el software se encarga de calcular internamente el índice WBGT exterior e interior para el ambiente laboral en investigado.

Posterior a esto el software permite exportar toda la información clasificada a otro software de análisis estadístico como Excel, pudiendo clasificar y analizar los datos de acuerdo al objetivo propio de la investigación.

### 5.4.2.2 Cuantificación de WBGT

Este indicador consiste en la ponderación fraccionada de las temperaturas húmedas, de globo y temperaturas secas. Para la cuantificación del índice WBGT el equipo *QUESTemp 34 Thermal Environment* utiliza las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 5.** Índice WBGT sin exposición solar.

$$\text{Índice WBGT} = 0,7 \cdot T_h + 0,3 \cdot T_g \text{ (}^\circ\text{C / }^\circ\text{F) (sin exposición solar)}$$

**Ecuación 6.** Índice WBGT con exposición solar.

$$\text{Índice WBGT} = 0,7 \cdot Th + 0,2 \cdot Tg + 0,1 \cdot Ta \text{ (}^\circ\text{C / }^\circ\text{F)} \text{ (con exposición solar)}$$

Donde:

*Th*: temperatura húmeda ( $^\circ\text{C}$  /  $^\circ\text{F}$ )

*Tg*: temperatura de globo ( $^\circ\text{C}$  /  $^\circ\text{F}$ )

*Ta*: temperatura seca del aire ( $^\circ\text{C}$  /  $^\circ\text{F}$ )

Hr: Humedad relativa

### 5.4.3 Luminosidad

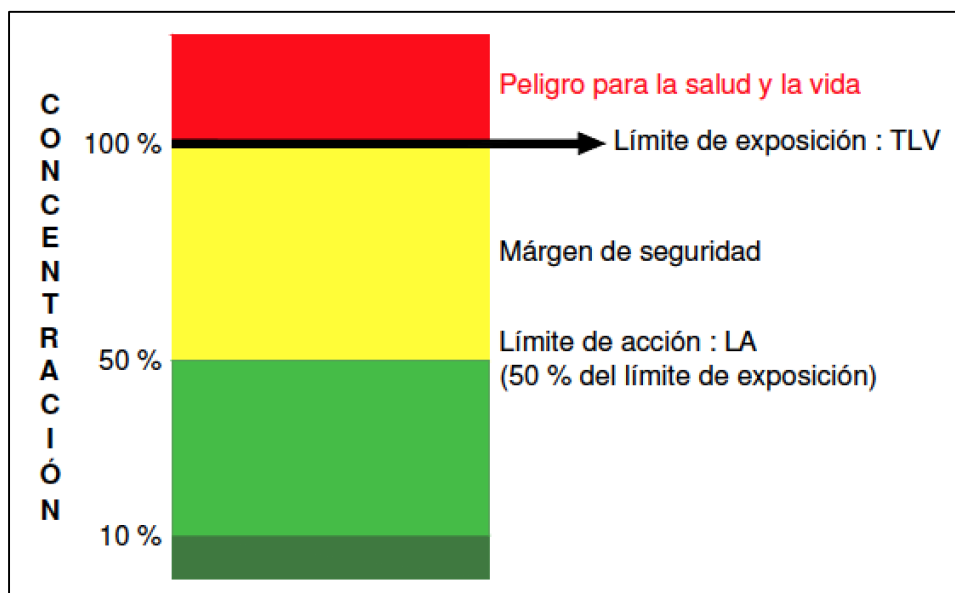
Debido a que el equipo utilizado para la evaluación de los niveles de iluminación es un equipo automático de muestreo instantáneo no fue necesario un proceso específico para la descarga de los datos del equipo; ya que cada día de trabajo estos eran registrados manualmente en un formato de campo especialmente diseñado, donde se muestran valores máximos, mínimos y promedios de cada estación durante el periodo de muestreo (*anexo No 3*), para la posterior revisión y análisis estadístico.

## 5.5 FASE ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Para el análisis e interpretación de resultados cada uno de los 96 datos de Material particulado Total, 192 datos de Estrés Térmico y 192 datos de luminosidad se siguió lo a continuación descrito:

En la interpretación general de los resultados se utilizó el modelo propuesto por Rock J (Rock, 1995), citado en la Guía técnica Colombiana GTC-45 el cual establece cinco (5) rangos de exposición utilizando escalas semi-cuantitativas, teniendo en cuenta las mediciones ambientales y la frecuencia de exposición: No exposición, exposición baja, moderada, alta y muy alta.

**Imagen 12.** Modelo de rangos de exposición.



**Fuente:** (Rock, 1995)

A continuación se describen cada una de las zonas de exposición propuestas por el autor:

**Zona de exposición mínima:** corresponde a los valores inferiores al 10 % del valor límite permisible (VLP), en los que se considera que los riesgos para la salud no existen y se toma como referencia para definir el concepto de calidad de aire.

**Zona de exposición baja:** corresponde a los valores inferiores al nivel de acción, en los que se considera que los riesgos para la salud son leves y por consiguiente se podrían adoptar medidas preventivas.

**Zona de exposición moderada - alta:** comprendida entre el nivel de acción y el valor límite permisible (VLP), se determina que los puestos comprendidos dentro de esta zona, deben ser muestreados con cierta frecuencia, con el fin de vigilar el comportamiento de las concentraciones. Se requieren controles médicos y ambientales, con medidas técnicas correctoras de fácil ejecución. De acuerdo con la frecuencia de la exposición esta zona se puede subdividir en Moderada y Alta, con el fin de establecer la frecuencia de reevaluación.

**Zona de exposición muy alta:** correspondiente a zona con valores superiores al valor límite permisible (VLP) lo cual implica la adopción de medidas correctivas ambientales y médicas, así como el seguimiento de la evolución de la concentración existente.

Una vez obtenidos, revisados y comparados los resultados con el modelo de Rock J se focalizaron las medias de prevención y control sobre las estaciones que se encuentran en la zona de exposición alta y muy alta.

Para la representación y organización de los resultados finales se siguió el gráfico de araña propuesto por la metodología MESMIS (Miyosh, 2015) ya que es un sistema gráfico sencillo que permite la visualización de todos los datos obtenidos en conjunto.

El gráfico está compuesto por una circunferencia principal la cual representa el TLV de referencia (color naranja); esta circunferencia matemáticamente representa el 100 % del TLV de comparación. Anexo a la circunferencia principal se encuentra una circunferencia donde van ubicadas cada una de las estaciones así como las concentraciones máximas registradas en todo el periodo de monitoreo.

Al registrar las máximas concentraciones en cada una de las estaciones de análisis se permite apreciar fácilmente los valores más críticos así como el valor porcentual en el cual fue superada la normatividad. Los valores ubicados en el interior de la circunferencia principal refieren un cumplimiento de la norma, sin embargo es necesario comparar dicho porcentaje de acuerdo al modelo de Rock J con el fin de realizar las acciones pertinentes de acuerdo a los porcentajes obtenidos.

### **5.5.1 Material Particulado**

Las 12 concentraciones obtenidas (por estación) fueron organizadas en una gráfica X, Y con el fin establecer cuáles de los valores superan el TLV de referencia para  $MP_T$  (10  $mg/m^3$ ), posterior a esto se graficaron las concentraciones más altas obtenidas en cada estación mediante un diagrama de araña, con el fin de identificar fácilmente las taquillas críticas por los niveles de  $MP_T$ .

### **5.5.2 Estrés Térmico**

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de índice WBGT se clasificaron y representaron en una gráfica X, Y los valores obtenidos en los momentos evaluados en cada uno de los monitoreos (*anexo No 4*). Posterior a esto se realizó una comparación con los TLV's correspondientes (Frio=-7°C; Calor= 30°C) identificando los valores críticos para cada condición. En la representación general de los resultados no se muestran los valores de las horas de la mañana ya que los niveles obtenidos se encuentran muy lejanos al TLV de referencia (- 7°C), según la ACGIH dichas condiciones de frío solo se alcanzan en procesos industrial es específicos y actividades generalmente relacionadas con la producción de alimentos. Al final del presente documento en el anexo 4, se encuentran los resultados específicos de cada estación (bajas temperaturas y altas temperaturas).

Posterior a la representación gráfica individual, se graficaron los índices WBGT mas altos obtenidos en cada estación mediante un diagrama de araña, con el fin de identificar fácilmente las taquillas críticas por los niveles de estrés térmico.

### 5.5.3 Luminosidad

En cuanto a las condiciones lumínicas los resultados obtenidos (máximo, mínimo y promedio), se clasificaron y representaron en una gráfica X, Y de acuerdo a la hora de captura (mañana, tarde). Posterior a esto cada uno de los valores fueron comparados con el TLV máximo correspondiente a oficina general con requerimientos especiales para el manejo y uso de pantallas, ya que el personal involucrado en la presente investigación usa constantemente equipos electrónicos de pantalla para la recarga y venta de tiquetes del sistema de transporte masivo.

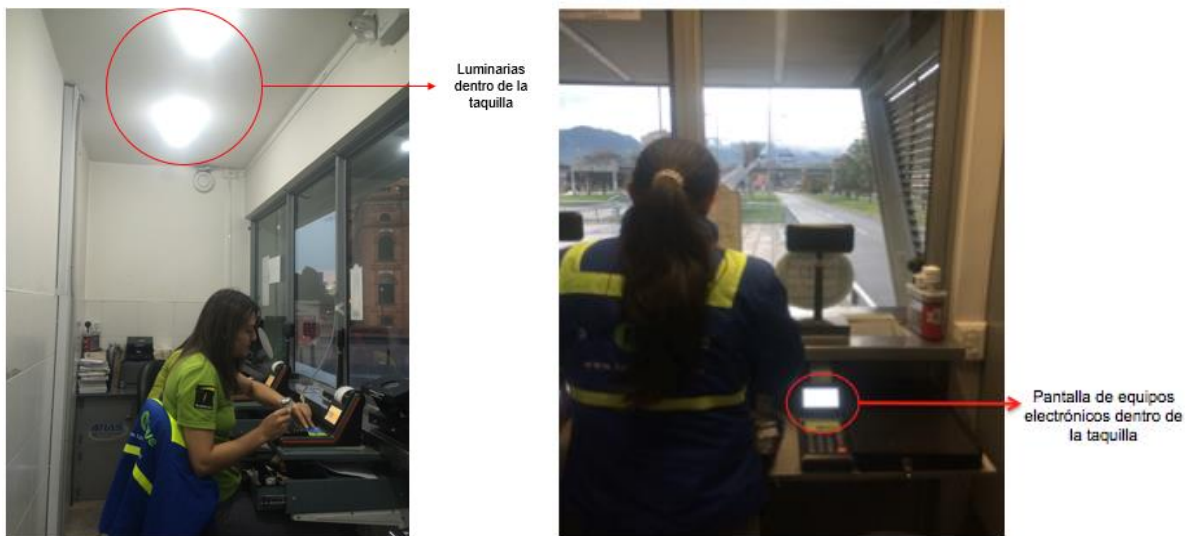
**Tabla 17.** Tipo de recinto.

Oficinas	Min	Prom	Max
Oficina general, computación	300	500	750

Fuente: (ACGIH, 2014)

Para toda la comparación normativa se evaluó la condición máxima de luminosidad ya que la guía técnica del ICONTEC GT-08 "Principios de Ergonomía Visual", Iluminación para ambientes de Trabajo en Espacios Cerrados cita: " La Valoración Máxima, se aplicará cuando la labor a realizar presenta condiciones donde la productividad y la exactitud de la tarea se considera de gran importancia, o cuando la capacidad visual de la persona así lo requiere (Pinilla, 2008). Para observar con mayor facilidad los resultados obtenidos fueron agrupados en un diagrama de araña al igual que los parámetros anteriormente citados. En la siguiente fotografía se puede observar la pantalla del equipo electrónico que usan los trabajadores del sistema para la venta y recarga de pasajes del sistema de transporte masivo.

**Fotografía 31.** Ambiente laboral y presencia de equipos electrónicos con pantalla.



Fuente: Elaboración propia

A parte de lo anteriormente citado, se escogió unos TLV's más exigentes que los demás trabajos con equipos electrónicos de pantalla, ya que el personal involucrado en la venta y recarga de tarjetas durante toda su jornada laboral debe identificar la validez del papel moneda recibido (dinero) con el fin de evitar las pérdidas en la economía propia y de la empresa en general. Dicha identificación demanda unas condiciones más óptimas y exigentes de las condiciones lumínicas en el ambiente laboral de estudio

Para la interpretación de los resultados de intensidad lumínica también se tuvo en cuenta los rangos establecidos por el Instituto Español de Seguridad e Higiene del Trabajo de acuerdo a los porcentajes de cumplimiento del TLV de referencia.

**Tabla 18.** Criterios de valoración para los niveles de iluminación.

<b>GRADO</b>	<b>% DEL VALOR REQUERIDO</b>	<b>CALIFICACIÓN DE LA ILUMINACIÓN</b>
Cansancio visual	Mayor a 105	EXCESIVA
No produce patología	90 – 105	ADECUADA
No produce patología pero no es óptimo	60 – 89	ACEPTABLE
Produce patología a mediano o largo plazo	30 - 59	DEFICIENTE
Modificación Urgente	0 - 29	MUY DEFICIENTE

**Fuente:** (Insht, 2008)

## **5.6 FASE 6 INFORME**

Este documento contiene la información de todos los procedimientos, métodos, resultados y análisis desarrollados para la realización del proyecto de investigación "Evaluación de los niveles de estrés térmico, material particulado total y luminosidad, en el interior de las taquillas de las estaciones de Transmilenio"; donde se estableció la existencia o no de riesgos ocupacionales en las estaciones propuestas en la FASE 1. Identificación y diagnóstico de la presente metodología.

Como primera medida, el documento es entregado a la Universidad de la Salle, para su evaluación y aprobación, posteriormente se entrega a los directivos de Transmilenio y Recaudo Bogotá S.A.S, para que lleven a cabo las acciones pertinentes de acuerdo con lo estipulado en las recomendaciones dadas por el presente documento.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

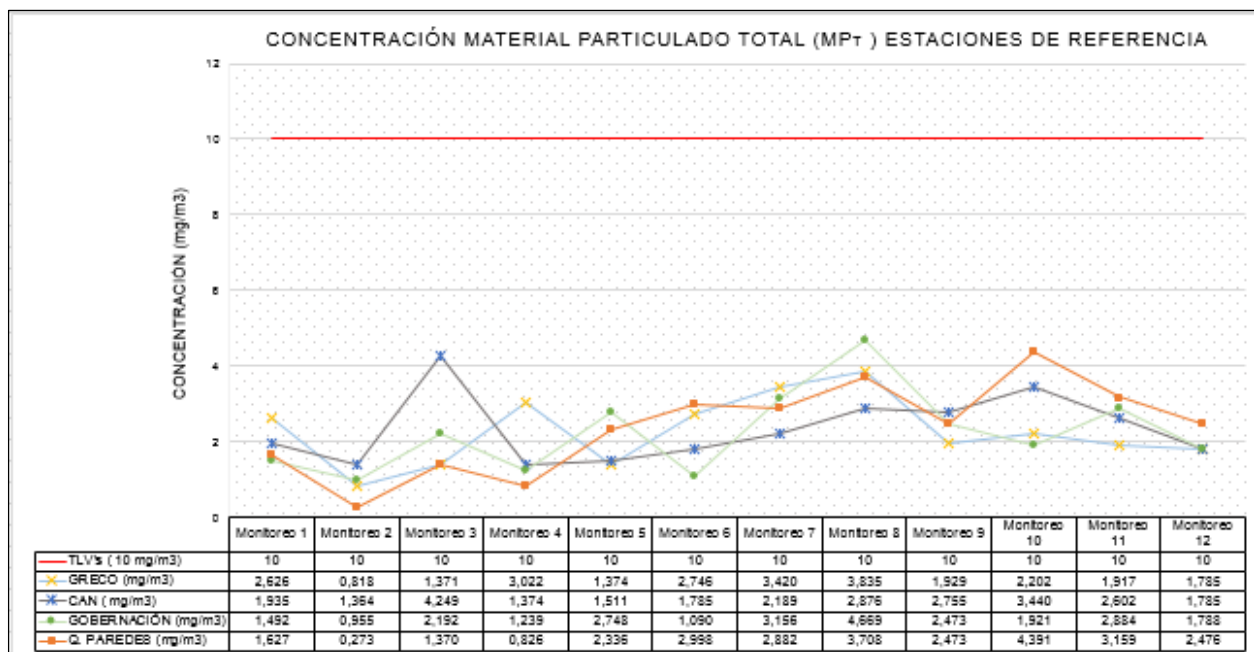
A continuación se describen los resultados generales obtenidos durante el periodo de evaluación, los resultados específicos (día a día) para cada una de las estaciones evaluadas son descritos detalladamente en el *anexo No 4*.

### 6.1 Resultados y Análisis– Zona de referencia Troncal Calle 26

#### 6.1.1 Material Particulado Total – Zona de referencia

Los resultados de  $MP_T$  en el área de referencia se representan a continuación.

**Gráfico 8.** Concentraciones  $MP_T$  encontradas durante el periodo de muestreo en la zona de referencia.



Fuente: Elaboración Propia

Como se pensó en el planteamiento de la presente investigación las estaciones de referencia no sobrepasan el TLV en ninguna de las muestras, obteniendo una concentración máxima de 4,669 ( $mg/m^3$ ) para la estación Gobernación.

Es de gran importancia mencionar que estos resultados van directamente ligados a las condiciones favorables de diseño estructural, vial y de movilidad que caracterizan la zona. El diseño estructural (descrito *Fase 1. Identificación y Diagnostico*) característico de la zona permite un mejor movimiento de la masa de aire, dicho movimiento atmosférico permite que el  $MP_T$  generado en la zona se disperse con mayor facilidad que en el área crítica.

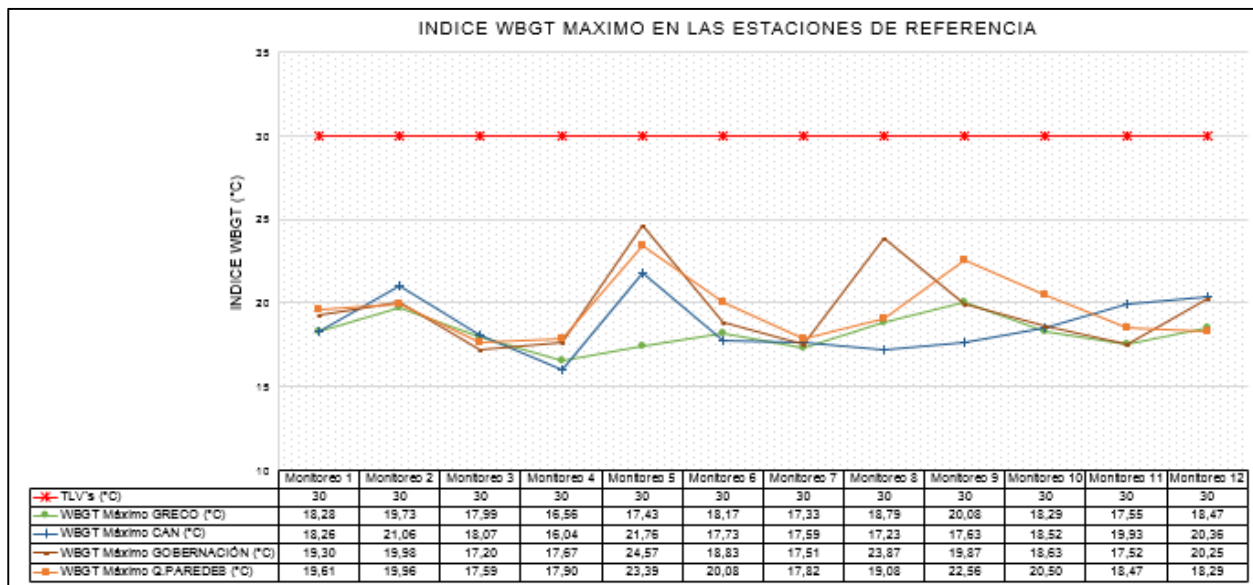
Las vías juegan otro papel importante ya que son de diseño amplio lo que evita problemáticas de movilidad y represamiento vehicular, según lo que se pudo establecer en la identificación del área de referencia, la mayor parte de vehículos son de servicio particular lo que favorece notablemente la reducción de emisiones contaminantes en esta zona, como se puede observar en la *fotografía No 2* el flujo de transporte público convencional es bajo. Debido a las nuevas políticas del gobierno distrital se han reducido notablemente las rutas de servicio público convencional por la Calle 26, dichas medias se ven reflejadas positivamente en las personas que a diario transitan el área en especial los trabajadores expuestos evaluados en la presente investigación.

A partir del modelo de J. Rock se puede establecer que todas las estaciones de referencia se encuentran en una zona de baja exposición, siendo innecesario la aplicación de medidas de control y prevención.

### 6.1.2 Estrés térmico – Zona de referencia

Los resultados de estrés térmico en las horas de altas temperaturas se representan a continuación. Como se mencionó en la *Fase 5. Análisis e interpretación de resultados* los valores de bajas temperaturas son representados en el *anexo No 4*, para cada estación de análisis.

**Gráfico 9.** Niveles de estrés térmico por calor al interior de las taquillas de Transmilenio zona de referencia- horas de la tarde.



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la anterior gráfica, ninguno de las muestras tomadas en las 4 taquillas de referencia supera el VLP, siendo la muestra más alta del índice WBGT de 24,57°C, en la estación Gobernación.

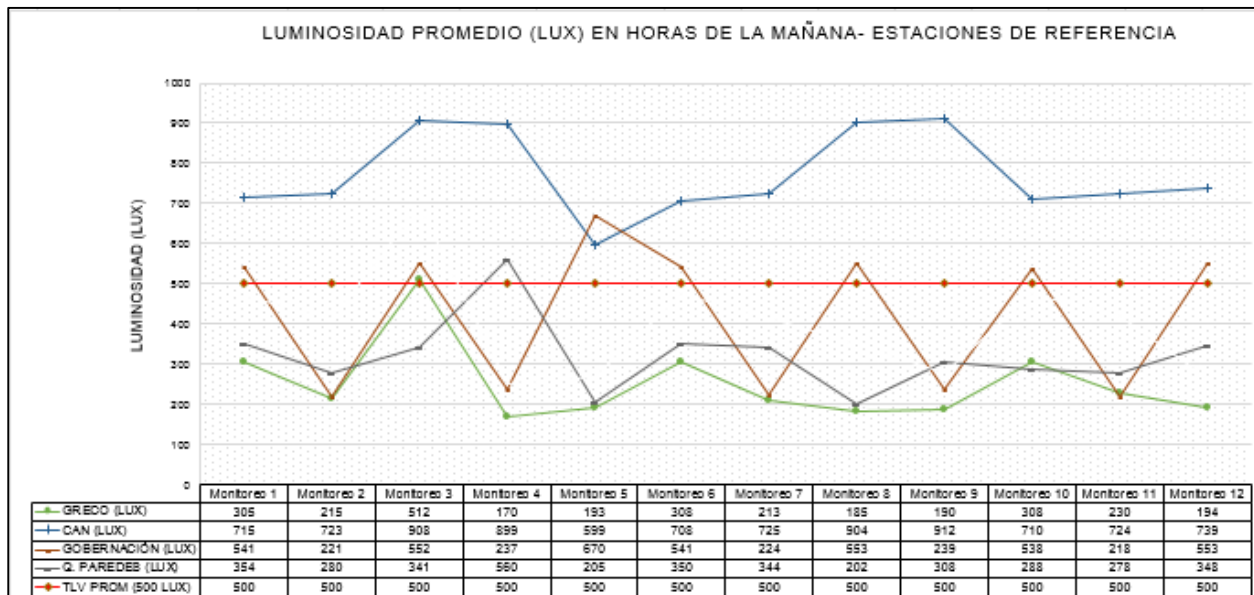
Todas las estaciones de referencia presentan un comportamiento similar debido a que se encuentran continuas sobre el mismo eje de la troncal Calle 26, aparte de esto poseen características similares en cuanto a materiales y diseños de construcción.

Aunque ninguna de las muestras supero el TLV'S de referencia, se puede apreciar que todos los datos están en zona de exposición - moderada alta lo que según J. Rock y la GTC-45 sugiere que estos deben ser muestreados con cierta frecuencia, con el fin de vigilar el comportamiento de las concentraciones, además de esto se requieren controles médicos y ambientales, con medidas técnicas correctivas de fácil ejecución. A Partir de lo anteriormente citado, se generan las recomendaciones pertinentes al caso basadas en la literatura científica y entidades internacionales.

### 6.1.3 Luminosidad hora mañana – Zona de referencia

En la siguiente gráfica se puede observar que gran porcentaje de las muestras promedio obtenidas (horas de la mañana) en las taquillas de las estaciones CAN y Gobernación superan lo propuesto por la American Conference of Governmental Industrial hygienists, lo que según el Instituto Español de seguridad e Higiene del trabajo significa una sobre iluminación del puesto de trabajo, lo que puede incurrir en importantes problemáticas de cansancio visual para el trabajador; aparte de esto las condiciones excesivas de iluminación puede generar problemas de deslumbramiento lo que podría verse reflejado en accidentes en el lugar de trabajo.

**Gráfico 10.** Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- mañana en la zona de referencia.



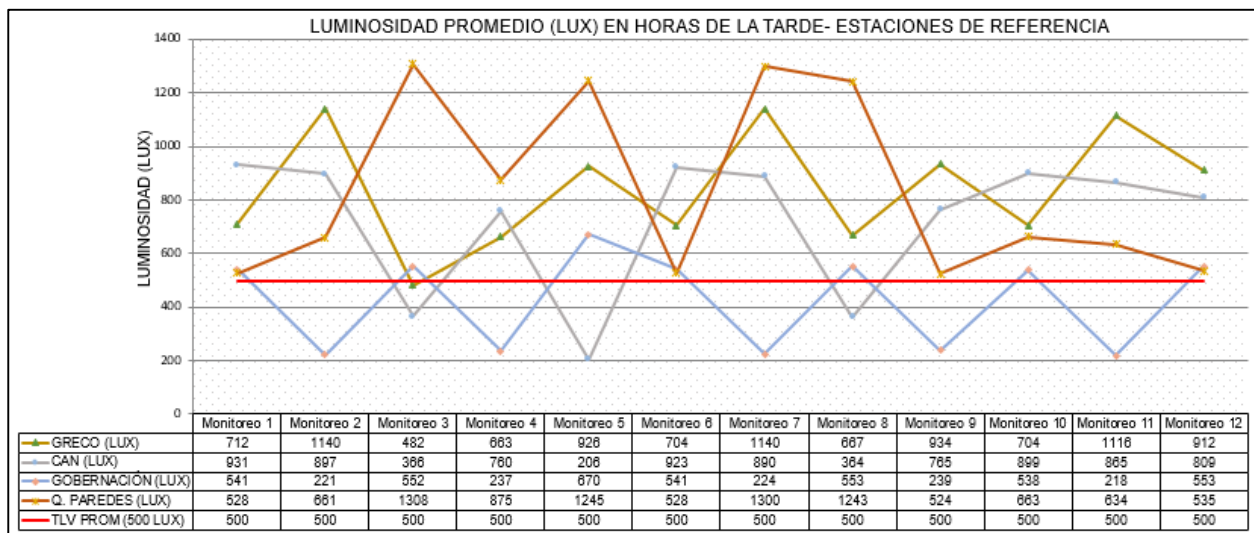
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a las estaciones Greco y Quinta Paredes se pudo establecer que el promedio se encuentra por debajo del TLV de referencia por lo cual es necesario implementar medias de control que permitan mejorar la eficiencia de las luminarias existentes.

### 6.1.4 Luminosidad horas de la tarde – Zona de referencia

A diferencia de las evaluaciones realizadas en las horas de la mañana se puede observar en la siguiente grafica que gran parte de los valores promedio registrados en las horas de la tarde superan el VLP de referencia, lo que significa problemas de excesiva iluminación.

**Gráfico 11.** Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- tarde en la zona de referencia.



Fuente: Elaboración Propia

Es apreciable que la iluminación en las estaciones críticas y de referencia para las horas de la tarde presenta una tendencia medianamente uniforme ya que la gran mayoría de muestras supera la norma.

En cuanto a las estaciones de referencia encontramos que el valor más alto registrado de iluminación fue de 1308 lux en la taquilla de la estación Quinta Paredes, esta estación presento los niveles de luminosidad más altos en comparación con las demás estaciones de referencia del estudio durante la tarde.

Cabe mencionar que dichos resultados se ven influenciados por la iluminación natural generada por el sol ya que en diferentes momentos del día (según la posición del sol) este se encarga de sobre iluminar el puesto de trabajo; lo anteriormente mencionado permite inferir que no todas las problemáticas relacionadas con la iluminación del puesto laboral son culpa exclusiva de las luminarias y su posición al interior de las taquillas.

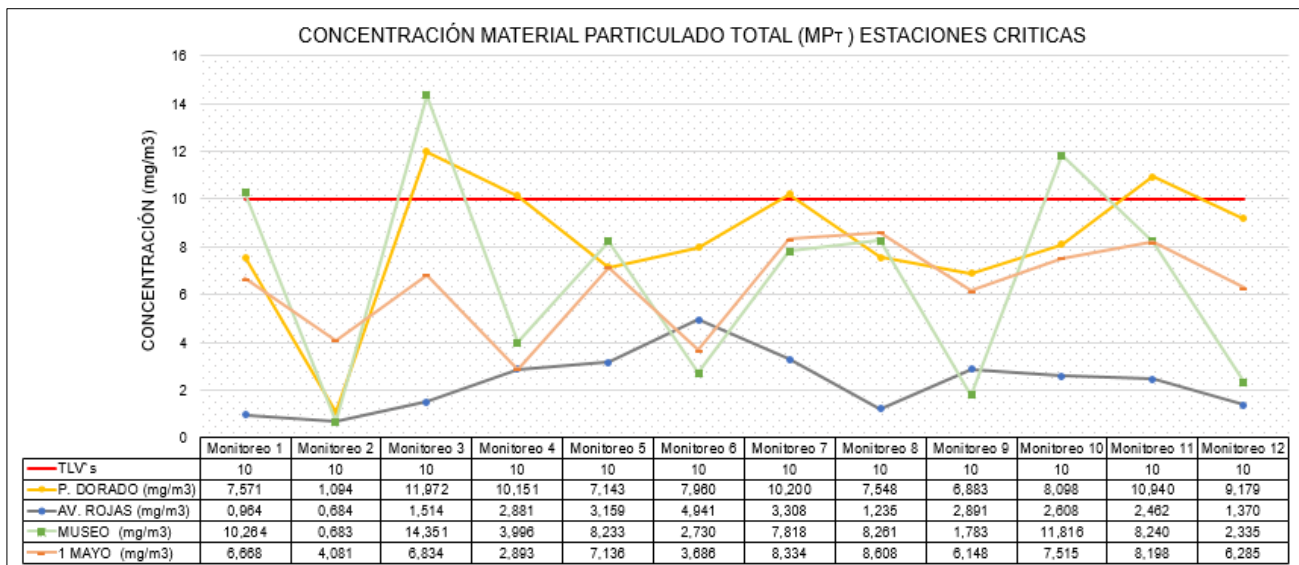
De acuerdo a los valores máximos registrados en todo el periodo de evaluación en esta estación, se puede determinar que los trabajadores ubicados en el interior de las taquillas, están expuestos a riesgos ocupacionales por excesiva luminosidad, el cual se puede estar viendo reflejado en cansancio visual.

## 6.2 Resultados y Análisis– Zona de Crítica Troncal Carrera Décima

### 6.2.1 Material Particulado Total – Zona crítica

Los resultados de las estaciones críticas (*Gráfica No 12*) muestran un comportamiento adverso a las estaciones de referencia, ya que se alcanzan valores críticos de 14,351 mg/m<sup>3</sup> (taquilla estación Museo Nacional) lo que infiere un incumplimiento de los TLV'S en aproximadamente un 43,51%.

**Gráfico 12.** Concentraciones MP<sub>T</sub> encontradas durante el periodo de muestreo en la zona de crítica.



Fuente: Elaboración Propia

El segundo valor más crítico de MP<sub>T</sub> obtenido en la investigación fue de 11,972 mg/m<sup>3</sup> (taquilla Portal Dorado) seguido de 8,608 mg/m<sup>3</sup> registrado en la taquilla de la estación Avenida Primera de Mayo. Las condiciones de diseño estructural, vial y de movilidad son determinantes en los resultados obtenidos en las estaciones críticas.

Como se observa en la *gráfica No 12* la taquilla de la estación Museo Nacional presentan los niveles más críticos de MP<sub>T</sub>, ya que se encuentra en un punto crítico de la Carrera Décima, según se citó en las condiciones de flujo vehicular de la Carrera Décima (*fase 1. Identificación y diagnostico*), la calle 28 (justo en frente de la estación Museo Nacional) es uno de los puntos más críticos de toda la troncal con un flujo aproximado de 2000 vehículos por hora de los cuales aproximadamente 800 son buses de servicio público (40%). Dicho flujo genera constantes represamientos e

inconvenientes de movilidad, según se citó la velocidad promedio de viaje es de 26 Km/h (horas pico de la mañana 6:00 a.m.-9:00).

Todos estos problemas de movilidad favorecen la producción de  $MP_T$  por parte de los vehículos que transitan el área ya que como se explicó en el marco teórico la mayor producción de  $MP_T$  se genera cuando los vehículos pasan de estado de inercia a movimiento. Aparte de los problemas de movilidad causados por el mal diseño vial (mucho flujo vehicular para las dimensiones de la vía), el gran tamaño de los edificios circundantes a la estación y la alta densificación predial del área evitan que el  $MP_T$  producido en la zona se disperse de manera natural lo que favorece la acumulación en el interior de la estación Museo Nacional en especial en la taquilla.

La taquilla evaluada del Portal Dorado presenta problemáticas igualmente importantes respecto a los niveles de  $MP_T$ , ya que el máximo valor registrado supero el TLV en aproximadamente 19,72%, de acuerdo a J. Rock tal valor se encuentra en una zona de muy alta exposición lo cual implica la adopción de medidas correctivas ambientales y médicas, así como el seguimiento de la evolución de la concentración existente. Tal concentración se ve directamente influenciada por la inadecuada ubicación de la taquilla al interior del Portal Dorado, ya que se encuentra continua al área de estacionamiento y selección de rutas de los buses alimentadores (*fotografía No 21*). Mientras los motores de los vehículos inician marcha y arrancan operación emiten gran cantidad de  $MP_T$  que termina depositado en el interior de la taquilla gracias a la cercanía de esta con la zona de parqueo de los alimentadores.

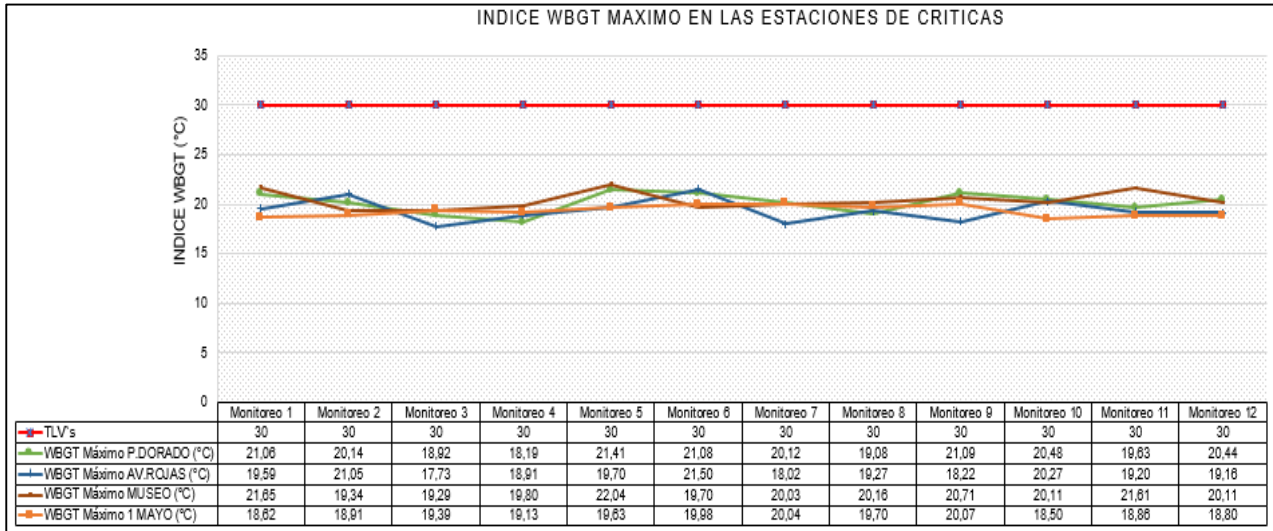
Respecto a los valores obtenidos en la taquilla de la estación Primera de Mayo se observa una reducción gradual respecto a las dos estaciones analizadas anteriormente (Museo Nacional, Portal Dorado), pero esta taquilla sigue encontrándose en zona de exposición moderada - alta. Tales resultados van directamente ligados con las condiciones estructurales, viales y de movilidad que son semejantes a las ya analizadas en la estación Museo Nacional.

La última de las estaciones (Avenida. Rojas) mostro un comportamiento opuesto a las demás estaciones críticas ya que no supero el TLV's en ninguna de sus muestras, encontrándose siempre en una zona de baja exposición. Dichos resultados son favorecidos por las buenas condiciones estructurales, viales y de diseños característicos de la Calle 26; aparte de esto las condiciones de ventilación propias de esta taquilla evitan que el  $MP_T$  generado en el exterior ingrese.

### **6.2.2 Estrés térmico – zona crítica**

Para el caso de las estaciones críticas (Gráfico No 13), se observó un comportamiento similar ya que todos los índices WBGT obtenidos durante los monitoreos se encuentran en zona de exposición moderada- alta; siendo necesaria la implementación de medidas preventivas y de control al igual que las estaciones de referencia.

**Gráfico 13.** Niveles de estrés térmico por calor al interior de las taquillas de Transmilenio zona crítica.



**Fuente:** Elaboración Propia

Cabe precisar que aunque ninguna de las muestras obtenidas en las estaciones críticas supero la norma de referencia, estas tienen condiciones especiales de diseño y ubicación que las hace más susceptibles que las estaciones de referencia.

Las taquillas Museo Nacional y Avenida Primera de Mayo presentan contextos similares ya que se encuentran ubicadas en el interior de dos estrechas vías rodeadas de edificaciones. Al ser las vías demasiado angostas para el flujo es común ver represamientos vehiculares en especial en las horas de tráfico pico. Al acumularse gran cantidad de vehículos al exterior de la estación la temperatura en el interior de la taquilla tiende a aumentar, ya que la combustión de los motores genera importantes aportes calóricos.

Otra de las problemáticas que presenta estas estaciones es la acumulación excesiva de personal en las horas pico que también se convierten en fuentes calóricas para el microambiente de análisis.

En cuanto a la estación Av. Rojas se presenta un índice WBGT máximo de 21,06 °C lo cual no alcanza los valores esperados en planteamiento de la presente investigación, es claro que aunque no se registró un incumplimiento de los VLP de referencia esta estación presenta una problemática importante ya que no cuenta con una rejilla de intercambio de aire exterior - interior como las demás estaciones analizadas.

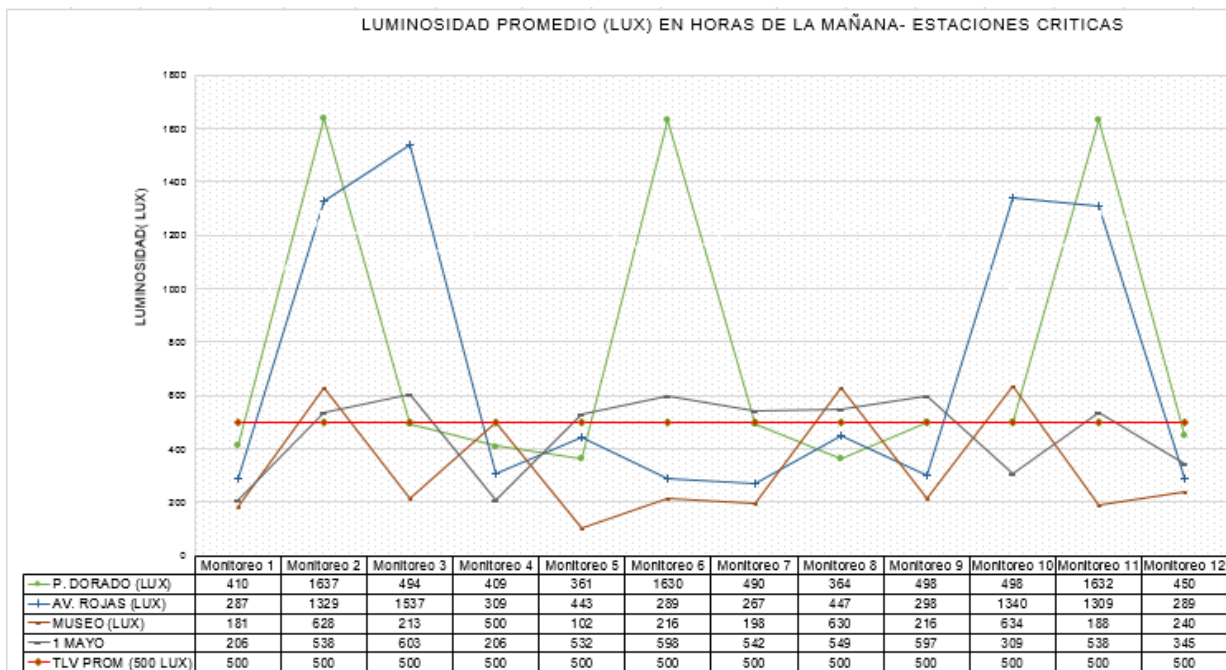
La taquilla evaluada en el Portal Dorado presenta condiciones más favorables que las otras tres estaciones críticas, ya que el diseño amplio permite que la masa de aire circule más fácilmente generando un intercambio de aire constante entre el exterior e interior; además de esto el personal tiene mayor espacio para movilizarse y desarrollar sus actividades laborales diarias. Otro de los aspectos favorables que presenta la taquilla es

su material de construcción ya que a diferencia de las demás estaciones está construida en su mayoría en concreto el cual tiene una menor capacidad calórica que el metal característico de las demás estaciones.

### 6.2.3 Luminosidad horas de la mañana – zona crítica

Las estaciones críticas Portal Dorado, Museo Nacional y Av. Rojas presentaron una sobre iluminación en la mayoría de las muestras obtenidas en las horas de la mañana, en la taquilla del Portal Dorado se registraron los tres valores más altos de toda la muestra los cuales superan la normatividad en 118, 117 y 116 % respectivamente lo que infiere fuertes condiciones de sobre iluminación natural; para el caso de la estación avenida Rojas se presentó una iluminación máxima de 1537 Lux lo que significa un incumplimiento de la norma en aproximadamente 104 %. La estación Museo Nacional al igual que las dos estaciones anteriormente nombradas se encuentra en un rango crítico, ya que 4 de las muestras obtenidas en las horas de la mañana superaron la normatividad.

**Gráfico 14.** Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- mañana en la zona crítica.



Fuente: Elaboración Propia

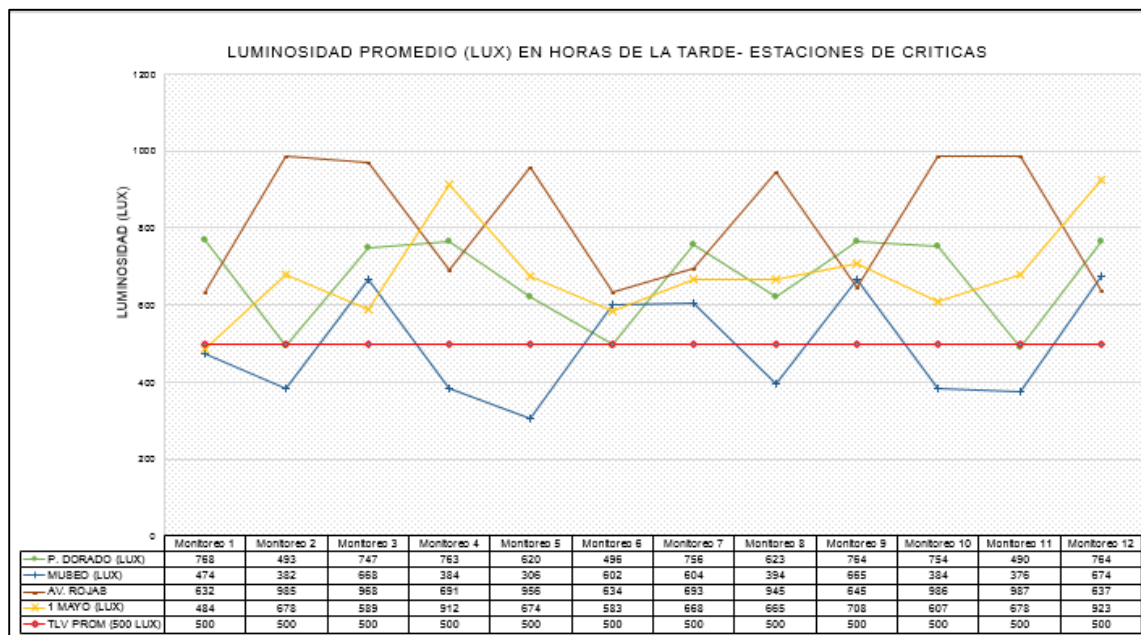
Los niveles de iluminación en la taquilla de la estación crítica Avenida Primera de Mayo presentaron un comportamiento más uniforme (máximo valor registrado 603 LUX), ya que por la ubicación (espaldas a la salida del sol) de esta gran parte de las ondas lumínicas generadas por el sol son dispersadas por el recubrimiento de la taquilla, esto genera que los excesos de iluminación generados por la luz natural no afecten al personal ubicado en el interior de la taquilla.

Es importante resaltar que de las 48 muestras obtenidas en las estaciones críticas (jornada de la mañana) 7 datos sobrepasaron el máximo valor recomendado por la normatividad vigente, dicho valor representa aproximadamente el 15 % de la muestra total obtenida en la jornada de la mañana.

### 6.2.4 Luminosidad horas de la tarde – zona crítica

En el siguiente grafico se puede observar los niveles de luminosidad obtenidos durante el muestreo dentro de las taquillas de las estaciones críticas:

**Gráfico 15 .** Niveles de luminosidad encontrados durante el periodo de muestreo- tarde en la zona crítica.



Fuente: Elaboración Propia

De la evaluación realizada en el área crítica en la jornada de la tarde se puede observar (grafica No 15) que las taquillas de las estaciones Portal dorado, Avenida Rojas y Primera de mayo superan el valor promedio en el 100% de las muestras (48/48) lo que se refleja en excesos de iluminación en el interior del ambiente laboral. Es importante mencionar que en la hora de evaluación de la tarde (horas del medio día) la luz natural influye mayormente que en otros momentos del día ya que el sol se encuentra verticalmente respecto a la superficie de la tierra, lo que provoca que las ondas lumínicas producidas por el sol tengan menores interferencias y lleguen más fácilmente a los puestos de trabajo evaluados.

Al igual que la evaluación en las horas de la mañana se puede observar que la estación Museo Nacional presenta condiciones adversas a las demás estaciones críticas, esto es causado por el diseño especial de esta taquilla, ya que en la parte frontal tiene un techo que impide la llegada directa de las ondas lumínicas al interior de la taquilla.

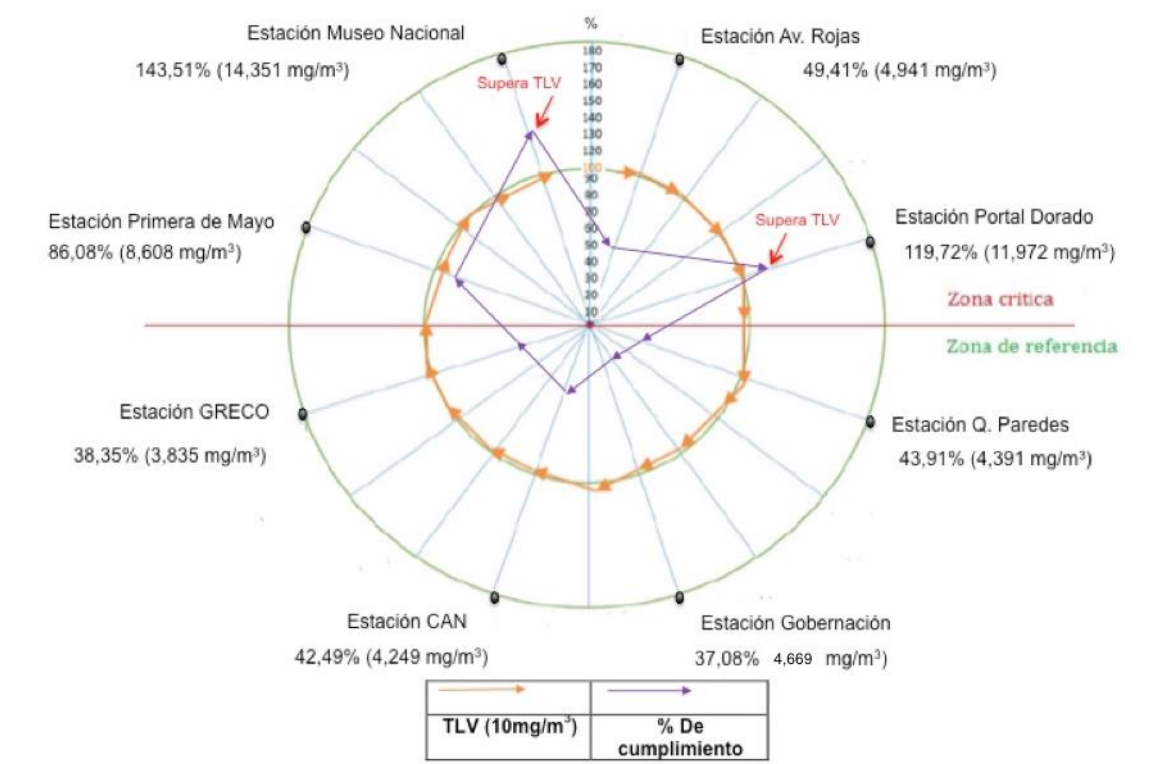
### 6.3 Resultados generales

Para facilitar la interpretación de los resultados generales se siguió la representación gráfica de radar propuesta por la metodología MESMIS, la cual fue citada y explicada en la *Fase 5. Análisis e interpretación de resultados del presente documento*.

#### 6.3.1 Material Particulado Total

A continuación se muestran las máximas concentraciones obtenidas en cada una de las 8 estaciones de análisis, donde es fácilmente apreciable la superación de la norma internacional por dos de las estaciones críticas de análisis (estación Museo Nacional y Portal dorado). Como se explicó en los en la primera parte de los primeros análisis estas concentraciones se ven directamente influencia por el diseño, ubicación y comportamiento de las fuentes móviles que transitan en el área circundante a las taquillas.

**Gráfico 16.** Gráfico de radar para  $PM_{10}$  al interior de las taquillas de Transmilenio.



Fuente: Elaboración Propia

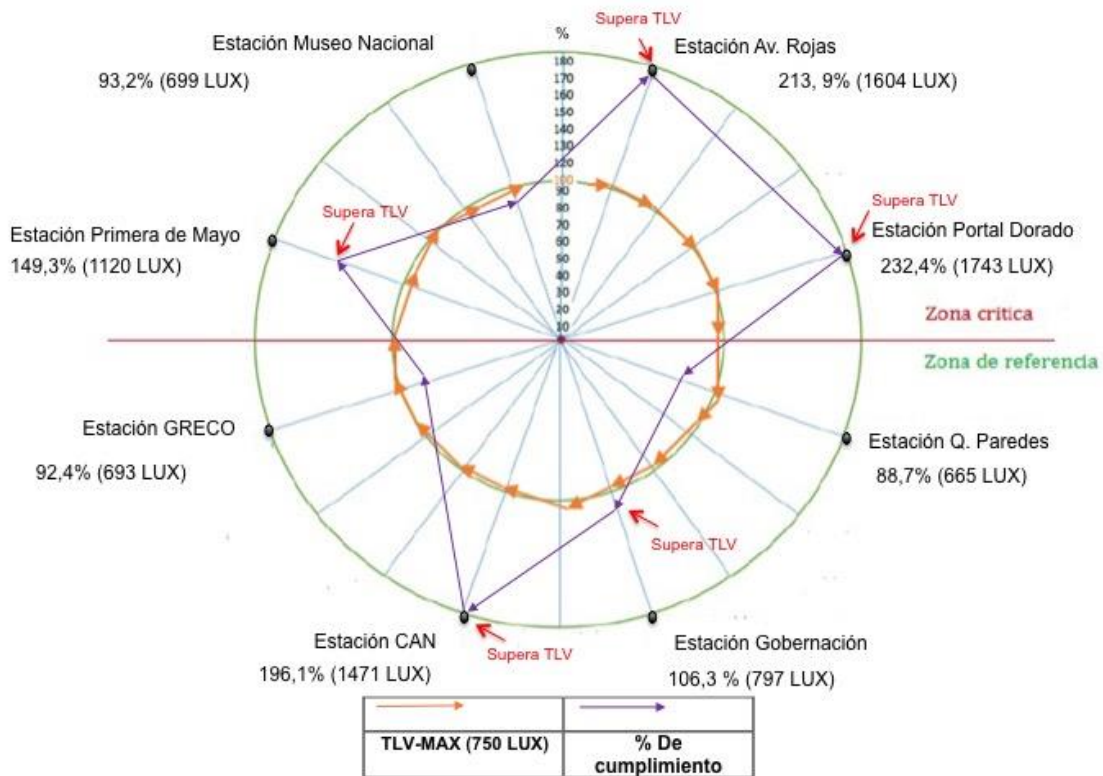


### 6.3.3 Luminosidad horas de la mañana

A continuación se muestra los máximos valores de iluminación obtenidos (horas de la mañana) en cada una de las estaciones de análisis (gráfico 18), observando que en las horas de las mañanas las taquillas de las estaciones Primera de Mayo, Avenida Rojas, Portal Dorado, CAN y Gobernación superan la normatividad en porcentajes críticos de 49 %,113,132%, 96 % y 6 % respectivamente.

Respecto a las estaciones restantes (Greco, Quinta Paredes y Museo Nacional) el máximo valor registrado durante el periodo de monitoreo, se encontró dentro del rango establecido por la ACGIH.

**Gráfico 18.** Gráfico de araña para luminosidad- mañana al interior de las taquillas de Transmilenio.

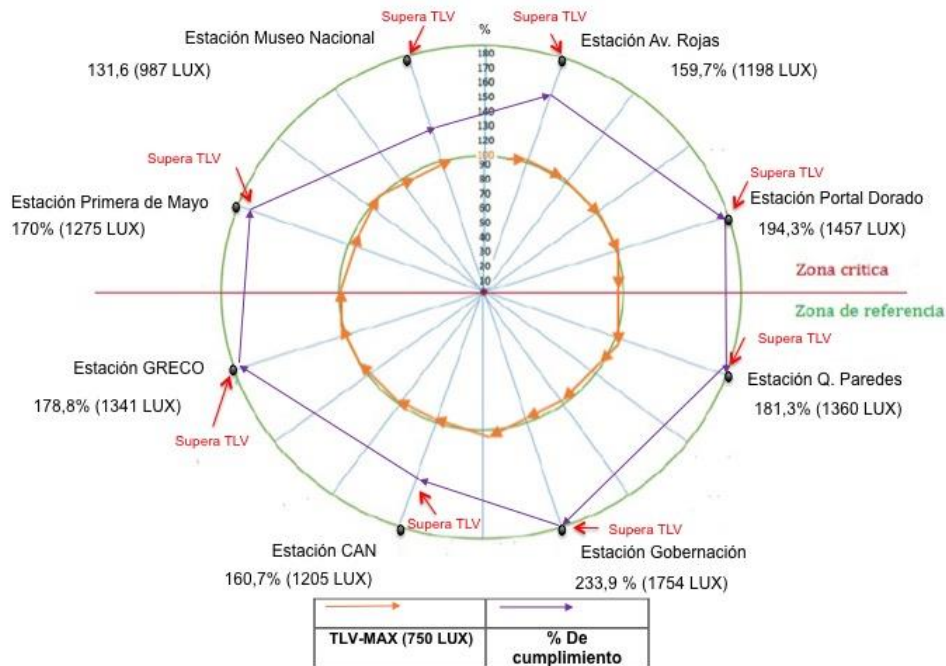


**Fuente:** Elaboración Propia

### 6.3.4 Horas de la tarde

En el siguiente gráfico de araña se puede observar que el 100% de las estaciones analizadas presentan condiciones de sobre iluminación para las horas del mediodía, por esto es necesario seguir analizar y aplicar las acciones preventivas y de control dadas. Como se mencionó anteriormente es importante señalar que en la hora de evaluación de la tarde (horas del medio día) la luz natural influye mayormente que en otros momentos del día ya que el sol se encuentra verticalmente respecto a la superficie de la tierra, lo que provoca que las ondas lumínicas producidas por el sol tengan menores interferencias y lleguen más fácilmente a los puestos de trabajo evaluados.

**Grafico 19.** Gráfico de araña para luminosidad- tarde al interior de las taquillas de Transmilenio.



Fuente: Elaboración Propia

Dicha condición solar es determinante en la sobre iluminación de los puestos de trabajo evaluados (interior de las taquillas), por tal razón es importante que las recomendaciones dadas vayan directamente focalizadas a la reducción de luz natural y no de la artificial ubicada en el interior de los ambientes de trabajo.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a las visitas conjuntas con el personal del Transmilenio y recaudo Bogotá S.A.S, se seleccionaron las estaciones críticas Portal Dorado, Av. Rojas, Museo Nacional y Avenida Primera de Mayo como objetos de estudio, ya que de acuerdo a las consideraciones de Transmilenio y los parámetros de evaluación propuestos ( $MP_T$ , Estrés térmico y Luminosidad), se concluyó que estas estaciones presentan problemáticas medio ambientales induciendo al ausentismo laboral y a quejas constantes de los trabajadores. Junto con lo anteriormente mencionado se concluyó que las estaciones Portal Dorado, Museo Nacional y Avenida Primera de Mayo están influenciadas por la operación de fuentes móviles no controladas las cuales generan altos niveles de material particulado total. Como se observó en la evidencia fotográfica (*fotografía 16 y 17*), las fuentes móviles son una importante problemática para las estaciones anteriormente mencionadas.

Según los monitoreos y evaluaciones realizadas durante el periodo de monitoreo, se pudo determinar que el personal ubicado en las taquillas Museo Nacional, Portal dorado y Av. 1 Mayo presentan condiciones de riesgos ocupacionales por  $MP_T$  ya que las mediciones realizadas se encuentran en rangos críticos según lo establece los TLV's y referencias bibliográficas. Para el caso específico de las estaciones Museo Nacional y Portal Dorado se concluyó que la concentración de  $MP_T$  supera la normatividad en un 43,51% y 19,72% respectivamente, lo que es bastante crítico según lo establece la normatividad vigente. Aunque la estación Avenida Primera de Mayo no supero porcentualmente la norma se estableció que la máxima concentración registrada ( $8,608 \text{ mg/m}^3$ ), se encuentra en zona crítica según lo establecido por el modelo de J. Rock y la GTC 45.

A partir de las mediciones de iluminación realizadas en las horas de la mañana en las taquillas de las estaciones Primera de Mayo, Avenida Rojas, Portal Dorado, CAN y Gobernación se concluyo que los valores máximos registrados superan la normatividad en porcentajes críticos de 49 %,113,132%, 96 % y 6 % respectivamente.Las mediciones restantes mediciones de intensidad lumínica permitieron establecer que en las horas de la mañana el personal ubicado en el interior de las taquillas Salitre El Greco, Quinta Paredes y Museo Nacional no sufren riesgos ocupacionales por condiciones lumínicas deficientes, pero es necesario implementar un plan de acción ya que las concentraciones llegaron a niveles del 70%. A partir de esto se puede inferir que ningunas de las estaciones se encuentra en el rango optimo citado por la ACGIH lo que puede generar efectos negativos sobre los trabajadores expuesto y las actividades laborales que a diario estos realizan. Las condiciones lumínicas de las horas del medio día no fueron mayormente favorables ya que se pudo establecer que 100% de las estaciones presentan riesgos ocupacionales por sobre iluminación lo que podría generar a futura problemas de disconfort laboral así como posibles accidentes a causa del deslumbramiento.

Para la evaluación de estrés térmico se pudo establecer que el personal no presenta riesgos ocupacionales (ni por calor, ni por frio) según lo estimado por los TLV's, ya que

el máximo valor registrado para el periodo de muestreo fue 24,57° C (estación Gobernación) lo cual representa un 81,9% del valor total de referencia (30° C). A pesar que el máximo valor no supera la normatividad adoptada por el gobierno de Colombia mediante el Ministerio de Salud en la resolución 2400 de 1979, es necesario acatar las medidas citadas por la literatura y la ACGIH para los niveles de índice WBGT obtenidos ya que superan el valor de 70 % sugerido por los diferentes entes competentes y por lo tanto debe ser ejecutado un plan de acción .

## **8. RECOMENDACIONES Y/O MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS PARA CADA PARÁMETRO EN LOS SITIOS DE MEDICIÓN DONDE SE PRESENTARON RIESGOS OCUPACIONALES**

Se recomienda a las directivas de Transmilenio facilitar y coordinar con los operadores para que se faciliten los ingresos de los investigadores a las zonas de muestreo, en este caso al interior de la taquilla a fin de tomar personalmente las muestras.

### **8.1 Material Particulado total**

Se recomienda establecer en las taquillas Av. Rojas, Portal dorado, Museo nacional y Avenida Primera de mayo con sistemas de ventilación suplementarios que puedan extraer aire y suministrar un flujo de aire dirigido a donde sea necesario.

Debido a las elevadas concentraciones de  $MP_T$  se recomienda realizar un estudio donde se establezca la composición físico química del  $MP_T$  presente en el interior de las taquillas del sistema, ya que dicho contaminante puede poseer sustancias tóxicas que pueden aumentar los riesgos ocupacionales en los trabajadores expuestos.

Se recomienda utilizar elementos protección personal EPP, de acuerdo a las características, especificaciones y materiales establecidos en la NTC 1584, la cual cita las normas de higiene y seguridad de equipos de protección respiratoria.

Se recomienda incorporar un programa de vigilancia médica donde se incluya exámenes físicos con énfasis en el sistema respiratorio, y ofrecer información y formación a los trabajadores sobre los efectos adversos de la exposición a este contaminante, las medidas de prevención y la razón de los programas de vigilancia médica.

### **8.2 Estrés Térmico**

Si bien los niveles de estrés térmico no superan los valores límites permisibles, es necesario seguir las recomendaciones descritas por la ACGIH (Inhst, 2011), ya que los resultados alcanzaron valores superiores al 70 % del valor máximo permisible lo que indica la implementación de un plan de acción.

Se recomienda ofrecer información y formación a los trabajadores sobre el estrés térmico, así como instrucciones y procedimientos de trabajo precisos y programas de entrenamiento frecuentes.

Se recomienda fomentar en los trabajadores expuestos la ingesta de pequeñas cantidades de agua fresca o bebida isotónica (aproximadamente un vaso), cada 20 minutos.

Se recomienda considerar dentro de la vigilancia de la salud, la realización de pruebas médicas específicas con el fin de detectar precozmente la sensibilidad por exposición a calor.

Se recomienda fomentar el mantenimiento físico de los trabajadores, peso corporal controlado y alimentación, ya que personas con sobrepeso presentan una serie de desventajas a la hora de enfrentarse a una situación de estrés térmico.

Se recomienda controlar especialmente y en su caso limitar la exposición de aquellos trabajadores que tomen medicación que pueda afectar el funcionamiento del sistema cardiovascular.

Además de los controles anteriormente mencionados, se pueden adoptar medidas administrativas, que ayuden a reducir la cantidad de exposición por calor, realizando rotaciones entre los trabajadores, la cual permita cambiar periódicamente de estaciones críticas a otras más favorables.

Se recomienda ampliar el estudio a diferentes épocas del año, ya que el comportamiento climatológico de Bogotá es bimodal, y esto implica fluctuaciones en factores que inciden principalmente en el índice WBGT como es el de la temperatura ambiente.

Se recomienda como última medida preventiva se recomienda que en la medida que sea posible buscar la reubicación del cuarto eléctrico ubicado en el sector adyacente a la taquilla de la estación Av. Rojas.

### **8.3 Luminosidad**

Se recomienda la instalación de luminarias tipo LED en las estaciones analizadas en la evaluación, ya que favorece la ergonomía laboral y además genera una reducción en los gastos eléctricos.

Se recomienda llevar un control estricto de las luminarias con el fin de identificar cuando estas se encuentren al borde de la vida útil, ya que con el paso del tiempo la eficiencia e iluminación generada por estas desciende gradualmente. Por último se recomienda para las estaciones de referencia sustituir las superficies metálicas donde se hace el intercambio de dinero entre el usuario y el trabajador, con el fin de eliminar la reflexión producida por el sol y este material sobre los ojos del trabajador.

## 9. LISTA DE REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ACGIH. (2014). *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*. Obtenido de <http://www.acgih.org>
- Alcaldía de Bogotá. (Agosto de 1961). *Alcaldía mayor de Bogotá*. Obtenido de Acuerdo 38 de 1961: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15055>
- Aristizabal, G., Hernández, L. J., & Medina, K. (5 de Noviembre de 2009). *Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de [saludcapital: http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Informacin%20general%20para%20descargas/Documentación/Informe%20calidad%20de%20aire%20y%20salud%202007.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Informacin%20general%20para%20descargas/Documentación/Informe%20calidad%20de%20aire%20y%20salud%202007.pdf)
- Bedoya Suárez, B. S. (2010). *Evaluación de los factores de riesgo físicos ruido, estrés térmico e iluminación en los concesionarios de una plaza de mercado de la ciudad de Cali*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de [bdigital: http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/1193/1/TID00333.pdf](http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/1193/1/TID00333.pdf)
- Behrentz, E. (2006). *Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo*. Universidad de los Andes, Ingeniería Civil y Ambiental, Bogotá.
- Cáceres, D., Adonis, M., Acinc, P., Valencia, M., Ramos, X., Olivares, N., & Gil, L. (Enero de 2001). Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana/ Santiago de Chile. *Scielo*, 129(1), 2-4.
- Coleparmer. (2011). *QT-34 QUESTemp °34 with sensor bar assembly1 and 2" style globe sensor*. Recuperado el Febrero de 2014, de [Coleparmer: http://www.coleparmer.com/Product/QT\\_34\\_QUESTemp\\_34\\_with\\_sensor\\_bar\\_assembly1\\_and\\_2\\_style\\_globe\\_sensor/EW-86415-20](http://www.coleparmer.com/Product/QT_34_QUESTemp_34_with_sensor_bar_assembly1_and_2_style_globe_sensor/EW-86415-20)
- Corredor, m., Edwin, C., & Sánchez, M. (Julio de 2008). Evaluación de los riesgos por iluminación en las oficinas de una empresa petrolera. *Scielo*, 12(48).
- Dalcame. (2001). *Dalcame*. Obtenido de <http://www.dalcame.com/wdescarga/sismater.pdf>
- Directindustry. (2014). *Directindustry*. Obtenido de [Extech: http://www.directindustry.es/prod/extech/luxometro-digital-14309-562388.html](http://www.directindustry.es/prod/extech/luxometro-digital-14309-562388.html)

- Dockery, D., & Spengler, J. (1993). *An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*. NCBI, National library of medicine.
- Dounis, A., & Caraiscos, C. (9 de Septiembre de 2008). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environmental review. *elsevier*, 1246-1261.
- EPA. (21 de Noviembre de 2014). *EPA United states Environmental Protection Agency*. Obtenido de An Introduction to Indoor Air Quality (IAQ).: <http://www.epa.gov/iaq/ia-intro.html>
- Espinosa Valderrama, M., Rojas, N., & Gómez, R. (Junio de 2005). *Caracterizacion del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá*. (A. Nova, Ed.) Recuperado el 23 de Abril de 2015, de ucrcba: <http://www.ucrcba.edu.bo/publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2.espinosa.pdf>
- Espinoza, L., & Suárez, K. (2005). *Trabajadores costarricenses expuestos a sobrecarga termica; implicaciones en la salud y la produccion*. Colegio de enfermeria en Costa Rica, Costa Rica.
- Extech. (2014). *Medidor de luz de servicio pesado- manual usuario*. Obtenido de extech: [http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/407026\\_UMsp.pdf](http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/407026_UMsp.pdf)
- Fasecolda. (2011). *Asesoría en salud ocupacional*. Recuperado el 8 de Marzo de 2015, de Accidentes de trabajo y enfermedades profesionales en Colombia: <http://www.asesoriaensaludocupacional.com/articulos.php?id=18>
- Felipe, P. (2010). Carrera Decima. *Carrera Décima*. Own work, Bogota.
- Fernández, H. (18 de Julio de 2012). *Aire nuevo para Bogotá*. Obtenido de Wordpress: <https://airenuevobogota.wordpress.com/page/15/>
- Franco, J. f., Rojas, N., Sarmiento, O. L., Hernandez, L. J., Zapata, E., Maldonado, A., . . . Behrent, E. (9 de Septiembre de 2009). Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(49), 103-105.
- Gaitán, M., & Cancino, J. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Scielo*.
- García, J. (2004). *Iluminación de interiores*. Obtenido de Recursositcea: <http://recursos.itcea.upc.edu/illum/interior/iluint1.html>
- Godish, T. (1989). *Indoor pollution control* (1ª ed.). Kansas, U.S: Lewis Publisher.

- Guerrero, J. (2013). *Desarrollo de una metodología para evaluar la cobertura espacial de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá*. Tesis, Universidad Nacional, Ingeniería Ambiental y Sanitaria , Bogotá.
- Harrison, R., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *ScienceDirect*, 85-101.
- Henao, F. (2009). *Condiciones de trabajo y salud- Diagnóstico integral*. Bogota.
- Hernandez , L. J. (2007). *Calidad de aire y salud*. Universidad de los Andes, Facultad de Medicina, Bogota.
- Herrick, R. (2000). ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- Herrick, R. (2008). *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*.
- Higielectronix. (2012). *Higielectronix*. Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de [http://www.higielectronix.com/web/productos/Bombas\\_de\\_Muestreo](http://www.higielectronix.com/web/productos/Bombas_de_Muestreo)
- Incontec. (2013). *Incontec Internacional*. Recuperado el 24 de Abril de 2015, de Principios de ergonomia visual.iluminacion para ambientes de trabajo en espacios cerrados GTC 8: <http://tienda.icontec.org/index.php/ambiente/gtc-8-electrotecnia-principios-de-ergonomia-visual-iluminacion-para-ambientes-de-trabajo-en-espacios-cerrados.html>
- Inhst. (2011). *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo* . Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/891a925/922w.pdf>
- Insht. (2008). *Insht*. Obtenido de Criterios de valoración en higiene industrial: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_244.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_244.pdf)
- ISTAS. (2009). *Instituto sindical de trabajo, ambiental y salud*. Recuperado el 12 de Febrero de 2014, de <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=187>
- Lazar, A., Reilly, P., & Whitten, W. (1999). Real-time Surface Analysis of Individual Airborne Environment Particles. *Enviromental science & technology*, 33(22), 3993-4001.
- Linjie, L. (Agosto de 2013). Impact of new lighting technologies on office ergonomics. *virtualpro*, 2-5.
- LocationColombia. (2009). *Avenida el dorado, Calle 26*. Obtenido de LocationColombia: <http://locationcolombia.com/?locaciones=avenida-el-dorado-calle-26>

- Lookfordiagnosis. (2014). *Lookfordiagnosis*. Recuperado el 17 de Abril de 2015, de Astenopia:  
[http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=astenop%C3%ADa&lang=2](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=astenop%C3%ADa&lang=2)
- Ministerio de Trabajo. (2000). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de Iluminación de los centros de trabajo:  
[http://www.insht.es/inshtweb/contenidos/documentacion/fichastecnicas/ntp/ficheros/201a300/ntp\\_211.pdf](http://www.insht.es/inshtweb/contenidos/documentacion/fichastecnicas/ntp/ficheros/201a300/ntp_211.pdf)
- Mintrabajo. (2013). *Mintrabajo*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Riesgos Laborales: <http://www.mintrabajo.gov.co/riesgos-laborales.html>
- Miyosh, G. (5 de Mayo de 2015). *Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales*. (s. d. Socioambientales, Productor) Obtenido de <http://mesmis.gira.org.mx/mesmis-interactivo>
- Molina Esquivel, E., & Cuba Valdés, D. (Septiembre de 2006). Contaminación del aire interior en un proyecto de viviendas con climatización centralizada. *SciELO*, 44(3).
- Mondelo, E., & Barrau, P. (1999). *Ergonomía Fundamentos* .
- Mondelo, Gregori, P., & Uriz, S. (2001). Confort y estrés térmico. Alfaomega.
- Morawska, L., Thomas , S., Jamriska, M., & Johnson, G. (30 de Julio de 1999). Modality of Particle Size Distribution of Environmental Aerosols. *Atmospheric Environment. Sciencedirect*, 33(27), 4401-4411.
- Nacional, U. (2013). *Contratacion unal*. Obtenido de <http://www.contratacion.unal.edu.co/documentos/CON-BOG-010-2013/pdf/CON-BOG-010-2013-ANEXO%206%20-%20PRM%20V.%20PROPUESTA%208%20estudio%20transito.pdf>
- Niño Murcia, C., & Reina Mendoza, S. (2010). *La carrera de la modernidad. Construcción de la carrera Décima. Bogotá (1945-1960)*.
- OIT. (2005). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo.
- OMS. (Noviembre de 1999). *Regional guidelines for the development of healthy workplaces*. Obtenido de World Health Organization: [http://www.who.int/occupational\\_health/regions/en/oehwproguidelines.pdf?ua=1](http://www.who.int/occupational_health/regions/en/oehwproguidelines.pdf?ua=1)
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe. *Washington*, 24.
- Parker, A. (2001). *Contaminacion del aire por la industria* (1ª ed.). España.

- Pietrini, V., Sandra, G., & Alfredo, R. (1998). Mutagenicidad de las Aero partículas.
- Pinilla. (2008). *Iluminacion protocolo*. Obtenido de Copernico: <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/HYSI/PROTOCOLO%20ODE%20ILUMINACION%202008-1.pdf>
- Piñeda, A., & Montes, G. (8 de Mayo de 2013). Iluminación y confort térmico en trabajadores de oficinas con pantalla de visualización de datos. *Ingeniería, matemáticas y ciencias de la información*, 49-71.
- Prendez, M., Corvalan , R., & Cisternas, M. (2007). Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile. *Scielo*, 18(2), 93-103.
- Prendez, M., Ortiz, J., Zolezzi, S., & Campo, C. (1991). Aerosoles Atmosféricos de Naturaleza Inorgánica. Contaminación en Santiago de Chile. *Revista Chilena de enfermedades respiratorias*, 7(4), 224-237.
- Riojano. (2010). *Estrés térmico por calor*. Instituto Riojano de Salud Laboral.
- Rock, J. (1995). *Occupational Air Sampling Strategies* . Ohio.
- Romero, O., Becerra, M., Herrera, M., & Trujillo, J. (2011). *Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C*. Bogota.
- Ruiz Ramos, C. F. (Julio de 2006). *Caracterización del material particulado en las principales vías del transporte público, colectivo y masivo del centro de Bogotá*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de oab: [oab.ambientebogota.gov.co](http://oab.ambientebogota.gov.co)
- Sánchez García, M. J., & Forero Henao, S. (2004). *Estudio de las condiciones de trabajo de los conductores de vehiculos de carga en Colombia para proponer mejoras en los puestos de trabajo*. Pontificia Universidad Javeriana, Ingenieria Industrial, Bogota.
- Sarnat, J., & Brown, W. (Mayo de 2005). Ambient Gas Concentrations and Personal Particulate Matter Exposures. *Epidemiology*, 16(3), 340-385.
- Solarte, P. I., Caicedo, M., & Restrepo, S. (Junio de 2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista médica Sanitas*, 5(2).
- Swisscontact. (2001). *Programa Aire Puro*. Laboratorio.
- Taboada, J. (1979). *Manual de luminotecnica*. España: Dossat.

- UGT. (2012). *estrés térmico por frío*. Recuperado el 16 de Febrero de 2014, de UGT: [http://portal.ugt.org/saludlaboral/fichas\\_slab/Fichas14.pdf](http://portal.ugt.org/saludlaboral/fichas_slab/Fichas14.pdf)
- Vargas, f., & Rojas , N. (Mayo de 2010). Composicion química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogota. *Scielo*, 30(2), 5-7.
- Vasco, C. (2011). *Investigación y evaluación del riesgo térmico; al que se encuentran expuestos los trabajadores del centro de operacion, control y comunicaciones en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito*. Universidad internacional SEK, Quito.
- Westerdahl, D., Fruin, T., & Sioutas, C. (2005). Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles». *Atmospheric Environment*. *Atmospheric Environment*, 39, 3597-3610.