

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO DE LA CALIDAD TÉRMICA EN AMBIENTES DE  
ANDENES DE DIFERENTES ESTACIONES DE UN  
SISTEMA DE TRENES SUBTERRÁNEO**

Presentado ante la Ilustre  
**Universidad Central de Venezuela**  
Por los Bachilleres  
**Arteaga G., Eduardo A.**  
**Soto R., Jolymar Z.**  
Para optar al título de  
**Ingeniero Mecánico**

CARACAS, 2001

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO DE LA CALIDAD TÉRMICA EN AMBIENTES DE ANDENES DE DIFERENTES ESTACIONES DE UN SISTEMA DE TRENES SUBTERRÁNEO**

Tutor Académico: **Prof. Julio Segura**  
Tutor Industrial: **Ing. Uxmal Amézquita**

Presentado ante la Ilustre  
**Universidad Central de Venezuela**  
Por los Bachilleres  
**Arteaga G., Eduardo A.**  
**Soto R., Jolymar Z.**  
Para optar al título de  
**Ingeniero Mecánico**

CARACAS, 2001

© Arteaga Gouverneur, Eduardo Andrés, 2001.

© Soto Romero, Jolymer Zenair, 2001.

Hecho el Depósito de Ley.

Depósito Legal lft.487200162052

**Arteaga G., Eduardo A., y Soto R., Jolymer Z.**

## **ESTUDIO DE LA CALIDAD TÉRMICA EN AMBIENTES DE ANDENES DE DIFERENTES ESTACIONES DE UN SISTEMA DE TRENES SUBTERRÁNEO**

**Tutor Académico: Prof. Segura, Julio. Tutor Industrial: Ing. Amézquita, Uxmal. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2001, 220 pág.**

Confort Térmico, PMV, Yaglou, Metro

En el presente trabajo se evaluaron los índices de confort térmico de Fanger (PMV) y de Yaglou (TGBH) en diferentes estaciones representativas de un sistema de trenes, principalmente subterráneo (metro), que posee un ambiente térmicamente regulado, ubicado en la ciudad de Caracas.

En principio, se realizó una recopilación bibliográfica de trabajos realizados anteriormente en el área de confort térmico alrededor del mundo, posteriormente se llevo a cabo un trabajo de campo, conformado por dos aspectos fundamentales: la realización de encuestas a los usuarios del sistema de trenes, obteniendo así la sensación térmica percibida, y la toma de datos de las diferentes variables que están presentes en un ambiente térmicamente regulado, como son: las temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de globo, humedad relativa y la velocidad del aire.

La interrelación entre la sensación térmica percibida y los datos de las variables mencionadas se analizaron para dar una respuesta objetiva de las condiciones térmicas en las cuales se encuentran las estaciones seleccionadas del Metro de Caracas.

Se comprobó la efectividad de los métodos seleccionados, al evaluar los ambientes en función de las respuestas obtenidas de los 2400 usuarios encuestados, pues, al no existir antecedentes relativos al tema, la muestra del universo debería ser suficientemente grande.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por brindarnos el apoyo del Conocimiento Universal y todo su calor de hogar que nunca nos faltó.
- A la C.A. Metro de Caracas, por ofrecer sus instalaciones y la cordial ayuda de todo su personal.
- En especial al Ing. Uxmal Amézquita, por todo el conocimiento y amistad incondicional que en todo momento que nos dedicó. Gracias....
- Al Prof. Julio Segura, por compartir con nosotros su amplia experiencia en el área.
- Al Dr. en Estadística Adelmo Fernández por guiarnos ante un universo grande.
- Al Lic. en Psicología Jesús Sánchez, por ayudarnos a entender lo poco conocido por muchos.
- Al Ing. Carlos Barrosa, por su gentil, útil y oportunos consejos.
- Al Ing. Luis Omar Asenjo, siempre con sus buenas y creativas ideas.
- Al Ing. Robustiano Gorgal, por su cordial ayuda.
- Al Lic. Humberto Aguilera, siempre dispuesto a colaborar.
- A nuestros profesores, compañeros, amigos, familiares y a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible este trabajo.

*A los Grandes Genios, que iluminan mi camino....*

*A mi madre Celia, a mis padres Juanita y Mercedes, y a todas aquellas que nunca faltaron....*

*Eduardo*

*A mi hijo Yusuke,  
a la familia Soto-Romero,  
a la familia Narui-Yonekura,  
a mis amigos Adriana y Rafael.*

*Jolymar*

## ABREVIATURAS

**A<sub>cl</sub>**: Área de la superficie vestida del cuerpo

**A<sub>D</sub>**: Área de la superficie expuesta o desnuda del cuerpo

**ASHRAE**: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

**C**: Tasa total de calor convectado

**C+R**: Tasa de calor total sensible perdido a través de la superficie de la piel

**COVENIN**: Comisión Venezolana de Normas Industriales

**c<sub>p</sub>**: Calor específico a presión constante

**E<sub>max</sub>**: Tasa de calor máximo cedido por evaporación

**E<sub>req</sub>**: Calor total cedido por evaporación

**ET\***: Temperatura efectiva

**f<sub>cl</sub>**: Relación entre el área vestida y el área desnuda ( $A_{cl}/A_D$ )

**FI**: Facultad de Ingeniería

**h**: Coeficiente total de TC

**H**: Entalpía total

**h<sub>c</sub>**: Coeficiente de TC por convección

**h<sub>r</sub>**: Coeficiente de TC por radiación

**HR**: Humedad relativa

**I<sub>cl</sub>**: Coeficiente de aislamiento térmico debido a la vestimenta

**ID**: Índice de discomfort

**IST**: Índice de stress térmico

**ISW**: Índice de piel húmeda

**k<sub>c</sub>**: Coeficiente de convección

**k<sub>e</sub>**: Coeficiente de evaporación máxima

**k<sub>r</sub>**: Coeficiente de radiación

**L**: Calor latente de condensación

**M:** Metabolismo total  
**m:** Tasa de metabolismo  
**P:** Presión externa  
**p<sub>a</sub>:** Presión barométrica  
**PMV:** Voto Medio Pronosticado( Predicted Mean Vote)  
**PPD:** Incomodidad porcentual pronosticada (Predicted Percent Dissatisfied)  
**PTS:** Sensación Térmica Percibida  
**p<sub>w</sub>:** Presión parcial de vapor de agua a la  $t_a$   
**p<sub>ws,tET</sub>:** Presión de vapor saturado a  $t_{ET}$   
**p<sub>ws,toh</sub>:** Presión de vapor saturado a  $t_{oh}$   
**p<sub>ws,tsk</sub>:** Presión de vapor saturado a  $t_{sk}$   
**p<sub>ws</sub>:** Presión de vapor saturado  $t_a$   
**R:** Tasa de energía total irradiada  
**R<sub>cl</sub>:** Resistencia térmica de la ropa  
**t<sub>a</sub>:** Temperatura de bulbo seco  
**t<sub>cl</sub>:** Temperatura superficial de la vestimenta  
**TC:** Transferencia de Calor  
**T<sub>eq</sub>:** Temperatura equivalente  
**t<sub>g</sub>:** Temperatura de globo  
**TGBH:** Temperatura de globo y de bulbo húmedo, (WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature)  
**TGH:** Temperatura de globo húmedo, (WGT: Wet-Globe Temperature)  
**THI:** Índice de temperatura y humedad  
**t<sub>mr</sub>:** Temperatura media radiante  
**t<sub>o</sub>:** Temperatura operativa  
**t<sub>oh</sub>:** Temperatura húmeda operativa  
**t<sub>sk</sub>:** Temperatura superficial de la piel  
**t<sub>wb</sub> :** Temperatura de bulbo húmedo  
**U:** Energía interna

**UCV:** Universidad Central de Venezuela  
**V:** Volumen  
**V<sub>a</sub>:** Velocidad del aire  
**VNC:** Valor Numérico para el Cálculo  
**VNT:** Valor Numérico para transcripción  
**w:** Fracción de piel mojada  
**W:** Trabajo mecánico realizado  
**WCI:** Índice de aire fresco, (Wind Chill Index)

# **CONTENIDO**

<b>RESUMEN</b>	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	ii
<b>DEDICATORIAS</b>	iii
<b>ABREVIATURAS</b>	v

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
---------------------	---

## **CAPÍTULO I CONSIDERACIONES GENERALES**

<b>1.1. Confort Humano</b>	4
<b>1.2. Termorregulación</b>	4
1.2.1. Generación de Calor	5
1.2.2. Pérdida de Calor	5
1.2.3. El Hipotálamo	7
<b>1.3. Intercambio de Calor</b>	7
1.3.1. Conducción	8
1.3.2. Convección	8
1.3.3. Radiación	9
1.3.4. Evaporación	9
1.3.4.1. Perspiración	10
1.3.4.2. Sudoración	10
<b>1.4. Confort Térmico</b>	11
<b>1.5. Índices de Confort Térmico</b>	12
1.5.1. Índices Directos	13
1.5.1.1. Temperatura de Bulbo Seco	13
1.5.1.2. Temperatura de Bulbo Húmedo	14
1.5.1.3. Velocidad del Aire	14
1.5.1.4. Humedad Relativa	14
1.5.2. Índices Derivados Racionalmente	15
1.5.2.1. Temperatura Media Radiante	15
1.5.2.2. Temperatura Operativa	15
1.5.2.3. Temperatura Húmeda Operativa	16
1.5.2.4. Índice de Stress Térmico	17
1.5.2.5. Entalpía del Aire	18
1.5.2.6. Índice de Piel Húmeda	19
1.5.2.7. Temperatura Cutánea o de la Piel	19
1.5.3. Índices Empíricos	20
1.5.3.1. Temperatura Efectiva	20
1.5.3.2. Temperatura Equivalente	21
1.5.3.3. Índice de Discomfort	21
1.5.3.4. Índice de Temperatura y Humedad	22
1.5.3.5. Índice de Sensación Térmica	23
1.5.3.6. Voto Medio Pronosticado	23
1.5.3.7. Predicción del Porcentaje de Incomodidad	24

1.5.3.8. Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo o Índice de Yaglou	25
1.5.3.9. Temperatura De Globo Húmedo	25

## **CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE CONFORT EN LAS ESTACIONES**

<b>2.1. Planteamiento de Problema</b>	28
<b>2.2. Normalización</b>	29
<b>2.3. Objetivos</b>	31
2.3.1. Objetivo General	31
2.3.2. Objetivos Específicos	31
<b>2.4. Alcances</b>	32

## **CAPÍTULO III INDICES DE CONFORT TÉRMICO APLICADOS**

<b>3.1. Métodos Utilizados</b>	34
3.1.1. Índice de Fanger (PMV)	34
3.1.2. Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo (TGBH), o Índice de Yaglou	34
<b>3.2. Índice de Fanger (PMV)</b>	34
<b>3.3. Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo (Índice Empírico)</b>	39

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONFORT TÉRMICO**

<b>4.1. Procedimiento de Cálculo</b>	43
4.1.1. Cálculo del PMV	43
4.1.2. Cálculo del PMV modificado	46
4.1.3. Cálculo del TGBH	48
<b>4.2. Instrumento de Recolección de Datos</b>	48
4.2.1. Formato de Datos	49
4.2.2. Encuesta	49
<b>4.3. Limitaciones</b>	50
4.3.1. Tiempo de Espera	50
4.3.2. Equipos Utilizados	50

4.3.3. Usuarios Encuestados	51
4.3.4. Condiciones Ambientales	51
4.3.5. Sistema Operacional del Metro	51
<b>4.4. Consideraciones</b>	<b>52</b>
4.4.1. Índices de Confort Térmico	52
4.4.2. Estaciones Evaluadas	53
4.4.3. Turnos de Evaluación	54
4.4.4. Días de Medición	55
4.4.5. Puntos de Medición	56
4.4.6. Toma de Datos	57
4.4.7. Número de Encuesta por Turno	58
4.4.8. La Entrevista	59
4.4.9. El Encuestador	60
4.4.10. El Encuestado	60
4.4.11. La Encuesta	61
<b>4.5. Instrumentos de Medición</b>	<b>61</b>
<b>4.6. Codificación de los Datos de la Encuesta</b>	<b>62</b>
<b>4.7. Método Estadístico</b>	<b>70</b>
<b>4.8. Organigrama de Cálculo de los Índices de Confort Térmico</b>	<b>71</b>

## **CAPÍTULO V PRESENTACIÓN DE LOS DATOS RECABADOS**

<b>5.1. Estación Plaza Sucre</b>	<b>73</b>
<b>5.2. Estación Agua Salud</b>	<b>75</b>
<b>5.3. Estación Colegio de Ingenieros</b>	<b>77</b>
<b>5.4. Estación Chacaito</b>	<b>79</b>
<b>5.5. Estación Chacao</b>	<b>81</b>
<b>5.6. Estación Los Cortijos</b>	<b>83</b>
<b>5.7. Presiones Atmosféricas</b>	<b>85</b>
<b>5.8. Temperaturas de Bulbo Seco</b>	<b>86</b>
<b>5.9. Promedio de las Variables Ambientales dentro de las Estaciones</b>	<b>87</b>

## **CAPÍTULO VI CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONFORT TÉRMICO**

<b>6.1. Cálculo de la Presión de Vapor</b>	<b>89</b>
<b>6.2. Estación Plaza Sucre</b>	<b>90</b>
6.2.1. Cálculo del PMV	90
6.2.2. Cálculo del TGBH	91
<b>6.3. Estación Agua Salud</b>	<b>91</b>
6.3.1. Cálculo del PMV	91
6.3.2. Cálculo del TGBH	92

<b>6.4. Estación Colegio de Ingenieros</b>	92
6.4.1. Cálculo del PMV	92
6.4.2. Cálculo del TGBH	93
<b>6.5. Estación Chacaito</b>	93
6.5.1. Cálculo del PMV	93
6.5.2. Cálculo del TGBH	94
<b>6.6. Estación Chacao</b>	95
6.6.1. Cálculo del PMV	95
6.6.2. Cálculo del TGBH	95
<b>6.7. Estación Los Cortijos</b>	96
6.7.1. Cálculo del PMV	96
6.7.2. Cálculo del TGBH	97
<b>6.8. Modificación del PMV</b>	97
6.8.1. PMV modificado para la estación Plaza Sucre	100
6.8.2. PMV modificado para la estación Agua Salud	101
6.8.3. PMV modificado para la estación Colegio de Ingenieros	101
6.8.4. PMV modificado para la estación Chacaito	102
6.8.5. PMV modificado para la estación Chacao	103
6.8.6. PMV modificado para la estación Los Cortijos	103

## **CAPÍTULO VII PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>7.1. Estación Plaza Sucre</b>	106
7.1.1. Análisis de Resultados de la Estación Plaza Sucre	111
<b>7.2. Estación Agua Salud</b>	114
7.2.1. Análisis de Resultados de la Estación Agua Salud	120
<b>7.3. Estación Colegio de Ingenieros</b>	123
7.3.1. Análisis de Resultados de la Estación Colegio de Ingenieros	128
<b>7.4. Estación Chacaito</b>	131
7.4.1. Análisis de Resultados de la Estación Chacaito	137
<b>7.5. Estación Chacao</b>	139
7.5.1. Análisis de Resultados de la Estación Chacao	144
<b>7.6. Estación Los Cortijos</b>	147
7.6.1. Análisis de Resultados de la Estación Los Cortijos	152
<b>7.7. Cálculo y Definición de las Zonas de Percepción Térmica</b>	155

<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>8.1. Recomendaciones por Estación</b>	160
<b>8.2. Recomendaciones Generales</b>	164

<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>9.1. Conclusiones por Estación</b>	166
<b>9.2. Conclusiones Generales</b>	170

<b>REFERENCIAS</b>	173
--------------------	-----

<b>ANEXOS</b>	
A.1. CUADRO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS	177
B.1. TABLAS DEL CLO	179
C.1. FORMATO DE TOMA DE DATOS	181
D.1. FORMATO DE ENCUESTA	183
E.1. AL E.6. PLANOS DE PLANTA DE LAS ESTACIONES	185
F.1 AL F.3. RELACIÓN DE PASAJEROS TRANSPORTADOS POR EL SISTEMA	192
G.1. AL G.6. PLANOS DE UBICACIÓN ESPACIAL DE TOMA DE DATOS	196
H.1. TIPOS DE USUARIOS	203
I.1. AL I.8. CARTAS PSICROMÉTRICAS POR ESTACIONES Y GENERAL	205
J.1. AL J.2. CARTA DE ZONAS DE COMFORT DE ASHRAE	214
K.1. AL K.3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS	217

## **INTRODUCCIÓN**

El ser humano, en la necesidad de mejorar su calidad de vida, se ha procurado diferentes medios con el fin de modificar las condiciones climáticas en los diferentes ambientes donde desarrolla sus actividades diarias.

Para lograr esto se vale de diferentes procesos como la ventilación mecánica, sistemas de acondicionamiento de aire, y aprovechamiento de la ventilación natural, entre otras.

En el presente Trabajo Especial de Grado, se busca estudiar la calidad térmica en los ambientes de andenes en diferentes estaciones del Metro de Caracas. La Compañía Anónima Metro de Caracas es una empresa dedicada al transporte intra-urbano masivo de personas, objetivo que logra a través de un sistema de trenes, en su mayoría subterráneos y un sistema alimentador conformado por autobuses propios, denominados Metrobuses.

Una de las premisas de dicha compañía es “Seguridad y Confort”, por ello se realizará una evaluación del confort térmico que sienten los usuarios de este sistema en sus instalaciones, refiriendo el estudio específicamente al área de los andenes, estudio que se llevará a cabo en unas estaciones pertenecientes a la Línea 1, del sistema.

La evaluación térmica se basará en dos aspectos fundamentales, uno de ellos es la toma de datos de las variables medio ambientales y el otro es la obtención de las características de cada una de las personas a las que se le realizó una encuesta.

Al evaluar y comparar estas características, directas e indirectas a los usuarios (quienes deciden si hay o no confort térmico), se realizarán las respectivas recomendaciones para que se logre gran parte de la segunda premisa de la C.A. Metro de Caracas el “Confort”.

Para que la siguiente evaluación sea confiable, se basará en normas nacionales e internacionales adaptadas a cada tipo de ambiente y persona, mediante modificaciones que hacen que una ecuación matemática se ajuste de la manera mas certera a lo que el Hombre siente.

**CAPÍTULO I**  
**CONSIDERACIONES GENERALES**

### **1.1. Confort Humano**

Se entiende por “**confort**” todo aquello que constituye un bienestar. El hombre en su necesidad de mejorar su calidad de vida, ha procurado proveerse de ambientes que le resulten confortables. Por ello el principal propósito de la calefacción, ventilación y de los sistemas de aire acondicionado no es otro que el proporcionar condiciones para el confort térmico del ser humano.

La American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) define el confort térmico de la siguiente manera: “Es una condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Esta definición resulta compleja, debido que se debe llevar la sensación expresada por un número de personas, a parámetros físicos para así poder de alguna manera cuantificar dicha sensación.

### **1.2. Termorregulación**

El ser humano posee un eficaz sistema de termorregulación que asegura que la temperatura central normal medida en la cavidad oral se encuentra generalmente entre 36.7 y 37°C. Esta temperatura corporal varía según la actividad física y con valores extremos de temperatura en el ambiente que le rodea.

La temperatura de la piel, a diferencia de la temperatura central, aumenta y disminuye a la par de la temperatura exterior. Esta es la temperatura a la cual se hace referencia cuando se habla de la capacidad de la piel de perder y/o ganar calor. La temperatura

corporal está controlada por un equilibrio entre la generación y la pérdida de calor.

#### 1.2.1. Generación de Calor

La generación de calor es consecuencia del metabolismo. El metabolismo es el motor del cuerpo, y la cantidad de energía liberada por el mismo es consecuencia del grado de actividad muscular efectuado por la persona. Al evaluar la proporción metabólica de un individuo, es importante tomar un valor medio según hayan sido las actividades que efectuó durante la última media hora. La razón para esto está en la capacidad que tiene el cuerpo humano para “**recordar**” de manera aproximada el nivel de actividad al cual fue sometido durante la última hora.

#### 1.2.2. Pérdida de Calor

La mayor parte del calor generado por el cuerpo proviene de los órganos profundos, en especial por el hígado, el cerebro, el corazón y los músculos esqueléticos durante el ejercicio. Este calor se transfiere desde los órganos y los tejidos más profundos a la piel, donde se transfiere a el aire y a otros elementos circundantes (superficies en contacto con la piel). En general se puede decir que la pérdida de calor viene determinada por dos factores:

- a. Lo rápido que el calor se pueda conducir desde donde se produce en el centro del cuerpo a la piel.
- b. Lo rápido que el calor pueda transferirse desde la superficie de la piel al entorno.

La insuficiencia en la pérdida de calor conlleva al calentamiento también llamado hipertermia, y la excesiva pérdida de calor produce un enfriamiento del cuerpo también llamado hipotermia.

Cuando la generación de calor en el cuerpo es mayor que la pérdida, el calor se acumula en él aumentando entonces su temperatura, sucediendo también lo contrario, cuando la pérdida de calor es mayor, tanto el calor corporal como la temperatura disminuyen.

Cuando se presenta el estado de hipertermia el cuerpo reacciona iniciando la vasodilatación, siendo este un mecanismo en el cual los vasos sanguíneos se dilatan permitiendo entonces que aumente el flujo de sangre a través de la piel, llevando el calor interior a la superficie de la piel, entonces se comienza a sudar y a través del sudor se libera el calor del cuerpo hacia el medio ambiente. El sudor resulta ser una herramienta muy eficaz para refrescar al cuerpo humano.

Por lo expuesto anteriormente podemos decir que la piel es un sistema que irradia y convecta calor de una manera eficaz y controlada, y el flujo de sangre a la piel es un mecanismo transferencia del calor desde el centro del cuerpo a la piel.

### 1.2.3. El Hipotálamo

El cuerpo regula estas funciones a través del hipotálamo, el cual es una porción del cerebro encargado de regular la temperatura del cuerpo. El hipotálamo tiene sensores de temperatura de calor y frío, que son bañados por sangre arterial. Como la sangre circula rápidamente y su retorno es mixto en el corazón, antes de devolverse al cuerpo, trae como resultado que la sangre arterial sea indicativo de la temperatura promedio interior del cuerpo. El hipotálamo también recibe información térmica de los sensores de temperatura en la piel y quizás también de otros órganos (médula espinal, intestino) (Hensel 1981). El sensor de calor comienza a actuar cuando la temperatura del cuerpo excede los 37°C. El sensor de frío actúa cuando la temperatura superficial del cuerpo es inferior a los 34°C.

### **1.3. Intercambio de Calor**

Al diseñar un recinto destinado al uso de los humanos, se debe tomar en consideración como es el intercambio de calor entre el hombre y el medio ambiente que le rodea, puesto que este es uno de los factores que afectan la sensación de confort del humano.

La interacción térmica entre los seres humanos y el medio ambiente que les rodean queda determinada por los siguientes mecanismos de Transferencia de Calor (TC):

### 1.3.1. Conducción:

Se pierden cantidades mínimas de calor por conducción directa desde la superficie del cuerpo a otros objetos. Supongamos un hombre desnudo dentro de un recinto que se encuentra a temperatura ambiente, para esta situación el flujo de calor que se pierde por conducción directa es de aproximadamente un 3% del calor total perdido. Al sentarse el hombre en una silla, debido al gradiente de temperatura existente entre la superficie de la piel del mismo y la superficie de la silla, ocurre una TC por conducción entre ambas superficies hasta que las mismas alcancen el equilibrio térmico, a partir de este momento la superficie de la silla actúa como un aislante térmico. Un traje habitual reduce la pérdida de calor por conducción aproximadamente a la mitad, por lo que se puede decir en general que las magnitudes de las tasas de flujo de calor por conducción son despreciables en comparación con los otros mecanismos de TC.

### 1.3.2. Convección:

El cuerpo elimina calor del cuerpo mediante corrientes de aire a través del mecanismo de la convección. Esta pérdida de calor representa alrededor de un 15 % del calor total cedido al ambiente para las condiciones de la figura, e incluso para condiciones normales.

### 1.3.3. Radiación:

La radiación es un mecanismo de TC de naturaleza electromagnética en forma de rayos infrarrojos. La mayor parte de los rayos infrarrojos que el cuerpo irradia tienen una longitud de onda de 5 a 20 micrómetros, es decir, de 10 a 30 veces las longitudes de onda de los rayos visibles. Estos rayos son irradiados desde el cuerpo humano en todas direcciones. No solo el cuerpo irradia calor, sino que además las superficies y objetos que se encuentran a su alrededor cuya temperatura sea diferente del cero absoluto, también irradian calor. Para una persona desnuda dentro de un recinto a temperatura ambiente la pérdida de calor debido a la radiación representa aproximadamente el 60% del calor total perdido.

### 1.3.4. Evaporación:

Cuando la temperatura de la piel es mayor que la del entorno el cuerpo pierde calor por radiación, conducción y convección natural. Pero cuando la temperatura del entorno es mayor que la de la piel, el cuerpo gana calor procedente del medio. Bajo estas condiciones el único mecanismo que posee el cuerpo para librarse del calor es la evaporación. Bajo las condiciones expuestas las pérdidas por evaporación giran alrededor de un 22% del calor total perdido. Se pueden diferenciar dos mecanismos por los cuales se pierde calor por evaporación, y son los siguientes:

#### 1.3.4.1. Perspiración (indirecta):

Mecanismo por medio del cual se transfiere de manera permanente vapor de agua desde el cuerpo hacia el medio ambiente, principalmente desde la piel y los pulmones. Puede ocurrir tanto como en un ambiente frío como caliente. Este mecanismo no posee carácter de regulación térmica, puesto que es el resultado de una difusión continua de moléculas de agua a través de la piel y de las superficies respiratorias, sea cual sea la temperatura corporal.

#### 1.3.4.2. Sudoración (directo):

Es un mecanismo regulador que se activa cuando la temperatura interna del cuerpo aumenta debido al trabajo corporal realizado, o a un medio ambiente cuya temperatura sea superior a la temperatura promedio del cuerpo humano. Este mecanismo resulta muy efectivo debido que al evaporarse el sudor, el cuerpo humano se refresca, es decir, disminuye la temperatura corporal, si y solo si el ambiente no está húmedo.

Deben cumplirse dos condiciones para encontrar el confort térmico, una de ellas es que debe existir una combinación tal entre la temperatura superficial del cuerpo y la interior de manera que proporciones una sensación de neutralidad térmica. La segunda condición es el cumplimiento del equilibrio de energía del cuerpo, en donde el calor producido por el metabolismo debe ser igual a la cantidad de energía perdido por este.

Entre los cinco principales factores que afectan el intercambio de calor de los seres humanos con el ambiente que les rodea, se encuentran (Edward Pita, Acondicionamiento de Aire):

- a. Temperatura del Aire
- b. Humedad del Aire
- c. Velocidad del Aire
- d. Temperatura de los objetos circundantes
- e. Vestimenta

Para lograr la sensación de confort en un determinado recinto, en la mayoría de los casos lo que se hace es ajustar los tres primeros factores: temperatura, humedad y velocidad del aire.

#### **1.4. Confort Térmico**

El fenómeno a estudiar resulta complejo debido a que la sensación de confort térmico varía en las personas dependiendo de factores como la edad, sexo, actividad desempeñada, preferencias climáticas y ambientales, experiencias previas, etc. Aun así, aunque las condiciones climáticas regionales, las condiciones de vida, y las culturas difieren ampliamente a lo largo del mundo, la temperatura preferida que las personas escogen para el confort bajo las condiciones de vestimenta, actividad, humedad, y movimiento del aire se han encontrado que son similares (Fanger 1972, Dear 1991, Busch 1992).

La evaluación de la calidad térmica puede realizarse a través de dos diferentes tipos de mediciones, las cuales pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) Mediciones de campo: este tipo de mediciones se realizan sin modificar los parámetros involucrados habituales, es decir, no se alteran las condiciones físicas originales del lugar sujeto a estudio, incluyendo a sus ocupantes.
  
- b) Mediciones de laboratorio: estas mediciones se realizan en un ambiente térmicamente controlado, como lo podría ser una cámara climática, con el objeto de variar intencionalmente los parámetros que gobiernan su comportamiento térmico.

### **1.5. Índices de Confort Térmico**

Un índice medioambiental combina dos o más parámetros, como la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa, o la velocidad del aire, en una sola variable. Los índices simplifican la descripción del ambiente térmico y la tensión impuesta por un ambiente. Los índices medio ambientales pueden ser clasificados según cómo ellos se desarrollan.

La ASHRAE clasifica las metodologías para calcular los índices de control de la siguiente manera:

- Directos: evaluados mediante la lectura directa de un instrumento, tomando en cuenta como influye una sola variable. Entre los métodos directos se tienen; Temperatura de Bulbo Seco,

Temperatura de Bulbo Húmedo, Velocidad del aire, Humedad Relativa, etc.

- Derivados Racionalmente: Los índices racionales están basados en los conceptos teóricos, siendo un resultado de una combinación lógica y matemática de variables medidas directamente. Entre los métodos derivados racionalmente se tienen; Temperatura Media Radiante, Temperatura Operativa, Temperatura Húmeda Operativa, Índice de Stress Térmico, etc.
- Empíricos: Estos índices son basados en la experimentación, y se utilizan para determinar los efectos de diversas variables sobre la condición de bienestar, tomando en cuenta para su evaluación, la sensación de muestras heterogéneas de personas para una determinada vestimenta y para varias actividades. Los mismos no siguen necesariamente los conceptos teóricos. Entre los métodos derivados empíricamente se tienen; Temperatura Efectiva, Temperatura Equivalente, Índice de Discomfort, Voto Medio Pronosticado, Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo, etc.

#### 1.5.1. Índices Directos:

##### 1.5.1.1. Temperatura de Bulbo Seco:

Es la temperatura del aire, tal como la indica un termómetro. Las palabras temperatura y temperatura de bulbo seco se emplean para designar lo mismo tratándose del aire. Para su medición hace falta un termómetro de bulbo aunque pudiese ser también un dispositivo análogo como lo sería una termocupla.

#### 1.5.1.2. Temperatura de Bulbo Húmedo:

Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada en agua, en el seno de aire en movimiento. Para su medición se requiere un termómetro de bulbo y una gasa que cubra el bulbo. También existen otros equipos para tomar dicha medición, como lo serían los psicrómetros, los higrómetros, etc.

#### 1.5.1.3. Velocidad del Aire:

Es la relación entre la distancia recorrida por el aire durante un lapso de tiempo determinado. Para su medición se requiere el uso de un anemómetro.

#### 1.5.1.4. Humedad Relativa:

Es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco. Se expresa en porcentaje.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$HR = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100$$

en donde:

HR: Humedad relativa en %.

$p_w$ : Presión parcial de vapor a  $t_a$  (kPa).

$p_{ws}$ : Presión parcial de vapor saturado a  $t_a$  (KPa).

### 1.5.2. Índices Derivados Racionalmente:

#### 1.5.2.1. Temperatura Media Radiante:

Es el resultado del valor medio de la temperatura radiante de las paredes y superficies que conforman una habitación en la cual se encuentra ubicado un individuo. También se le conoce con el nombre de Temperatura Resultante o Sensitiva.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$t_{mr} = 100 \times \sqrt[4]{\left(\frac{t_g}{100}\right)^4 + 2.48 \times \sqrt{V_a \times (t_g - t_a)}}$$

en donde:

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (K).

$V_a$ : Velocidad del aire (m/s).

$t_g$ : Temperatura de Globo (K).

$t_{mr}$ : Temperatura Media Radiante (K).

#### 1.5.2.2. Temperatura Operativa:

Este índice representa la temperatura de un ambiente uniforme que transfiere calor seco a la misma proporción que el ambiente real. Puede ser definida de dos maneras, la primera como el promedio de la temperatura radiante y la temperatura de bulbo seco del aire, promediadas respectivamente con sus coeficientes de transferencia de calor (TC); y la segunda definición se da en términos de energía, como la temperatura uniforme en un recinto imaginario con el que una

persona intercambia el mismo calor por radiación y convección como si fuese el ambiente real.

Para el primer caso se calcula con la siguiente expresión:

$$t_o = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c}$$

mientras que para el segundo caso la expresión correspondiente es:

$$(C + R) = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + 1/(f_{cl}h)} \quad \text{donde } h = h_r + h_c$$

en donde:

$t_o$ : Temperatura operativa (°C).

$t_{mr}$ : Temperatura media radiante (°C).

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (°C).

$h_r$ : Coeficiente de TC por radiación (W/m<sup>2</sup>°C).

$h_c$ : Coeficiente de TC por convección (W/m<sup>2</sup>°C).

$h$ : Coeficiente total de TC (W/m<sup>2</sup>°C).

$C+R$ : Calor total sensible perdido a través de la superficie de la piel (W/m<sup>2</sup>).

$t_{sk}$ : Temperatura superficial de la piel (°C).

$R_{cl}$ : Resistencia térmica de la ropa (m<sup>2</sup>°C/W).

$f_{cl}$ : Relación entre el área vestida y el área desnuda ( $A_{cl}/A_D$ ).

$A_{cl}$ : Área de la superficie vestida del cuerpo.

$A_D$ : Área de la superficie expuesta o desnuda del cuerpo.

### 1.5.2.3. Temperatura Húmeda Operativa:

Es la temperatura uniforme de un ambiente que a 100 % de humedad relativa, una persona intercambia calor desde la superficie

de su piel, por radiación, convección, y por evaporación como si fuese el ambiente real.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$t_{oh} = t_o + w i_m LR (p_a - p_{ws,toh})$$

en donde:

$t_{oh}$ : Temperatura húmeda operativa (°C).

$t_o$ : Temperatura operativa (°C).

$w$ : Fracción de piel mojada (adimensional).

$i_m$ : Índice de humedad permeable (adimensional).

$LR$ : Radio de Lewis (°C/Pa).

$p_a$ : Presión barométrica (Pa).

$p_{ws,toh}$ : Presión de vapor saturado a  $t_{oh}$  (Pa).

#### 1.5.2.4. Índice de Stress Térmico:

Representa el balance energético establecido por la relación entre el calor total que es necesario ceder a unas determinadas condiciones ambientales y el calor máximo que puede eliminarse (mediante la evaporación del sudor) a esas mismas condiciones. También es conocido como Índice de Tensión Térmica.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$IST = \frac{E_{req}}{E_{max}} \times 100$$

$$E_{req} = (M \pm R \pm C)$$

$$E_{max} = k_e \times V_a^{0.6} (p_{ws,tsk} - p_{ws}) \times 1.3289 \times 10^{-2}$$

$$C = k_c \times V_a^{0.6} (t_a - t_g) \times 9.96 \times 10^{-2}$$

$$R = k_r (t_{mr} - t_g) \times 1.163$$

en donde:

IST: Índice de Stress Térmico.

$E_{req}$ : Calor total cedido por evaporación (W).

$E_{max}$ : Calor máximo cedido por evaporación (W).

M: Metabolismo total (W).

R: Energía total irradiada (W).

C: Energía total convectada (W).

$p_{ws,tsk}$ : Presión de vapor saturado a  $t_{sk}$  (KPa) (aproximadamente 5.6 KPa).

$p_w$ : Presión parcial de vapor de agua a  $t_a$  (KPa).

$k_e$ : Coeficiente de evaporación máxima.

$k_c$ : Coeficiente de convección.

$k_r$ : Coeficiente de radiación.

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (K).

$t_g$ : Temperatura de globo (K).

$t_{mr}$ : Temperatura media radiante (K).

$V_a$ : Velocidad del aire (m/s).

#### 1.5.2.5. Entalpía del Aire:

Como propiedad termodinámica se define según y se muestra en la ecuación:

$$H = U + P \times V$$

en donde:

H: Entalpía total.

U: Energía interna.

P: Presión externa.

V: Volumen.

Y es la cantidad de calor desarrollada por una reacción química a presión constante. Este índice representa el estado de la atmósfera, y depende de la temperatura de bulbo húmedo y de la presión barométrica, mas no así de la temperatura de bulbo seco. Este índice no toma en cuenta además los efectos de la velocidad del aire.

#### 1.5.2.6. Índice de Piel Húmeda:

Es la relación que existe entre el calor total cedido por evaporación a unas determinadas condiciones ambientales y el calor total máximo que pueda eliminarse por evaporación. Nótese que la definición es la misma que la del índice de Stress Térmico, con la salvedad de que no se multiplica por 100.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$ISW = \frac{E_{req}}{E_{max}}$$

donde:

ISW: Índice de piel húmeda.

$E_{req}$ : Calor total cedido por evaporación (W).

$E_{max}$ : Calor máximo cedido por evaporación (W).

#### 1.5.2.7. Temperatura Cutánea o de la Piel:

Este índice muestra la relación entre los estados del aire y la temperatura de la piel. Existen diversas expresiones matemáticas para evaluarlo.

a. Para condiciones generales se calcula según la siguiente expresión:

$$t_{sk} = 30.1 + 0.2t_a - V_a(4.12 - 0.13t_a)$$

b. para sujetos sin vestimenta se utiliza la siguiente expresión:

$$t_{sk} = 24.85 + 0.332t_o - 0.00165t_o^2$$

c. para sujetos vestidos se utiliza la siguiente expresión:

$$t_{sk} = 25.8 + 0.267t_o$$

en donde:

$t_{sk}$ : Temperatura superficial de la piel (°C).

$t_o$ : Temperatura operativa (°C).

$V_a$ : Velocidad del aire (m/s).

### 1.5.3. Índices Empíricos:

#### 1.5.3.1. Temperatura Efectiva:

Es la temperatura de un ambiente que se encuentra a una humedad relativa de 50 % como resultado de la pérdida de calor total superficial de la piel. Se define en función de la temperatura operativa.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$ET^* = t_o + w \cdot i_m \cdot LR \cdot (p_a - 0.5 \cdot p_{ws, t_{ET^*}})$$

en donde:

$ET^*$ : Temperatura efectiva (°C).

$t_o$ : Temperatura operativa (°C).

$w$ : Fracción de piel mojada (adimensional).

$i_m$ : Índice de humedad permeable (adimensional).

LR: Radio de Lewis ( $^{\circ}\text{C}/\text{Pa}$ ).

$p_a$ : Presión barométrica (Pa).

$p_{ws, t_{ET}}$ : Presión de vapor saturado a  $t_{ET}$  (Pa).

### 1.5.3.2. Temperatura Equivalente:

Se dice que este índice representa una escala universal debido a que el guarda una relación directa con el cuerpo humano. También se le conoce como Temperatura de Pröft.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$T_{eq} = t_a + x \cdot \frac{L}{cp}$$

$$x = 0.662 \cdot \frac{p_w}{(p_a - p_w)}$$

en donde:

$T_{eq}$ : Temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ).

L: Calor latente de condensación (KJ/Kg).

cp: Calor específico a presión constante (KJ/Kg $^{\circ}\text{C}$ ).

$p_a$ : Presión barométrica (KPa).

$p_w$ : Presión parcial de vapor a  $t_a$  (KPa).

### 1.5.3.3. Índice de Discomfort:

Es una escala que indica el nivel de Discomfort o incomodidad para determinadas condiciones.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$ID = t_a - 0.55 \cdot (1 - HR) \times (t_a - 58)$$

en donde:

ID: Índice de Discomfort.

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (°C).

HR: Humedad relativa expresada en términos de fracción.

#### 1.5.3.4. Índice de Temperatura Y Humedad:

Viene determinado por la temperatura de seco y la humedad del aire, y predice la cantidad de personas que pueden sentirse cómodas bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad. Esta definido por medio de una correlación que establece la relación entre las dos variables. Este índice predice el número de personas que pueden sentirse cómodas bajo unas determinadas condiciones de temperatura y humedad.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$THI=0.4 \cdot ((1.8t_a + 32) + (1.8t_{wb} + 32)) + 2.81$$

en donde:

THI: Índice de temperatura y humedad.

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (°C).

$t_{wb}$ : Temperatura de bulbo húmedo (°C).

### 1.5.3.5. Índice de Sensación Térmica:

Este índice se utiliza para la estimación de la sensación de frío y al evaluarse se debe tomar en cuenta la exposición de las extremidades, entre tanto el resto del cuerpo este protegido.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$WCI = (10.45 - V_a + 10\sqrt{V_a})(123.4 - 1.8 \times t_a) / 1.8$$

en donde:

WCI: Índice de sensación térmica, (Wind Chill Index) (Kcal/m<sup>2</sup>).

V<sub>a</sub>: Velocidad del aire (m/s).

t<sub>a</sub>: Temperatura ambiente (°C).

### 1.5.3.6. Voto Medio Pronosticado:

Este índice trata de predecir la opinión de un gran número de personas en cuanto a sus sensaciones, es decir, si sienten frío o calor en un determinado espacio. Este método fue desarrollado por Fanger.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} PMV = & (0.303e^{-0.036m} + 0.028)\{(m - W) - 3.05 \\ & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(m - W) - p_a] - 0.42 \\ & \times [(m - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ & - 0.001 \times 4m(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{nr} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned}$$

en donde:

PMV: Predicted Mean Vote (Voto Medio Pronosticado)

m: Tasa de metabolismo (W/m<sup>2</sup>).

W: Trabajo externo realizado, el cual es igual a cero para la mayoría de las actividades ( $W/m^2$ ).

$p_w$ : Presión parcial de vapor saturado a  $t_a$  (Pa).

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ ).

$f_{cl}$ : Relación entre el área vestida y el área desnuda ( $A_{cl}/A_D$ ).

$A_{cl}$ : Área de la superficie vestida del cuerpo.

$A_D$ : Área de la superficie expuesta o desnuda del cuerpo.

$t_{cl}$ : Temperatura superficial de la vestimenta ( $^{\circ}C$ ).

$t_{mr}$ : Temperatura media radiante ( $^{\circ}C$ ).

$h_c$ : Coeficiente de TC por convección ( $W/m^2^{\circ}C$ ).

#### 1.5.3.7. Predicción Del Porcentaje De Incomodidad:

Pronostica el porcentaje de personas que puedan sentirse incómodas partiendo de la escala de sensación térmica de la ASHRAE.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp\left[-\left(0.03353VMP^4 + 0.2179VMP^2\right)\right]$$

en donde:

PPD: Predicción del porcentaje de incomodidad (Predicted Percent Dissatisfied).

PMV: Voto Medio Pronosticado (Predicted Mean Vote).

### 1.5.3.8. Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo o Índice de Yaglou:

Este índice se calcula mediante la ponderación fraccionada de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de globo.

Según el caso se utilizan las siguientes expresiones:

- a) Interior y exterior para edificaciones sin exposición directa a la energía solar:

$$\text{TGBH} = 0.7 \times t_{\text{wb}} + 0.3 \times t_{\text{g}}$$

- b) Exterior de las edificaciones con exposición directa a la energía solar:

$$\text{TGBH} = 0.7 \times t_{\text{wb}} + 0.2 \times t_{\text{g}} + 0.1 \times t_{\text{a}}$$

en donde:

TGBH: Temperatura de globo y bulbo húmedo, (WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature) (°C).

$t_{\text{wb}}$  : Temperatura de bulbo húmedo (°C).

$t_{\text{a}}$ : Temperatura de bulbo seco (°C).

$t_{\text{g}}$ : Temperatura de globo (°C).

### 1.5.3.9. Temperatura De Globo Húmedo:

Se utiliza para estimar la temperatura de globo y bulbo húmedo (Yaglou), siendo esta una buena aproximación.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$TGBH = 1.044TGH - 1.745$$

en donde:

TGH: Temperatura de globo húmedo, (WGT: Wet-Globe Temperature) (°C).

TGBH: Temperatura de globo y bulbo húmedo, (WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature) (°C).

En el Anexo A se muestra cuadro comparativo de los diferentes tipos de métodos mencionados.

**CAPÍTULO II**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE**  
**CONFORT EN LAS ESTACIONES**

## **2.1. Planteamiento del Problema**

Desde sus comienzos, bajo la premisa de “Seguridad y Confort”, el Metro de Caracas ha prestado servicio de transporte masivo a sus usuarios. Sin embargo, tanto los usuarios como el personal que labora en sus instalaciones ha venido manifestando su inconformidad con la climatización de los ambientes de algunas estaciones.

El Metro de Caracas, a través de la Gerencia de Investigación y Desarrollo, inició un proceso de evaluación de la calidad térmica en algunas estaciones de la Línea 1, con el propósito de detectar las posibles causas que generan el disconfort de los usuarios. Debido a que el usuario tiene un mayor tiempo de permanencia en los andenes, la investigación se enfocó en esa área en particular. Para lograr esto se desarrollo una metodología de trabajo, la cual se muestra en el Capítulo IV.

Como consecuencia directa de este estudio, se pretende verificar el confort o disconfort en las estaciones escogidas y por ende si los equipos de climatización de las estaciones en estudio, bajo las condiciones actuales de operación, cumplen con los parámetros de confort térmico establecidos por las normas y/o variaciones a lo largo del tiempo como lo es el incremento de la carga térmica en las estaciones (debido al incremento de usuarios, instalación de nuevas luminarias, etc.). A partir de esta información se plantearán, de ser necesario, posibles alternativas a los problemas detectados.

## 2.2. Normalización

Para realizar la evaluación sobre una base confiable se utilizaron como parámetros tanto normas nacionales (COVENIN), como internacionales (ISO), además de los fundamentos contemplados por la ASHRAE. Las normas utilizadas para la realización de esta investigación fueron:

- COVENIN 2254:1995 “Calor y frío. Límites permisibles de exposición en lugares de trabajo(1ra revisión)”.
- ISO 7730:1994 “Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD index and specification of the conditions of the thermal comfort (second edition)” (Ambientes térmicos moderados – Determinación de los índices PMV y PPD y especificación de las condiciones de confort térmico).
- ISO 10551:1995 “Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgments scales (first edition)” (Ergonomía de los ambientes térmicos – Valoración de la influencia de los ambientes térmicos usando escalas de juicio subjetivo).

La norma COVENIN 2254:1995 Esta norma establece; los límites máximos permisibles a las exposiciones al calor y al frío en los lugares de trabajo, el método para la evaluación del índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (índice de Yaglou), los límites de exposición máxima diaria al frío en situaciones de trabajo y la evaluación del efecto del calor sobre la persona expuesta durante un período representativo de su actividad.

La norma ISO 7730:1994 aplica para el caso de hombres y mujeres saludables, ya que pueden ocurrir desviaciones para personas enfermas o inválidas. En su desarrollo se aplicó a sujetos norteamericanos y europeos, pero ha estado de acuerdo con recientes estudios realizados a sujetos japoneses expuestos a ambientes térmicos moderados. Se espera que aplique con una buena aproximación en muchas partes del mundo, pero pueden ocurrir desviaciones por motivos étnicos y geográficos, en cuyo caso se deberá recurrir a estudios más extensos. Esta norma aplica a personas expuestas a ambientes interiores donde el objetivo es lograr un confort térmico, o en ambientes interiores donde ocurren desviaciones moderadas de confort. Para el caso de ambientes térmicos extremos esta norma no aplica. Esta norma puede ser usada en el diseño de nuevos ambientes o en la evaluación de ambientes existentes. Esta norma fue elaborada para ambientes de trabajo, pero puede aplicarse a cualquier tipo de ambiente.

La norma ISO 10551:1995 cubre la construcción y uso de escalas de juicio (escalas de percepción térmica, confort térmico, preferencia térmica, forma de expresión de aceptabilidad y escala de tolerancia), para ser usadas proporcionando datos confiables y comparativos en los aspectos subjetivos del confort térmico y el stress térmico.

También se utilizó el manual de fundamentos de la ASHRAE en su capítulo 8, resume los principios de la termorregulación humana y el confort en términos útiles para el ingeniero dedicado a la operación de sistemas y preparación de diseños y aplicaciones orientadas al confort y bienestar de los ocupantes de edificios.

### **2.3. Objetivos**

A partir del planteamiento del problema se definieron tanto el objetivo general como los objetivos específicos, a través de los cuales se enmarcó la investigación, siendo estos los siguientes:

#### 2.3.1. Objetivo General:

Evaluación de la calidad térmica (índices de confort) en algunos andenes de las estaciones seleccionadas de la Línea 1 del Metro de Caracas.

#### 2.3.2. Objetivos Específicos:

2.3.2.1. Desarrollar los índices de confort térmico; Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (índice de Yaglou) y Voto Medio Pronosticado (índice de Fanger).

2.3.2.2. Desarrollo de la metodología de trabajo.

2.3.2.3. Seleccionar las estaciones en las cuales se realizará el estudio.

2.3.2.4. Especificar los puntos e intervalos de medición de las condiciones interiores de los ambientes, a ser medidas con instrumentos portátiles de la Gerencia de Investigación y Desarrollo (G.I.D.) de la C.A. Metro de Caracas.

2.3.2.5. Realizar las mediciones medio ambientales de las variables pertinentes al estudio.

2.3.2.6. Realizar y suministrar los cuestionarios que permitirán determinar la sensación de la percepción térmica de los usuarios.

2.3.2.7. Realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos.

2.3.2.8. Conclusiones y recomendaciones que solucionen los problemas específicos encontrados.

## **2.4. Alcances**

2.4.1. Se realizará una recopilación bibliográfica de temas basados con el confort térmico.

2.4.2. Selección de los criterios de confort térmico a ser aplicados para la obtención de los índices de confort.

2.4.3. Diseño, aplicación y análisis de prueba piloto.

2.4.4. Recopilación de la data, en las diferentes estaciones a estudiar.

2.4.5. Obtención de los índices de confort térmico, PMV y el TGBH.

2.4.6. Se verificará si los índices obtenidos se encuentran dentro de los rangos de confort térmico.

**CAPÍTULO III**  
**ÍNDICES DE CONFORT**  
**TÉRMICO APLICADOS**

### **3.1. Métodos Utilizados**

Para el desarrollo metodológico se van a utilizar dos métodos para el cálculo de los índices de confort:

#### 3.1.1. Índice de Fanger (PMV):

Índice empírico que se utiliza para predecir el grado de bienestar de un grupo de personas en un ambiente mediante un valor determinado PMV: Voto Medio Pronosticado (Predicted Mean Vote, con sus siglas en Inglés).

Gran parte de las variables que están presentes en este índice son obtenidas según las respuestas dadas por las personas que se les suministra un determinado cuestionario con preguntas sencillas.

#### 3.1.2. Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (TGBH), o Índice de Yaglou

Este índice en la relación fraccionada de la temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo y bulbo seco.

### **3.2. Índice de Fanger (PMV)**

Este índice se utiliza para predecir el grado de bienestar de un grupo de personas en un ambiente determinado mediante un determinado valor de PMV: Voto Medio Pronosticado (Predicted Mean Vote, con sus siglas en Inglés).

Este índice fue instituido a partir de la sensación térmica, temperatura de preferencia, confort, humor, vestimenta y actividad de 304 trabajadores de un edificio de oficinas con características específicas que no son necesariamente representativas de cualquier lugar en el mundo. Es decir que la aplicación de este índice es restringida y su uso esta sujeto a las condiciones originales en que este fue implementado, pero según los últimos estudios realizados el método se ha podido extender a ambientes de estudio como bibliotecas, salones de clase, entre otros.

El PMV es función de diferentes variables tanto de temperatura, presión, velocidades, etc. De otra manera:

$$PMV = f(m, t_a, p_w, V_a, t_p, \dots)$$

Las variables presentes en este método se obtienen por dos vías, unas de las condiciones medio ambientales del lugar sujeto a estudio, y las otras de las características de sus usuarios, como lo son la cantidad de superficie libre de piel, es decir, el tipo de vestimenta, y el tipo de actividad realizada por el individuo, esto para calcular la tasa metabólica. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} PMV = & (0.303e^{-0.036m} + 0.028)\{(m - W) - 3.05 \\ & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(m - W) - p_a] - 0.42 \\ & \times [(m - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ & - 0.001 \times 4m(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned}$$

donde:

PMV: Predicted Mean Vote (VMP: Voto Medio Pronosticado).

m: Tasa de metabolismo ( $W/m^2$ ).

W: Trabajo externo realizado, el cual es igual a cero para la mayoría de las actividades ( $W/m^2$ ).

$p_w$ : Presión parcial de vapor a  $t_a$  (Pa).

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ ).

$f_{cl}$ : Relación entre el área vestida y el área desnuda ( $A_{cl}/A_D$ ).

$t_{cl}$ : Temperatura superficial de la vestimenta ( $^{\circ}C$ ).

$t_{mr}$ : Temperatura media radiante ( $^{\circ}C$ ).

$h_c$ : Coeficiente de TC por convección ( $W/m^2^{\circ}C$ ).

Entre los cálculos a realizar para la aplicación de este método se encuentra el cálculo de la temperatura superficial de la vestimenta, el cual se halla mediante un proceso de iteración con la siguiente ecuación:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(m - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

en donde:

$I_{cl}$ : Coeficiente de aislamiento térmico debido a la vestimenta ( $m^2^{\circ}C/W$ ).

para el cálculo del  $h_c$  y  $f_{cl}$ , Fanger utilizó las siguientes relaciones:

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V_a} \\ 12.1\sqrt{V_a} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V_a} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & I_{cl} \leq 0.078m^2^{\circ}C/W \\ 1.05 + 0.1I_{cl} & I_{cl} > 0.078m^2^{\circ}C/W \end{cases}$$

en donde:

$V_a$ : Velocidad del aire (m/s).

El PMV arroja cierto valor el cual será comparado con los valores de la escala psico-fisiológica de sensación térmica de la ASHRAE, dicha escala consta de siete (7) puntos como se muestra en la tabla 3.2.1. y así de esta manera conocer dentro de que rango de sensación térmica se encuentra dicho índice, bajo las condiciones medidas.

Tabla 3.2.1. Escala de Sensación Térmica de la ASHRAE

<b>ESCALA</b>	<b>SENSACIÓN</b>
-3	Frío
-2	Fresco
-1	Ligeramente Fresco
0	Confort Neutral
+1	Ligeramente Tibio
+2	Tibio
+3	Caliente

La norma ISO 7730:94 recomienda que el valor del PMV se encuentre entre los valores -2 y 2, de la escala de sensación térmica de la ASHRAE. Además recomienda que los siguientes seis parámetros se encuentren dentro de los intervalos mostrados a continuación:

$m$ : 46 W/m<sup>2</sup> a 232 W/m<sup>2</sup> (0.8 met a 4 met).

$I_{cl}$ : 0 m<sup>2</sup>°C/W a 0.310 m<sup>2</sup>°C/W (0 clo a 2 clo).

$t_a$ : 10 °C a 30 °C.

$t_{mr}$ : 10 °C a 40 °C.

$V_a$ : 0 m/s a 1 m/s.

$p_a$ : 0 Pa a 2700 Pa.

Los valores del coeficiente de aislamiento térmico, dependen de la cantidad de vestimenta que cubra a el cuerpo humano, la medida mas usada para expresarlo es el Clo, pero la unidad técnica sería m<sup>2</sup>°C/W, siendo 1.0 Clo equivalente a 0.155m<sup>2</sup>°C/W. Este factor esta diseñado de manera tal que a una persona desnuda le corresponde un valor de 0.0 Clo y a medida que comienza a aumentar la cantidad de vestimenta utilizada, paralelamente aumentará el valor del Clo. En el Anexo B.1. se muestran los valores del coeficiente de aislamiento térmico para distintas condiciones de vestimenta, según la norma ISO 7730 (año).

Generalmente se expresa el metabolismo en la unidad met, siendo la unidad técnica que lo describe el W/m<sup>2</sup>, en donde 1 met equivale a 58.2W/m<sup>2</sup>. En la tabla 3.2.2. se muestran una serie de tasa metabólicas dependiendo del tipo de actividad realizada.

Tabla 3.2.2. Valores de la Tasa Metabólica para Diferentes Actividades.

ACTIVIDAD	TASA METABOLICA	
	W/m <sup>2</sup>	met
Reclinado.	46	0.8
Sentado, relajado.	58	1.0
Actividad sedentaria (oficina, dormido, escuela, laboratorio).	70	1.2
De pie, actividad ligera (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1.6
De pie, actividad media (asistente de tienda, ama de casa, trabajo con maquinaria).	116	2.0
Caminando a:		
2 km/h	110	1.9
3 km/h	140	2.4
4 km/h	165	2.8
5 km/h	200	3.4

### 3.3. TEMPERATURA DE GLOBO Y BULBO HÚMEDO (INDICE EMPÍRICO)

Este índice en la relación fraccionada de la temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo y bulbo seco. Para el cálculo de este índice se tienen los siguientes casos:

- a) Interior y exterior para edificaciones sin exposición directa a la energía solar:

$$WBGT = 0.7 \times t_{wb} + 0.3 \times t_g$$

- b) Exterior de las edificaciones con exposición directa a la energía solar:

$$WBGT = 0.7 \times t_{wb} + 0.2 \times t_g + 0.1 \times t_a$$

en donde:

WBGT: temperatura de globo y bulbo húmedo (°C).

$t_{wb}$ : Temperatura de bulbo húmedo (°C).

$t_g$ : Temperatura de globo (°C).

$t_a$ : Temperatura de bulbo seco (°C).

Este es un método simple y conveniente para la determinación de los factores ambientales, incluyendo efectos del Calor Radiante, Radiación solar y movimiento del Aire.

La exposición al calor en los lugares de trabajo no deberá sobrepasar los valores establecidos en la tabla 3.3.1. que relaciona las categorías de carga de trabajo con el índice de Yaglou teniendo como parámetro los ciclos de trabajo - recuperación.

Tabla 3.3.1. Valores Límites permisibles de exposición al calor  
(Valores dados en °C y correspondientes a TGBH)

<b>RÉGIMEN DE TRABAJO-DESCANSO</b>	<b>CARGA DE TRABAJO</b>		
	<b>LIGERA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>PESADA</b>
Trabajo continuo.	30.0	26.7	25.0
75% trabajo 25% descanso (cada hora)	30.6	28.0	25.9
50% trabajo 50% descanso (cada hora)	31.4	29.4	27.9
25% trabajo 75% descanso (cada hora)	32.2	31.1	30.0

Para la interpretación del TGBH se hace necesario definir dentro de que categoría esta el tipo de trabajo que desempeñan las personas.

Tabla 3.3.2. Clasificación de la tasa metabólica para diferentes tipos de actividades

<b>Categoría</b>	<b>Tasa metabólica (W/m<sup>2</sup>)</b>
Descansando	< 72.7
Trabajo liviano	72.7 a 145.4
Trabajo Moderado	145.4 a 254.4
Trabajo Pesado	254.4 a 363.4

**CAPÍTULO IV**  
**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO**  
**DE LOS ÍNDICES DE CONFORT TÉRMICO**

## 4.1. Procedimiento al Cálculo

A continuación se describirá el proceso de la obtención de los datos necesarios y el desarrollo matemático utilizado para poder calcular el PMV, PMV modificado y el TGBH.

### 4.1.1. Cálculo del PMV

Partiendo de la ecuación del PMV,  $t_{cl}$  y  $h_c$  que se muestran a continuación se especifica detalladamente de donde se obtiene cada término:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0.303e^{-0.036m} + 0.028)\{(m - W) - 3.05 \\ & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(m - W) - p_a] - 0.42 \\ & \times [(m - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ & - 0.001 \times 4m(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned}$$

**m**: tasa metabólica, que se obtiene que se obtiene del consumo metabólico de los usuarios entrevistados según el turno en el cual fueron entrevistados.

**W**: trabajo externo realizado, que para nuestro caso es cero, pues la mayoría de los usuarios del Metro de Caracas C.A. el trabajo externo realizado esta tan pequeño que se puede obviar su cuantificación.

**$p_w$** : Presión parcial de vapor a  $t_a$ , este valor se obtuvo de obtener la presión parcial del vapor de agua en el aire a partir de la presión del

aire (obtenida por el Observatorio Cagigal) a la temperatura del aire en la estación evaluada.

**$t_a$** : Temperatura de bulbo seco, esta variable se obtuvo por medio del equipo Psychrometer/Thermo-Hygrometer (que se describirá posteriormente).

**$f_{cl}$** : Relación entre el área vestida y el área desnuda, esta relación se obtiene por medio de la observación visual que se describirá posteriormente, que en la encuesta está identificada con el número “4) Tipo de Usuario PMV:” por medio del Anexo H.1.

**$t_{cl}$** : Temperatura superficial de la vestimenta, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(m - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

donde:

**$I_{cl}$** : Coeficiente de aislamiento térmico debido a la vestimenta, se obtiene de manera similar que el  $f_{cl}$ , del mismo anexo H.1.

**$t_{mr}$** : Temperatura media radiante, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$t_{mr} = 100 \times \sqrt[4]{\left(\frac{t_g}{100}\right)^4 + 2.48 \times \sqrt{V_a} \times (t_g - t_a)}$$

donde:

**T<sub>g</sub>**: es la temperatura de globo, se obtiene mediante el equipo Hygro/Thermo-Anemometer EXTECH, con su respectiva adaptación de la esfera pintada de negro mate.

**h<sub>c</sub>**: Coeficiente de TC por convección, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V_a} \\ 12.1\sqrt{V_a} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V_a} \end{cases}$$

Nótese que esta ecuación es iterativa junto con la del  $t_{cl}$  y viceversa, dependiendo del  $f_{cl}$ , que es la siguiente:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & I_{cl} \leq 0.078m^{2^{\circ}C/W} \\ 1.05 + 0.1I_{cl} & I_{cl} > 0.078m^{2^{\circ}C/W} \end{cases}$$

Por medio de la ayuda del programa de cálculos matemáticos “MathCad” se realizó una aproximación por el método de Newton – Raphson entre el  $t_{cl}$  y el  $H_c$  para obtener un valor de partida para la iteración, el valor obtenido fue  $H_c = 25 \text{ W/m}^{2^{\circ}C}$ , y

**V<sub>a</sub>**: Es la velocidad del aire medida en m/s, que se obtiene con el equipo Hygro/Thermo-Anemometer EXTECH.

#### 4.1.2. Cálculo del PMV Modificado

De manera similar al cálculo de PMV es el cálculo de PMV modificado, en la siguiente ecuación el primer término que es el coeficiente de sensación térmica ( descrito ampliamente en el Capítulo 6.8.), cambia por el término que se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0.303 e^{-0.036m} + 0.028) \{ (m-W) - 3.05 \\ & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 (m-W) - p_a] - 0.42 \\ & \times [(m-W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ & - 0.001 \times 4 m (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & \times [ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4 ] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \end{aligned}$$

Se denominará  $X = e^{-0.036m}$

Entonces, puede observarse que este coeficiente de sensación térmica, tiene la estructura de la ecuación de una línea recta, es decir:

$$Y = a.X + b$$

Donde:

$$\begin{aligned} a &= \frac{n \times \sum Y_i \times X_i - \sum X_i \times \sum Y_i}{n \times \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \\ b &= \frac{\sum X_i^2 \times \sum Y_i - \sum X_i \times Y_i \times \sum X_i}{n \times \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \end{aligned}$$

**n**: número de personas encuestadas, y

$$Y_i = \frac{PTS}{A}$$

donde:

**PTS:** Sensación térmica percibida por los usuarios (respuesta a la pregunta #2 de la encuesta).

**A:** Incremento de la energía del cuerpo, obtenida en cada estación según el día y el turno en el que fueron realizadas las encuestas, es decir:

$$A = \{ (m-W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 \\ (m-W) - p_a] - 0.42 \\ \times [(m-W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ - 0.001 \times 4 m (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ \times [ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4 ] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

Donde las variables son las mismas descritas anteriormente.

El PMV Modificado es usado debido que el PMV no fue diseñado para el ambiente en el cual se esta utilizando, por medio de esta modificación se obtiene una representación numérica muy ajustada a la realidad, pues se toma en cuenta lo que las personas piensan además de los variables fisiológicas y medio ambientales.

#### 4.1.3. Cálculo del TGBH

$$\text{TGBH} = 0.7 \times t_{wb} + 0.2 \times t_g + 0.1 \times t_a$$

La determinación de este índice se realizó por dos motivos fundamentales, 1) es el que determina la norma venezolana COVENIN y 2) es de fácil determinación por la poca cantidad de variables y de cálculo muy sencillo.

Twb: es la temperatura de bulbo húmedo, esta se obtuvo por medio del equipo Psychrometer/Thermo-Hygrometer.

#### **4.2. Instrumento de Recolección de Datos**

La evaluación de la calidad térmica se realizará a través de mediciones de campo, las cuales (como se expuso en el capítulo 1) se realizan sin modificar los parámetros involucrados habituales, es decir, no se alteran las condiciones físicas originales del lugar sujeto a estudio, incluyendo a sus ocupantes.

Para la recolección de datos se utilizaron dos formatos diferentes; el primero, un formato para la toma de los datos medio ambientales, mostrado en el Anexo C.1., denominado “Formato de Datos” y el segundo el cuestionario o encuesta suministrado a los usuarios mostrado en el Anexo D.1., denominado “Encuesta”.

#### 4.2.1. Formato de Datos

En este formato se incluyeron todas las variables necesarias para el cálculo de los índices medio ambientales seleccionados para el estudio, las cuales se midieron directamente a través de los instrumentos portátiles con los que se contaba. Estas variables fueron:

$T_a$ : temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{wb}$ : temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

HR: humedad relativa (%).

$V_a$ : velocidad de la corriente de aire (m/s).

$T_g$ : temperatura de globo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 4.2.2. Encuesta

El segundo formato se construyó a partir de lo que dictamina la norma ISO 10551, tomando en cuenta que la misma norma sugiere adaptar tanto preguntas como respuestas, dependiendo del tipo de población a quien se dirige el estudio.

Como se puede observar en el Anexo D.1. La Encuesta está dividida en dos partes principales, la primera (delimitada por una línea continua) es donde se encuentran las preguntas que se le realizan a los usuarios y en función de su respuesta se marcará en la encuesta con una marca de "visto" (  $\surd$  ); y la segunda parte (delimitada por una línea intermitente), es la información que se obtiene de los usuarios entrevistados por medio de una inspección visual por parte de El Entrevistador.

### **4.3. Limitaciones**

#### 4.3.1. Tiempo de Espera

Se tiene que para realizar las encuestas a los usuarios dependiendo del tipo de “Turno” (definidos mas adelante en el inciso 4.3.3 Turnos), se tiene que en “Horas Pico” el tiempo entre unidades es de 1min., 30seg., mientras que para “Horas Valle” es de 3min.

Por recomendación del Psicólogo Jesús Sánchez, director de la Escuela de Psicología de la Universidad Central de Venezuela, las encuestas deben de realizarse mientras las unidades del Metro no se encuentre en las instalaciones de la estación, inclusive antes de que el usuario perciba el arribo de la unidad a la estación, teniéndose entonces un tiempo aproximado para la realización de las encuestas de 45seg.

#### 4.3.2. Equipos Utilizados

Para la medición de la temperatura de globo han de esperarse aproximadamente 15min., tiempo mínimo necesario para estabilizar la primera medición, esperando luego 5 min. aproximadamente para las mediciones subsecuentes.

Con el equipo Hygro/Thermo-Anemometer EXTECH, han de medirse la velocidad del viento y la temperatura de globo, por lo que se debe optimizar su uso, para así poder cubrir las mediciones de ambos parámetros.

Con el equipo Psychrometer/Thermo-Hygrometer, han de medirse la temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo y humedad relativa, variables que se pueden medir de manera simultánea.

#### 4.3.3. Usuarios Encuestados

Se depende de la colaboración de los usuarios al momento de la realización de las encuestas, por lo que ha de tomarse en cuenta cierta holgura a la hora de definir el número de encuestas por turnos, para así cubrir las encuestas inválidas de los usuarios que no disponen de tiempo para realizar la misma, o que presentaban malestar físico.

#### 4.3.4. Condiciones Ambientales

En el caso de estaciones elevadas (definidas mas adelante en el inciso 4.4.2 Estaciones), han de suspenderse las actividades de presentarse lluvia, debido a que existirán puntos de medición a la intemperie, los cuales estarán expuestos a la lluvia, no considerada como una condición valida para la realización de encuestas o toma de datos.

#### 4.3.5. Sistema Operacional del Metro

Para el siguiente estudio, se depende del óptimo desempeño del sistema operacional del Metro, ya que de ocurrir una interrupción en el servicio, se han de suspender las actividades.

## **4.4. Consideraciones**

### 4.4.1. Índices de Confort Térmico

Los índices de confort aplicables al trópico son los siguientes (Aparcedo y Martínez 1993):

#### 4.4.1.1. Índices directos:

- Ninguno.

#### 4.4.1.2. Índices derivados racionalmente:

- Índice de Temperatura Media Radiante.
- Índice de Stress Térmico.

#### 4.4.1.3. Índices empíricos:

- Temperatura Efectiva.
- Voto Medio Pronosticado.
- Predicción del Porcentaje de Incomodidad.

Partiendo de esta información se decidió realizar un índice que fuese empírico, tomándose entonces la decisión de realizar el estudio con el índice empírico del Voto Medio Pronosticado.

Adicionalmente, la norma venezolana utilizada para la evaluación de un ambiente térmico, es el índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (TGBH), también conocido como índice de Yaglou. Por lo que este será el segundo índice empírico a utilizar en el presente estudio.

Los dos métodos a desarrollar en este estudio son entonces:

- Voto Medio Pronosticado.
- Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo

#### 4.4.2. Estaciones Evaluadas

El estudio se realizará en una serie de estaciones pertenecientes a la Línea 1 de la C.A Metro de Caracas. Se tiene que en dicha línea hay un total de veintidós (22) estaciones.

Dichas estaciones deben poseer un flujo moderado de usuarios, por lo que se requirió la “Relación de Pasajeros Transportados por el Sistema”, data suministrada por la oficina del Área de Estadísticas del Metro de Caracas. Esta data se encuentra disponible en el Anexo E, y corresponde a dos semanas representativas del año, en donde se muestra el número de pasajeros que circulan a través de las estaciones de la Línea 1, por día.

Se descartaron las estaciones de transferencia (Plaza Venezuela y Capitolio) por no estar climatizadas.

Se clasificaron las estaciones según su posición en función del nivel de la tierra como: subterráneas, a nivel y elevadas, siendo las subterráneas aquellas en las cuales tanto la mezanina como los andenes están bajo el nivel de la tierra, a nivel cuando la mezanina está al nivel de la tierra y los andenes por debajo del nivel de la tierra, y elevadas cuando la mezanina esta al nivel de la tierra y los andenes por encima de este.

Adicionalmente, es importante agregar que dependiendo de la estación el sistema de climatización varía, por lo cual se seleccionarán estaciones que abarquen los diferentes tipos de climatización existentes en la Línea 1.

Bajo estas condiciones las estaciones seleccionadas para realizar el estudio fueron seis (6), y se muestran en la Tabla 4.3.2. Estaciones.

Tabla 4.4.2. Estaciones Evaluadas

<b>SUBTERRÁNEAS</b>	<b>A NIVEL</b>	<b>ELEVADAS</b>
Chacaito Chacao Los Cortijos Plaza Sucre	Colegio de Ingenieros	Agua Salud

Los planos de estas estaciones se encuentran en los Anexos E.1. al E.6.

#### 4.4.3. Turnos de Evaluación

Con el objeto de evaluar el confort térmico bajo diferentes condiciones ambientales y de flujo de usuarios, se tomó la decisión de hacer el estudio en cinco (5) diferentes turnos, distribuidos a lo largo del día según el criterio de la compañía. Este criterio define dos tipos de comportamientos a través del día; el de la “Hora Pico”, en donde ocurren los mayores flujos de usuarios, y el de la “Hora Valle”, en donde el flujo de usuarios es menor.

Los turnos considerados de acuerdo a los criterios antes expuestos Se muestran en la Tabla 4.3.3. Horarios.

Tabla 4.4.3. Horarios de Evaluación

<b>TURNO</b>	<b>HORARIO</b>	<b>HORA</b>
<b>1</b>	7:00 am - 8:00am	Pico
<b>2</b>	9:30 am - 10:30 am	Valle
<b>3</b>	12:00 m - 1:00 pm	Pico
<b>4</b>	2:30 pm - 3:30 pm	Valle
<b>5</b>	5:00 pm - 6:00 pm	Pico

En donde los turnos 1, 3 y 5 corresponden a “Horas Pico”, y los turnos 2 y 4 corresponden a “Horas Valle”.

#### 4.4.4. Días de Medición

Para realizar las mediciones en cada estación se tenían dos opciones; o se tomaban los siete (7) días de la semana, o se seleccionaba otro período de días. Se partió inicialmente desde la semana de siete (7) días, pero se sabe que el tiempo disponible para realizar el estudio es limitado. Lo que se hizo fue utilizar la “Relación de Pasajeros Transportados por el Sistema” (ver Anexos F.1. al F.4.), para ver como era el comportamiento del flujo de pasajeros a través de cada una de las estaciones en estudio, durante la semana.

Para tomar un comportamiento de flujo más homogéneo se decidió descartar los días Sábados y Domingos, por presentarse en ellos una disminución significativa del flujo de pasajeros. Por lo que entonces se contaba con los cinco días hábiles de la semana. Ante la expectativa de la gran cantidad de datos que se debían procesar, luego de cada período de medición, se estudió la posibilidad de eliminar el último día de la semana hábil, es decir, el día Viernes, para así contar con este día para procesar la data recolectada en la semana.

Entonces se definió como período de medición el comprendido entre los días Lunes y Jueves, lo cual suma cuatro (4) días de medición para cada estación en estudio, en la semana correspondiente a cada una de ellas.

Por otro lado es importante recalcar que este estudio no se realizará en semanas con días feriados, puesto que estos días se presenta una disminución en el flujo de usuarios.

#### 4.4.5. Puntos de Medición

Una vez definidas las estaciones a estudiar, se definieron los puntos en los cuales se tomarían las mediciones de las variables medio ambientales. Para ello se delimitaron a través de planos las áreas correspondientes a los andenes, los cuales se muestran en los Anexos G.1. al G.6.. Se tiene que la longitud promedio de los andenes se encuentra alrededor de los 150 m. de largo. En Línea 1 las unidades de trenes constan de siete (7) vagones. Como resultado de una prueba piloto, se pudo constatar que los parámetros en las

mediciones medio ambientales no variaban significativamente a lo largo de los andenes, por lo que se decidió tomar como puntos de medición los ubicados en la línea central de cada andén, a la altura del centro de cada vagón, es decir, partiendo desde el punto más hacia el oeste geográfico, señalado como el punto uno (1) de medición se recorre la unidad del tren en sentido del oeste geográfico, deteniéndose en los puntos medios de cada vagón, por lo que el punto más hacia el este sería el punto siete (7) de medición, lo que hizo un total de siete puntos de medición por cada andén. Se compararon los valores obtenidos en la prueba piloto de cada andén y se encontró que las mediciones de los puntos uno (1) de cada andén tenían prácticamente los mismos valores, encontrándose las diferencias dentro de las apreciaciones de los instrumentos, esta situación se presentó de manera análoga en los puntos restantes. Por ello se tomó la decisión de realizar la toma de las variables medio ambientales en un solo andén, debido a que existe un ambiente térmico homogéneo en el área de los andenes.

#### 4.4.6. La Toma de Datos

4.4.6.1. Solo podrá ser realizada por un empleado de la C.A. Metro de Caracas.

4.4.6.2. La toma de datos será realizada por una (1) persona y esta deberá tener:

- Tablilla.
- Lápiz de grafito.
- Borrador de grafito.

- Psychrometer/Thermo-Hygrometer (para medir temperatura bulbo seco, bulbo húmedo y humedad relativa).
- Hygro/Thermo-Anemometer (para medir la velocidad del viento y la temperatura de globo).
- Pequeño morral ajustado a la cintura (riñonera o koala) para facilitar la manipulación de los equipos.
- La persona que tome los datos deberá estar vestida cómodamente y con el carnet del Metro de un sitio visible.
- La toma de datos deberá realizarse en momentos que no se presente el “Efecto Pistón”, bien sea a la llegada o salida del tren a la estación.

#### 4.4.7. Número de Encuestas por Turno

Debido a lo limitado de los tiempos de medición, y tomando en cuenta que las mediciones de las variables medio ambientales y las encuestas debían realizarse al unísono, el número de encuestas que se podrían realizar por turno dependerían de las capacidades de los encuestadores, por separado, pues mientras uno toma las variables medio ambientales el otro encuesta a los usuarios. Por esto se realizaron pruebas de velocidad para cuantificar cuántas encuestas podían realizarse en diferentes turnos de medición (“Hora Pico” y “Hora Valle”) por cada uno de los integrantes del equipo, de allí que se tomara la decisión de realizar veinte (20) encuestas por turno, pues resultó el promedio de encuestas que podían realizar ambos encuestadores por separado.

Por ello, el estudio contará con una población muestra de veinte (20) usuarios por turno de medición del inciso 4.3.3. Turnos, con

cinco turnos de medición diarios tendríamos un total de 100 encuestas diarias. Y recordando que en el inciso 4.3.4. Días de Medición, se definieron cuatro (4) días de medición, esto daría un total de 400 encuestas semanales, por lo cual se harán un total de 2400 encuestas entre las seis (6) estaciones sometidas a estudio.

#### 4.4.8. La Entrevista

4.4.8.1. Se deberá mantener el respeto y la distancia entre el entrevistador y el usuario a ser entrevistado, teniendo en un lugar visible (preferiblemente en la parte alta de la camisa) el carnet que identifica al entrevistador como empleado de la C.A. Metro de Caracas.

4.4.8.2. No existirán preferencias sexuales, raciales, nivel social o forma de vestir, con el fin de hacer las entrevistas con una muestra lo más heterogénea de la población de usuarios.

4.4.8.3. Las entrevistas serán realizadas en función de la encuesta en las estaciones y horarios estipulados.

4.4.8.4. Deberá realizarse con un tono de voz y velocidad de pronunciación de las palabras adecuada permitiendo una fácil comunicación entre el entrevistador y el usuario.

4.4.8.5. Las preguntas de las encuestas deberán ser leídas, y hacer lo posible de que el usuario enfoque su atención a la punta del lápiz con el cual se está escribiendo en la encuesta, de tal manera que el entrevistado capte la información por medio de mas de uno de sus sentidos.

#### 4.4.9. El Encuestador:

4.4.9.1. El encuestador debe ser empleado de la C.A. Metro de Caracas.

4.4.9.2. El encuestador deberá seguir una inducción previa, según las instrucciones de este manual.

4.4.9.3. Deberá poseer una vestimenta cómoda, que no de muestras evidentes de preferencia térmica y bajo las normas de moral y ética de la sociedad.

4.4.9.4. El encuestador debe seguir los lineamientos planteados en el ítem 4.4.8. relativo a La Entrevista.

#### 4.4.10. El Encuestado:

4.4.10.1. Deberá encontrarse en los andenes de las instalaciones de la C.A. Metro de Caracas, en las estaciones especificadas anteriormente.

4.4.10.2. Deberá tener mas de 10 años y menos de 70 años, obteniendo esta información por observación aproximada (en caso de duda preguntar al encuestado).

4.4.10.3. No deberá encontrarse bajo presión para responder la encuesta, es decir, deberá responder las preguntas por colaboración.

4.4.10.4. No debe presentar ningún tipo de malestar o limitación física.

#### 4.4.11. La Encuesta:

4.4.11.1. La encuesta se le realizará únicamente a usuarios de la C.A. Metro de Caracas, que se encuentren en el área de andenes en las estaciones en estudio.

4.4.11.2. Las encuestas se realizarán en los horarios preestablecidos.

4.4.11.3. La información necesaria para llenar los datos requeridos por la encuesta se obtendrán por medio de una entrevista, para la cual el encuestador deberá seguir los lineamientos expuestos en el ítem 4.4.8. relativo a La Entrevista.

### **4.5. Instrumentos de Medición**

Para la medición de la velocidad del aire y de la temperatura de globo se utilizó el Hygro/Thermo-Anemometer, el cual se describe a continuación:

- Equipo digital Hygro/Thermo-Anemometer.
- Marca: EXTECH Instruments.
- Modelo: 407412.
- Sensor de temperatura y humedad.
- Anemómetro.
- Rango de medición del termómetro es de 0 °C a 5 °C, con una resolución de 0.1 °C y una apreciación de  $\pm 0.8$  °C.

Para medir la temperatura de globo con este equipo se tuvo que realizar el siguiente montaje:

1. Se tomó una esfera de cobre, hueca, de 150 mm de diámetro y con un espesor de pared lo más delgado posible, pintada de color negro mate, tanto en su interior como en su exterior.
2. A dicha esfera se le realizó un agujero lo suficientemente amplio como para poder ingresar el sensor de temperatura del Hygro/Thermo-Anemometer.
3. Se le colocó al sensor de temperatura una camisa de goma espuma negra, la cual sirve como elemento que une la esfera con el sensor.
4. Una vez colocado el sensor dentro de la esfera y habiendo tenido la precaución de que el sensor quedase justo en la mitad de la esfera, se procedió a sellar la junta con pegamento plástico.

Para medir la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y la humedad relativa, se utilizó el Psychrometer/Thermo-Hygrometer, el cual se describe a continuación:

- Equipo digital Psychrometer/Thermo-Hygrometer:
- Marca: Mannix.
- Modelo: SAM 990DW.
- Rango de medición de temperatura: (-4 a 122 °F), (-20 a 50°C).
- Rango de medición de humedad: (0 a 100%).
- Alta exactitud.

#### **4.6. Codificación de los Datos de La Encuesta**

La Entrevista tiene una duración aproximada de 45 a 60 segundos, el intervalo entre la salida de un tren y la llegada del otro es de aproximadamente 90 segundos en hora pico y 150 segundos en hora valle, el tiempo que pasa un tren en la estación realizando su

desembarque y el embarque es de 15 segundos. Teniendo en cuenta que no se puede realizar la entrevista mientras el tren se encuentre dentro de la estación ni 10 segundos antes de que llegue ni 10 segundos después que se valla (por el efecto “pistón” y ansiedad de abordaje al tren) queda un tiempo factible de realizar encuestas de aproximadamente de 1200 segundos (20 minutos), entonces a partir de este tiempo se decidió realizar un total de 20 encuestas por turno de 1 hora, es decir, 20 encuestas por 50 segundos da un total de 1000 segundos hábiles, teniendo 200 segundos de holgura por imprevistos.

Partiendo de este número de entrevistas por turno y previamente seleccionado los 5 turnos y los días en los cuales se realizaran las encuestas da un total de 100 encuestas diarias o 400 encuestas semanales por estación.

Como se dijo en el punto 4.1.2. Encuesta, esta se encuentra dividida en dos partes fundamentales:

- 1) Preguntas y respuestas orales por parte del entrevistador y del entrevistado, respectivamente, y
- 2) Obtención de datos del entrevistado por inspección visual.

A partir de lo que dictamina la norma ISO 10551:1995, se construyeron las escalas de juicio que conforman la encuesta.

Para traducir estas opiniones subjetivas de los entrevistados, a valores numéricos, se realizaron las siguientes consideraciones:

## Parte I

### Preguntas y respuestas orales

-Pregunta #1. ¿Siente algún malestar físico en estos momentos?

Al realizar esta pregunta lo que se busca obtener es si existe algún descontrol en el metabolismo del entrevistado, es decir, si la persona a entrevistar responde “Si” ya esta no es una candidata válida para ser entrevistada, y allí termina la entrevista.

-Pregunta #2. ¿Qué siente en estos momentos?

Esta pregunta se busca obtener el termino denominado PTS (Sensación Térmica Percibida). Esta pregunta presenta un rango de respuesta que va desde Mucho Frío hasta Mucho Calor, se definió un rango numérico para poder transcribir y contabilizar esta respuesta que es el siguiente.

Tabla 4.6.1. Codificación de la Pregunta #2

<b>Respuesta Durante Entrevista</b>	<b>Valor Numérico para transcripción (VNT)</b>	<b>Valor Numérico para el Cálculo (VNC)</b>
Mucho Frío	1	-3
Frío	2	-2
Algo de Frío	3	-1
Ni Frío Ni Calor	4	0
Algo de Calor	5	1
Calor	6	2
Mucho Calor	7	3

Nota: VNT (Valor numérico para transcripción) es el valor que, después de realizada la entrevista y tener la encuesta con los datos

del encuestado, se procederá a pasar a la base de datos de la computadora, para que esta información literal pueda ser procesada por el computador en forma numérica.

VNC (Valor Numérico par el Cálculo), es el valor al cual se transforma, por procesos programados en la computadora, el VNT para que se ajuste directamente al rango de sensación térmica de Fanger.

Se puede observar que  $VNC = VNT - 4$  (esta información servirá para calcular el PMV modificado, ver punto 6.8. Modificación del PMV)

-Pregunta #3 ¿Qué opción define mejor su estado de ánimo?

Esta información se utilizará para fines estadísticos, ver el estado de ánimo promedio de las personas entrevistadas y revisar que influencia tiene el estado de ánimo en el PTS.

Similar al caso anterior el VNT es el siguiente:

Tabla 4.6.2. Codificación de la Pregunta #3

<b>Respuesta Durante Entrevista</b>	<b>Valor Numérico para transcripción (VNT)</b>
Tranquilo	1
Alegre	2
Ansioso	3
Triste	4
Enojado	5

-Pregunta #4. ¿Se encuentra Ud.?

Similar al caso anterior, siendo su VNT el siguiente:

Tabla 4.6.3. Codificación de la Pregunta #4

<b>Respuesta Durante Entrevista</b>	<b>Valor Numérico para transcripción (VNT)</b>
Confortable	1
Ligeramente Inconfortable	2
Inconfortable	3
Muy Inconfortable	4

-Pregunta #5. ¿En este momento preferiría tener?

Con la respuesta de esta pregunta se obtiene la Preferencia Térmica, respuesta utilizada para fines estadísticos, comprobando objetivamente las respuestas obtenidas en las preguntas # 4 y #6. Su VNT es el siguiente:

Tabla 4.6.4. Codificación de la Pregunta #5

<b>Respuesta Durante Entrevista</b>	<b>Valor Numérico para transcripción (VNT)</b>	<b>Valor Numérico para el Cálculo (VNC)</b>
Mucho Mas Frío	1	-3
Mas Frío	2	-2
Un Poco Mas Frío	3	-1
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	4	0
Un Poco Mas Calor	5	1
Mas Calor	6	2
Mucho Mas Calor	7	3

-Pregunta #6. Según su opinión, ¿Este ambiente es?

Similar a la pregunta #4, siendo utilizada su respuesta para fines estadísticos, obteniendo cuantificablemente el grado de aceptabilidad de los usuarios en relación al ambiente donde fueron entrevistados. Su VNT es el siguiente:

Tabla 4.6.5 Codificación de la Pregunta #6

<b>Respuesta Durante Entrevista</b>	<b>Valor Numérico para transcripción (VNT)</b>
Aceptable	1
Un Poco Dificil de Soportar	2
Bastante Dificil de Soportar	3
Muy Dificil de Soportar	4
Insoportable	5

## Parte II

### Inspección Visual

1) Tez: Cuantifica el color de la piel en tres categorías:

Tabla 4.6.6 Codificación de la Tez

<b>Tez</b>	<b>VNT</b>
Blanca	1
Morena	2
Negra	3

2) Sexo: Cuantifica el sexo en dos categorías:

Tabla 4.6.7 Codificación del Sexo

<b>Sexo</b>	<b>VNT</b>
Masculino	1
Femenino	2

3) Sudoración: Cuantifica si el usuario presenta sudoración en dos categorías:

Tabla 4.6.8 Codificación de la Sudoración

<b>Sudoración</b>	<b>VNT</b>
SI	1
NO	2

4) Tipo de Usuario, PMV: cuantifica como esta vestido el usuario entrevistado según la norma ISO 7730 (Ver anexo H.1.), con este valor se halla la variable “clo” posteriormente el “Icl” y después el “fcl” para

ser introducido dentro de la ecuación del “PMV” y del “tcl”. Según el siguiente cuadro se obtiene el VNT:

Tabla 4.6.9 Codificación del Tipo de Usuario

<b>Tipo de Usuario</b>	<b>VNT</b>
Tipo 1	1
Tipo 2	2
Tipo 3	3
Tipo 4	4
Tipo 5	5

5) Rango de edad: se obtiene aproximadamente el rango de edad del usuario entrevistado para fines estadísticos, según el siguiente rango:

Tabla 4.6.10 Codificación del Rango de Edad

<b>Rango de Edad</b>	<b>VNT</b>
10 a 20 años	1
20 <sup>a</sup> 30 años	2
30 a 40 años	3
40 a 50 años	4
50 a 60 años	5
60 a 70 años	6

6) Dirección: Esta información es para fines estadísticos, existen dos posibilidades, a) si el usuario va en dirección Propatria (Vía 1)

teniendo un VNT = 1 y b) si el usuario va en dirección Palo Verde (Vía 2), teniendo un VNT = 2.

7) Fecha: Fecha de realización de la encuesta, indicando Día/Mes/Año.

8) Turno: Indica el turno en el cual se realizó la encuesta que puede ser Turno 1,2,3,4 ó 5 teniendo un VNT = 1,2,3,4 ó 5 respectivamente.

9) Encuestador: Iniciales del encuestador que realizó la encuesta.

10) Estación: Abreviación del nombre de la estación donde se realizó la encuesta.

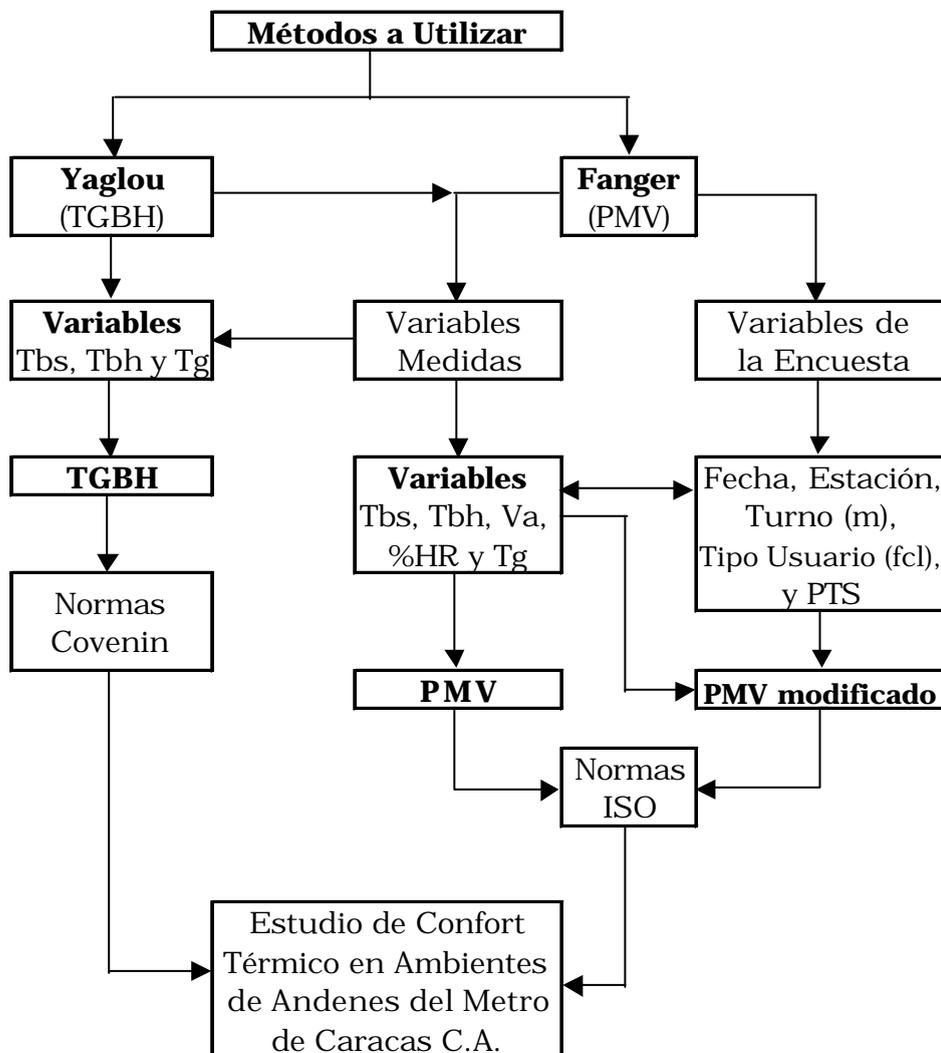
#### **4.7. Método Estadístico**

El método estadístico seleccionado para realizar cada uno de los cálculos de las variables utilizadas para hallar los diferentes índices de evaluación de la calidad térmica es el siguiente.

Cada una de las estaciones evaluadas presentan diferentes condiciones medio ambientales en cada punto del espacio y en cada instante de tiempo, de igual manera cada uno de los usuarios entrevistados posee diferentes metabolismos, formas de vestir, sexo edad, etc., de tal manera, que, se obtendrán percepciones térmicas particulares a cada usuario en los diferentes instantes de tiempo y espacio.

Tomando en cuenta estos factores se realizará el cálculo de las variables, tales como: tcl, hc, PMV, PMV modificado, TGBH, entre otras, **para cada uno de los usuarios entrevistados**, tomando en cuenta las condiciones medio ambientales del respectivo turno en el cual se le realizó la entrevista, garantizando de esta manera el menor error posible en los cálculos y la menor desviación estándar en los resultados.

#### 4.8. Organigrama de Cálculo de los Índices de Confort



## 5.1. Estación Plaza Sucre

En las tablas 5.1.1. y 5.1.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

**Tabla 5.1.1 Promedio de las Variables por Turno**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Turno 1</b>	24,76	19,03	59,31	0,03	25,39
<b>Turno 2</b>	24,80	19,07	56,40	0,10	25,74
<b>Turno 3</b>	24,88	18,80	56,55	0,06	26,35
<b>Turno 4</b>	25,10	19,24	57,53	0,09	25,40
<b>Turno 5</b>	25,87	20,03	58,95	0,08	26,52
<b>Promedio</b>	<b>25,08</b>	<b>19,23</b>	<b>57,75</b>	<b>0,07</b>	<b>25,88</b>

**Tabla 5.1.2 Distribución de Variables en el Espacio**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Punto 1</b>	24,88	19,11	49,57	0,14	25,93
<b>Punto 2</b>	24,33	18,37	51,19	0,11	25,92
<b>Punto 3</b>	24,33	18,37	51,19	0,11	25,92
<b>Punto 4</b>	24,33	18,37	51,19	0,11	25,92
<b>Punto 5</b>	24,33	18,37	51,19	0,11	25,92
<b>Punto 6</b>	24,46	18,85	52,18	0,11	25,95
<b>Punto 7</b>	24,46	18,85	52,18	0,11	25,95

En la Tabla 5.1.3. se muestran los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del el rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

**Tabla 5.1.3. Promedio de Respuestas por Turno**

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	5,00	1,00	1,00	2,50	2,00	2,50	4,00	1,50	2,50	2,00	1,50
<b>Turno 2</b>	6,00	2,00	1,00	2,50	1,50	2,00	3,00	1,50	3,00	2,00	1,00
<b>Turno 3</b>	3,50	3,50	1,50	3,50	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Turno 4</b>	4,00	1,71	1,24	3,35	1,25	1,90	3,26	1,51	2,35	2,00	1,83
<b>Turno 5</b>	3,71	1,66	1,21	3,13	1,32	2,03	3,34	1,50	2,34	2,00	1,85
<b>Promedio</b>	<b>4,44</b>	<b>1,97</b>	<b>1,19</b>	<b>3,00</b>	<b>1,41</b>	<b>2,09</b>	<b>3,32</b>	<b>1,60</b>	<b>2,44</b>	<b>2,00</b>	<b>1,64</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?

4,44 Ni frío Ni calor - Algo de Calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de ánimo?

1,97 Tranquilo - Alegre

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?

1,19 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?

3,00 Algo más de Frío

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?

1,41 Aceptable - Un poco difícil de soportar

**Tez**

2,09 Morena - Negra

**Tipo de Usuario**

3,32 Definido Anexo H.1.

**Sexo**

40% Hombres 60% Mujeres

**Edad**

24,38 Años

**Sudoración**

NO

**Dirección**

15% Vía 1 - 85% Vía 2

## 5.2. Estación Agua Salud

En las tablas 5.2.1. y 5.2.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

**Tabla 5.2.1. Promedio de las Variables por Turno**

	<b>ta (°C)</b>	<b>twh (°C)</b>	<b>% HR</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>tg (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	21,32	16,42	60,90	0,11	25,03
<b>Turno 2</b>	24,71	17,97	51,34	0,22	29,19
<b>Turno 3</b>	25,99	18,90	50,92	0,40	29,52
<b>Turno 4</b>	26,32	20,03	56,40	1,04	30,46
<b>Turno 5</b>	24,13	20,27	70,01	0,42	25,44
<b>Promedio</b>	<b>24,50</b>	<b>18,72</b>	<b>57,91</b>	<b>0,44</b>	<b>27,93</b>

**Tabla 5.2.2. Distribución de Variables en el Espacio**

	<b>ta (°C)</b>	<b>twh (°C)</b>	<b>% HR</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>tgb (°C)</b>
<b>Punto 1</b>	24,69	18,91	58,64	0,51	32,82
<b>Punto 2</b>	24,06	18,43	57,82	0,45	25,95
<b>Punto 3</b>	24,06	18,43	57,82	0,45	25,95
<b>Punto 4</b>	24,06	18,43	57,82	0,45	25,95
<b>Punto 5</b>	24,06	18,43	57,82	0,45	25,95
<b>Punto 6</b>	24,28	18,59	58,55	0,53	25,67
<b>Punto 7</b>	24,28	18,59	58,55	0,53	25,67

En la Tabla 5.2.3. se muestran los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

Tabla 5.2.3. Promedio de Respuestas por Turno

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	3,25	1,56	1,31	3,83	1,26	1,80	3,51	1,55	2,64	2,00	1,975
<b>Turno 2</b>	3,95	1,43	1,27	3,37	1,11	1,95	3,30	1,49	2,46	2,00	1,851852
<b>Turno 3</b>	4,53	1,70	1,26	3,35	1,21	1,91	3,12	1,56	2,37	2,00	2
<b>Turno 4</b>	4,29	1,56	1,25	3,26	1,34	1,89	3,18	1,53	2,51	2,00	1,875
<b>Turno 5</b>	3,88	1,59	1,22	3,62	1,27	1,84	3,15	1,62	2,48	2,01	1,839506
<b>Promedio</b>	<b>3,98</b>	<b>1,57</b>	<b>1,26</b>	<b>3,48</b>	<b>1,24</b>	<b>1,88</b>	<b>3,25</b>	<b>1,55</b>	<b>2,49</b>	<b>2,00</b>	<b>1,90827</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?  
3,98 Algo de Frio - Ni frio Ni calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de animo?  
1,57 Tranquilo - Alegre

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?  
1,26 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?  
3,48 Algo mas de Frio - Ni mas Frio Ni mas Calor

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?  
1,24 Aceptable - Un poco dificil de soportar

**Tez**  
1,88 Blanca - Morena

**Tipo de Usuario**  
3,25 Definido Anexo H.1.

**Sexo**  
45% Hombres 55% Mujeres

**Edad**  
24,92 Años

**Sudoración**  
NO

**Dirección**  
91% Vía 1 - 9% Vía 2

### 5.3. Estación Colegio de Ingenieros

En las tablas 5.3.1. y 5.3.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

**Tabla 5.3.1. Promedio de las Variables por Turno**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Turno 1</b>	23,70	17,43	52,69	0,11	25,70
<b>Turno 2</b>	26,01	17,97	45,39	0,05	28,43
<b>Turno 3</b>	27,22	18,68	42,04	0,04	29,05
<b>Turno 4</b>	27,51	18,31	40,62	0,07	29,85
<b>Turno 5</b>	28,03	18,87	42,79	0,10	29,50
<b>Promedio</b>	<b>26,49</b>	<b>18,25</b>	<b>44,70</b>	<b>0,07</b>	<b>28,50</b>

**Tabla 5.3.2. Distribución de Variables en el Espacio**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Punto 1</b>	26,52	18,63	48,00	0,21	27,69
<b>Punto 2</b>	25,57	18,00	46,56	0,10	27,81
<b>Punto 3</b>	25,57	18,00	46,56	0,10	27,81
<b>Punto 4</b>	25,57	18,00	46,56	0,10	27,81
<b>Punto 5</b>	25,57	18,00	46,56	0,10	27,81
<b>Punto 6</b>	25,17	17,56	47,40	0,05	28,21
<b>Punto 7</b>	25,17	17,56	47,40	0,05	28,21

En la Tabla 5.3.3. se muestran los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del el rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

**Tabla 5.3.3. Promedio de Respuestas por Turno**

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	4,67	3,67	1,67	3,33	1,67	2,00	4,00	1,67	3,00	2,00	1,00
<b>Turno 2</b>	3,79	1,71	1,26	3,43	1,11	1,90	3,25	1,50	2,71	1,95	1,25
<b>Turno 3</b>	3,89	1,77	1,28	3,32	1,21	1,94	3,32	1,53	2,32	1,98	1,21
<b>Turno 4</b>	4,55	1,55	1,24	3,33	1,18	2,00	3,18	1,52	2,61	1,97	1,73
<b>Turno 5</b>	4,00	1,75	1,45	3,44	1,36	1,88	3,35	1,59	2,39	1,98	1,73
<b>Promedio</b>	<b>4,18</b>	<b>2,09</b>	<b>1,38</b>	<b>3,37</b>	<b>1,31</b>	<b>1,94</b>	<b>3,42</b>	<b>1,56</b>	<b>2,61</b>	<b>1,97</b>	<b>1,38</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?

4,18 Ni frío Ni calor - Algo de Calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de ánimo?

2,09 Alegre - Ansioso

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?

1,38 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?

3,37 Un poco mas Frío - Ni mas Frío Ni mas Calor

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?

1,31 Aceptable - Un poco difícil de soportar

**Tez**

1,94 Blanca - Morena

**Tipo de Usuario**

3,42 Definido Anexo H.1.

**Sexo**

44% Hombres 56% Mujeres

**Edad**

26,05 Años

**Sudoración**

97% NO

**Dirección**

38% Vía 1 - 62% Vía 2

## 5.4. Estación Chacaito

En las tablas 5.4.1. y 5.4.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

**Tabla 5.4.1. Promedio de las Variables por Turno**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Turno 1</b>	25,39	18,73	53,39	0,03	26,10
<b>Turno 2</b>	26,12	18,85	49,64	0,05	26,73
<b>Turno 3</b>	26,87	19,06	47,95	0,07	27,47
<b>Turno 4</b>	26,93	18,66	44,86	0,05	27,89
<b>Turno 5</b>	27,74	19,45	45,47	0,03	28,27
<b>Promedio</b>	<b>26,61</b>	<b>18,95</b>	<b>48,26</b>	<b>0,05</b>	<b>27,29</b>

**Tabla 5.4.2. Distribución de Variables en el Espacio**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Punto 1</b>	26,38	18,53	46,46	0,23	27,44
<b>Punto 2</b>	26,14	18,14	46,06	0,04	27,49
<b>Punto 3</b>	26,14	18,14	46,06	0,04	27,49
<b>Punto 4</b>	26,14	18,14	46,06	0,04	27,49
<b>Punto 5</b>	26,14	18,14	46,06	0,04	27,49
<b>Punto 6</b>	27,39	19,41	47,43	0,00	27,59
<b>Punto 7</b>	27,39	19,41	47,43	0,00	27,59

En la Tabla 5.4.3. se muestran los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del el rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

**Tabla 5.4.3. Promedio de Respuestas por Turno**

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	3,10	1,71	1,17	3,81	1,23	1,81	3,48	1,58	2,58	1,98	1,00
<b>Turno 2</b>	4,00	1,62	1,17	3,17	1,40	1,89	3,36	1,47	2,60	1,96	1,79
<b>Turno 3</b>	4,10	1,70	1,26	3,30	1,16	1,68	3,38	1,50	2,48	2,00	1,60
<b>Turno 4</b>	4,51	1,83	1,45	2,89	1,40	1,84	3,19	1,51	2,35	1,93	1,35
<b>Turno 5</b>	4,38	1,93	1,48	3,12	1,95	2,00	3,38	1,52	2,33	1,93	1,26
<b>Promedio</b>	<b>4,02</b>	<b>1,76</b>	<b>1,31</b>	<b>3,26</b>	<b>1,43</b>	<b>1,84</b>	<b>3,36</b>	<b>1,52</b>	<b>2,47</b>	<b>1,96</b>	<b>1,40</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?

4,02 Ni frio Ni calor - Algo de Calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de animo?

1,76 Tranquilo - Alegre

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?

1,31 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?

3,26 Un poco mas Frio - Ni mas Frio Ni mas Calor

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?

1,43 Aceptable - Un poco difícil de soportar

**Tez**

1,84 Blanca - Morena

**Tipo de Usuario**

3,36 Definido Anexo H.1.

**Sexo**

48% Hombres 52% Mujeres

**Edad**

24,68 Años

**Sudoración**

96% NO

**Dirección**

40% Vía 1 - 60% Vía 2

### 5.5. Estación Chacao

En las tablas 5.5.1. y 5.5.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

**Tabla 5.5.1 Promedio de las Variables por Turno**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Turno 1</b>	26,07	20,21	59,08	0,06	26,84
<b>Turno 2</b>	26,34	20,23	57,45	0,03	27,36
<b>Turno 3</b>	27,30	20,65	48,89	0,11	27,75
<b>Turno 4</b>	27,64	19,94	48,89	0,02	28,37
<b>Turno 5</b>	27,56	20,03	49,57	0,06	28,40
<b>Promedio</b>	<b>26,98</b>	<b>20,21</b>	<b>52,77</b>	<b>0,06</b>	<b>27,74</b>

**Tabla 5.5.2. Distribución de Variables en el Espacio**

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Punto 1</b>	27,12	20,45	54,67	0,12	27,93
<b>Punto 2</b>	27,13	20,69	50,79	0,00	27,87
<b>Punto 3</b>	27,13	20,69	50,79	0,00	27,87
<b>Punto 4</b>	27,13	20,69	50,79	0,00	27,87
<b>Punto 5</b>	27,13	20,69	50,79	0,00	27,87
<b>Punto 6</b>	27,22	20,26	52,95	0,01	27,77
<b>Punto 7</b>	27,22	20,26	52,95	0,01	27,77

En la Tabla 5.5.3. se muestran los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del el rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

**Tabla 5.5.3. Promedio de Respuestas por Turno**

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	3,93	1,56	1,22	3,37	1,11	1,78	3,37	1,44	2,56	1,96	1,33
<b>Turno 2</b>	4,83	1,51	1,37	2,93	1,27	1,81	3,16	1,48	2,79	1,94	1,28
<b>Turno 3</b>	4,96	1,85	1,43	2,73	1,43	1,86	3,12	1,58	2,59	1,92	1,32
<b>Turno 4</b>	5,35	1,56	1,48	2,66	1,73	1,89	3,19	1,54	2,49	1,95	1,38
<b>Turno 5</b>	5,20	1,60	1,42	2,64	1,88	1,96	3,21	1,42	2,54	1,95	1,43
<b>Promedio</b>	<b>4,85</b>	<b>1,62</b>	<b>1,38</b>	<b>2,87</b>	<b>1,48</b>	<b>1,86</b>	<b>3,21</b>	<b>1,49</b>	<b>2,59</b>	<b>1,94</b>	<b>1,35</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?

4,85 Ni frío Ni calor - Algo de Calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de animo?

1,62 Tranquilo - Alegre

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?

1,38 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?

2,87 Mas Frío - Un poco mas Frío

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?

1,48 Aceptable - Un poco difícil de soportar

**Tez**

1,86 Blanca - Morena

**PMV**

3,21 Definido Anexo H.1.

**Sexo**

49% Hombres 51% Mujeres

**Edad**

25,94 Años

**Sudoración**

96% NO

**Dirección**

35% Vía 1 - 65% Vía 2

## 5.6. Estación Los Cortijos

En las tablas 5.6.1. y 5.6.2. se presentan los promedios de las variables medio ambientales por turno y su correspondiente ubicación espacial respectivamente.

### 5.6.1. Promedio de las Variables por Turno

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Turno 1</b>	24,59	19,04	59,96	0,04	25,55
<b>Turno 2</b>	25,16	19,26	56,45	0,09	26,16
<b>Turno 3</b>	26,03	18,99	49,66	0,04	26,07
<b>Turno 4</b>	26,33	18,84	48,64	0,04	27,26
<b>Turno 5</b>	26,94	19,64	50,03	0,09	27,79
<b>Promedio</b>	<b>25,81</b>	<b>19,15</b>	<b>52,95</b>	<b>0,06</b>	<b>26,56</b>

### Tabla 5.6.2. Distribución de Variables en el Espacio

	ta (°C)	twh (°C)	% HR	Va (m/s)	tg (°C)
<b>Punto 1</b>	26,13	19,75	54,92	0,09	26,65
<b>Punto 2</b>	25,96	19,31	53,12	0,05	26,69
<b>Punto 3</b>	25,96	19,31	53,12	0,05	26,69
<b>Punto 4</b>	25,96	19,31	53,12	0,05	26,69
<b>Punto 5</b>	25,96	19,31	53,12	0,05	26,69
<b>Punto 6</b>	26,02	19,32	53,54	0,05	26,51
<b>Punto 7</b>	26,02	19,32	53,54	0,05	26,51

En la Tabla 5.6.3. se muestran los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los usuarios por turno, junto a una reseña del el rango en el cual se encuentran cada uno de los valores promedios obtenidos.

**Tabla 5.6.3. Promedio de Respuestas por Turno**

	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Tez	PMV	Sexo	Edad	Sudoración	Dirección
<b>Turno 1</b>	3,65	1,58	1,27	3,81	1,23	1,77	3,58	1,50	2,50	1,96	1,19
<b>Turno 2</b>	4,28	1,59	1,20	3,24	1,41	1,78	3,31	1,46	2,69	1,87	1,20
<b>Turno 3</b>	4,59	1,61	1,31	3,12	1,29	1,96	3,29	1,47	2,76	1,86	1,20
<b>Turno 4</b>	4,76	1,80	1,12	2,83	1,46	1,88	3,07	1,46	2,54	1,93	1,46
<b>Turno 5</b>	4,51	1,90	1,33	3,06	1,75	1,92	3,29	1,49	2,47	1,94	1,49
<b>Promedio</b>	<b>4,36</b>	<b>1,70</b>	<b>1,25</b>	<b>3,21</b>	<b>1,43</b>	<b>1,86</b>	<b>3,31</b>	<b>1,48</b>	<b>2,59</b>	<b>1,91</b>	<b>1,31</b>

**Pregunta 2** ¿Qué siente en estos momentos?

4,36 Ni frio Ni calor - Algo de Calor

**Pregunta 3** ¿Qué opción define mejor su estado de animo?

1,70 Tranquilo - Alegre

**Pregunta 4** ¿Se encuentra Ud.?

1,25 Confortable - Ligeramente Inconfortable

**Pregunta 5** ¿En estos momentos que preferiría sentir...?

3,21 Un poco mas Frio - Ni mas Frio Ni mas Calor

**Pregunta 6** Según su opinión ¿Este ambiente es...?

1,43 Aceptable - Un poco dificil de soportar

**Tez**

1,86 Blanca - Morena

**Tipo de Usuario**

3,31 Definido Anexo H. 1.

**Sexo**

49% Hombres 51% Mujeres

**Edad**

25,91 Años

**Sudoración**

91% NO

**Dirección**

31% Vía 1 - 69% Vía 2

## 5.7. Presiones Atmosféricas

En la Tabla 5.7.1. se muestran los valores de la presión atmosférica expresados en kilo pascales (KPa), para los días especificados. Estos datos fueron suministrados por el Observatorio Cajigal.

Tabla 5.7.1. Presiones atmosféricas

		Fecha	P [mmHg.]		P [Kpa]	P [Kpa]	Día
			Max	Min			
Noviembre	Plaza Sucre	13	673,80	671,40	89,67	89,66	Nublado
		14	673,90	671,50	89,69		
		15	673,30	671,10	89,62		
		16	673,90	671,20	89,67		
	Agua Salud	20	675,60	673,30	89,92	89,91	Parcialmente Nublado
		21	676,00	673,00	89,93		
		22	675,80	673,00	89,91		
		23	675,80	672,80	89,90		
Diciembre	Colegio de Ingenieros	11	675,50	673,40	89,92	90,00	Despejado
		12	675,70	673,70	89,95		
		13	676,80	675,10	90,12		
		14	676,20	674,20	90,02		
	Chacaito	18	676,20	673,10	89,95	89,92	Soleado
		19	675,80	672,60	89,89		
		20	676,00	672,80	89,91		
		21	675,90	673,20	89,93		
	Chacao	26	675,20	672,30	89,83	89,85	Despejado
		27	675,40	672,50	89,85		
28		675,40	672,60	89,86			
Enero	Los Cortijos	2	677,70	674,90	90,17	90,05	Despejado
		3	676,90	673,50	90,02		
		4	676,30	673,50	89,98		

## 5.8. Temperaturas de Bulbo Seco

En la tabla 5.8.1. se presentan los valores de la temperatura ambiental (bulbo seco), para los días y horas especificadas. Esta información fue suministrada por el Observatorio Cajigal.

Tabla 5.8.1. Temperaturas ambientales de Bulbo Seco

	ta (°C)		
	9:00 a.m.	12:00 m.	4:00 p.m.
<b>NOV</b>			
13	19,7	20,2	20,0
14	21,1	23,1	20,7
15	19,9	20,8	19,5
16	19,8	22,9	21,9
20	21,4	24,7	23,8
21	21,0	23,8	21,5
22	22,0	25,0	21,0
23	21,9	23,0	24,9
<b>DIC</b>			
11	19,1	21,9	21,8
12	20,5	23,5	21,0
13	21,0	22,5	22,1
14	20,4	23,9	22,9
19	20,0	24,3	23,2
20	20,6	25,3	20,4
21	25,3	25,0	24,7
26	22,7	26,5	25,4
27	23,0	25,0	24,5
28	22,9	26,1	26,1
<b>ENE</b>			
2	19,6	24,2	23,9
3	18,1	23,8	21,9
4	19,8	24,3	21,1

### 5.9. Promedio de las Variables Ambientales Dentro de las Estaciones

A continuación se muestran los valores promedios obtenidos en las estaciones evaluadas de las siguientes variables:

Tabla 5.9. Promedio de las Variables Ambientales por Estación

Estaciones	Variables				
	Tbs (°C)	Tbh (°C)	% HR	V (m/s)	Tgb (°C)
<b>Plaza Sucre</b>	25,08	19,23	57,75	0,07	25,88
<b>Agua Salud</b>	24,50	18,72	57,91	0,44	27,93
<b>Colegio de Ingenieros</b>	26,49	18,25	44,70	0,07	28,50
<b>Chacaito</b>	26,61	18,95	48,26	0,05	27,29
<b>Chacao</b>	26,98	20,21	52,77	0,06	27,74
<b>Los Cortijos</b>	25,81	19,15	52,95	0,06	26,56

En el siguiente capítulo se especificará por turno y por estación la obtención de cada uno de estos valores promedio.

## 6.1. Cálculo de la Presión de Vapor

Para el cálculo de las presiones de vapor de agua se utilizó el programa de "Calculus of Termodinamics Properties" Michael A. Boles y Cengel Yunus. Dicho programa requiere que se le ingrese los valores de la presión atmosférica, la temperatura de bulbo seco del aire y la humedad relativa, para así obtener la presión de vapor en pascales (Pa). En la tabla 6.1.1. se muestran los valores de la presión de vapor de agua, calculados con los promedios de cada turno, para cada estación.

Tabla 6.1.1. Presiones de vapor de agua.

	<b>ta (°C)</b>	<b>% HR</b>	<b>P (KPa)</b>	<b>Pw (Pa)</b>
<b>PLAZA</b>	24,76	59,31	89,66	1857,0
	24,80	56,40		1770,1
	24,88	56,55		1781,7
	25,10	57,53		1838,1
	25,86	58,95		1970,5
<b>AGUA</b>	21,30	60,90	89,91	1546,3
	24,70	51,30		1600,4
	26,00	50,90		1715,6
	26,30	56,40		1935,0
	24,10	70,00		2106,7
<b>COLEGIO DE INGENIEROS</b>	23,70	52,70	90,00	1548,3
	26,00	45,40		1530,2
	27,20	42,00		1519,3
	27,50	40,60		1494,7
	28,00	42,80		1622,3
<b>CHACAITO</b>	25,40	53,40	89,92	1736,9
	26,10	49,60		1681,7
	26,90	48,00		1706,0
	26,90	44,90		1595,8
	27,70	45,50		1694,8
<b>CHACAO</b>	26,07	59,07	89,85	1999,2
	26,34	57,45		1975,7
	27,30	48,89		1778,9
	26,64	48,89		1814,6
	27,56	49,57		1831,3
<b>LOS CORTIJOS</b>	24,59	59,96	90,05	1858,3
	25,16	56,45		1810,1
	26,03	49,66		1676,1
	26,33	48,64		1671,7
	26,94	50,03		1782,4

## 6.2. Estación Plaza Sucre

Para el cálculo del PMV en todas las estaciones se realizó una iteración entre la ecuación del  $h_c$  y el  $t_{cl}$  en 13 operaciones, iniciando la iteración con un valor del  $t_{cl}$  de  $29.5^{\circ}\text{C}$ , este valor se halló con el método de aproximación de "Newton-Raphson".

### 6.2.1. Cálculo del PMV

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 3,41 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 30,11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.2.1. Promedio del PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV</b>
<b>Turno 1</b>	1,11
<b>Turno 2</b>	0,89
<b>Turno 3</b>	1,20
<b>Turno 4</b>	0,90
<b>Turno 5</b>	1,30
<b>Promedio</b>	<b>1,07</b>

Dando una desviación estándar de 0,1928 y un error de 0,24 %.

### 6.2.2. Cálculo del TGBH

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.2.2. TGBH por Turno

Turno	TGBH (°C)
Turno 1	25,90
Turno 2	26,12
Turno 3	26,27
Turno 4	26,22
Turno 5	27,74
<b>Promedio</b>	<b>26,45</b>

### 6.3. Estación Agua Salud

#### 6.3.1. Cálculo del PMV.

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 7,98 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 29,86 \text{ °C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.3.1. Promedio de PMV por Turno

Turno	PMV
Turno 1	1,32
Turno 2	1,02
Turno 3	0,90
Turno 4	-0,35
Turno 5	1,12
<b>Promedio</b>	<b>0,80</b>

Dando una desviación estándar de 0,7485 y un error de 0,4960 %.

### 6.3.2. Cálculo del TGBH.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.3.2. TGBH por Turno

<b>Turno</b>	<b>TGBH (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	22,17
<b>Turno 2</b>	27,00
<b>Turno 3</b>	28,57
<b>Turno 4</b>	30,05
<b>Turno 5</b>	26,47
<b>Promedio</b>	<b>26,86</b>

## 6.4. COLEGIO DE INGENIEROS

### 6.4.1. Cálculo del PMV

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 3,13 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 31,24 \text{ °C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.4.1. Promedio de PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV</b>
<b>Turno 1</b>	1,02
<b>Turno 2</b>	1,37
<b>Turno 3</b>	1,68
<b>Turno 4</b>	1,66
<b>Turno 5</b>	1,69
<b>Promedio</b>	<b>1,57</b>

Dando una desviación estándar de 0,165 y un error de 0,417 %.

#### 6.4.2. Cálculo del TGBH

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.4.2. TGBH por Turno

<b>Turno</b>	<b>TGBH (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	24,38
<b>Turno 2</b>	27,37
<b>Turno 3</b>	28,89
<b>Turno 4</b>	29,24
<b>Turno 5</b>	29,74
<b>Promedio</b>	<b>28,66</b>

### 6.5. Estación Chacaito

#### 6.5.1. Cálculo del PMV.

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 2,72 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 30,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.5.1. Promedio de PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV</b>
<b>Turno 1</b>	1,21
<b>Turno 2</b>	1,21
<b>Turno 3</b>	1,45
<b>Turno 4</b>	1,39
<b>Turno 5</b>	1,65
<b>Promedio</b>	<b>1,37</b>

Dando una desviación estándar de 0,178 y un error de 0,199 %.

#### 6.5.2. Cálculo del TGBH.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.5.1. Promedio de PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>TGBH (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	26,36
<b>Turno 2</b>	27,16
<b>Turno 3</b>	28,10
<b>Turno 4</b>	28,09
<b>Turno 5</b>	29,30
<b>Promedio</b>	<b>27,77</b>

## 6.6. Estación Chacao

### 6.6.1. Cálculo del PMV.

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 2,89 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 30,95 \text{ }^\circ\text{C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.6.1. Promedio de PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV</b>
<b>Turno 1</b>	1,39
<b>Turno 2</b>	1,33
<b>Turno 3</b>	1,43
<b>Turno 4</b>	1,57
<b>Turno 5</b>	1,63
<b>Promedio</b>	<b>1,49</b>

Dando una desviación estándar de 0,127 y un error de 0,169 %.

### 6.6.2. Cálculo del TGBH.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.6.2. TGBH por Turno

<b>Turno</b>	<b>TGBH (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	28,15
<b>Turno 2</b>	28,57
<b>Turno 3</b>	29,61
<b>Turno 4</b>	29,64
<b>Turno 5</b>	29,67
<b>Promedio</b>	<b>29,27</b>

## 6.7. Estación Los Cortijos

### 6.7.1. Cálculo del PMV.

Los valores promedios obtenidos para calcular el PMV fueron los siguientes:

$$h_c = 3,10 \text{ y}$$

$$t_{cl} = 30,29 \text{ °C}$$

Los resultados del PMV por turno se muestran a continuación:

Tabla 6.7.1. Promedio de PMV por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV</b>
<b>Turno 1</b>	1,12
<b>Turno 2</b>	1,01
<b>Turno 3</b>	1,25
<b>Turno 4</b>	1,27
<b>Turno 5</b>	1,47
<b>Promedio</b>	<b>1,23</b>

Dando una desviación estándar de 0,191 y un error de 0,120 %.

### 6.7.2. Cálculo del TGBH.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la temperatura de globo y bulbo húmedo por turno:

Tabla 6.7.2. TGBH por Turno

<b>Turno</b>	<b>TGBH (°C)</b>
<b>Turno 1</b>	25,89
<b>Turno 2</b>	26,65
<b>Turno 3</b>	26,86
<b>Turno 4</b>	27,54
<b>Turno 5</b>	28,72
<b>Promedio</b>	<b>27,25</b>

### 6.8. Modificación del PMV

El PMV fue instituido a partir de la sensación térmica, vestimenta y actividad de un grupo de personas que se encontraban en las oficinas de un edificio. Por ello el modelo de Fanger se cumple estrictamente bajo estas condiciones.

Para entender como se obtiene este índice, se muestra a continuación el significado de cada término en la ecuación de Fanger:

$$\begin{aligned}
 \text{PMV} = & (0.303 e^{-0.036m} + 0.028) \{ (m-W) - 3.05 \\
 & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 (m-W) - p_a] - 0.42 \\
 & \times [(m-W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\
 & - 0.001 \times 4 m (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\
 & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}
 \end{aligned}$$

En donde:

Coefficiente de sensación térmica.

Generación interna de calor o calor metabólico.

Pérdida o ganancia de calor (Perspiración).

Pérdida o ganancia de calor por sudoración.

Pérdida o ganancia de calor latente en la respiración.

Pérdida o ganancia de calor por convección sensible en la respiración.

Pérdida o ganancia de calor por radiación.

Pérdida o ganancia de calor por convección.

Con el fin de modificar el PMV obtenido, para así adaptarlo a la escala psico-fisiológica de sensación térmica de la ASHRAE, se dividió la ecuación del PMV en dos partes, la primera parte continúa siendo el coeficiente de sensación térmica y la segunda parte sería el incremento de la energía del cuerpo.

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0.303 e^{-0.036m} + 0.028) \{ (m-W) - 3.05 \\ & \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 (m-W) - p_a] - 0.42 \\ & \times [(m-W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) \\ & - 0.001 \times 4 m (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & \times [ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4 ] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \end{aligned}$$

En donde:

Coeficiente de sensación térmica.

Incremento de la energía del cuerpo.

De Barrosa y Ucrós (1999), se sugiere modificar el coeficiente de sensación térmica, por ser este el término que se encarga de adaptar el término del incremento de la energía del cuerpo a la escala psicofisiológica de sensación térmica de la ASHRAE.

El método utilizado para realizar la modificación del coeficiente de sensación térmica fue el método de aproximación por mínimos cuadrados. Para ello se lleva el coeficiente de sensación térmica a una recta realizando el siguiente cambio de variable:  $X = e^{-0.036m}$ , por lo que el coeficiente de sensación térmica vendría dado por:

$$Y_i = a \times X_i + b$$

Donde:

$$a = \frac{n \times \sum Y_i \times X_i - \sum X_i \times \sum Y_i}{n \times \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum X_i^2 \times \sum Y_i - \sum X_i \times Y_i \times \sum X_i}{n \times \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

n: número de encuestados.

$$X_i = e^{-0.036m}$$

Las tasas de metabolismo utilizadas fueron dos, una para las “Horas Pico” y otra para las “Horas Valle”, siendo estas las siguientes:

Tabla 6.8. Tasas Metabólicas Seleccionadas en Función de la Actividad Física

Actividad	m (W/m <sup>2</sup> )
De pie, actividad ligera (de compras, laboratorio, industria ligera)	93
Caminando a 2 km/h	110

$$Y_i = \frac{PTS}{A}$$

en donde:

PTS: Sensación térmica percibida por los usuarios (respuesta a la pregunta #2 de la encuesta.

A: Incremento de la energía del cuerpo, obtenida en cada estación según el día y el turno en el que fueron realizadas las encuestas.

#### 6.8.1. PMV modificado para la estación Plaza Sucre.

Donde:

$$\sum Y_i = -2,177 \quad \sum X_i = 8,982 \quad \sum X_i^2 = 0,234 \quad \sum X_i * Y_i = -0,041$$

y

$$a = 0,870 \quad b = -0,027$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.1. Promedio del PMV modificado por Turno

Turno	PMV modificado
Turno 1	-0,35
Turno 2	0,00
Turno 3	-0,38
Turno 4	0,01
Turno 5	-0,40
<b>Promedio</b>	<b>-0,21</b>

## 6.8.2. PMV modificado para la estación Agua Salud.

Donde:

$$\sum Y_i = -8,078 \quad \sum X_i = 9,694 \quad \sum X_i^2 = 0,248 \quad \sum X_i * Y_i = -0,156$$

y

$$a = 2,539 \quad b = -0,081$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.2. Promedio del PMV modificado por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Turno 1</b>	-1,28
<b>Turno 2</b>	-0,03
<b>Turno 3</b>	-0,87
<b>Turno 4</b>	0,01
<b>Turno 5</b>	-1,09
<b>Promedio</b>	<b>-0,62</b>

## 6.8.3. PMV modificado para la estación Colegio de Ingenieros.

Donde:

$$\sum Y_i = -0,103 \quad \sum X_i = 6,044 \quad \sum X_i^2 = 0,160 \quad \sum X_i * Y_i = -0,003$$

y

$$a = 0,016 \quad b = 0,544$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.3. Promedio del PMV modificado por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Turno 1</b>	0,485
<b>Turno 2</b>	0,581
<b>Turno 3</b>	0,799
<b>Turno 4</b>	0,705
<b>Turno 5</b>	0,807
<b>Promedio</b>	<b>0,713</b>

6.8.4. PMV modificado para la estación Chacaito.

Donde:

$$\sum Y_i = 0,127 \quad \sum X_i = 7,245 \quad \sum X_i^2 = 0,211 \quad \sum X_i * Y_i = 0,019$$

y

$$a = 0,886 \quad b = -0,023$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.4. Promedio del PMV modificado por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Turno 1</b>	-0,22
<b>Turno 2</b>	0,25
<b>Turno 3</b>	-0,27
<b>Turno 4</b>	0,29
<b>Turno 5</b>	-0,31
<b>Promedio</b>	<b>-0,011</b>

## 6.8.5. PMV modificado para la estación Chacao.

Donde:

$$\sum Y_i = 8,218 \quad \sum X_i = 9,129 \quad \sum X_i^2 = 0,265 \quad \sum X_i * Y_i = 0,230$$

y

$$a = 0,531 \quad b = 0,010$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.5. Promedio del PMV modificado por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Turno 1</b>	0,82
<b>Turno 2</b>	0,98
<b>Turno 3</b>	0,85
<b>Turno 4</b>	1,16
<b>Turno 5</b>	0,96
<b>Promedio</b>	<b>0,977</b>

## 6.8.6. PMV modificado para la estación Los Cortijos.

Donde:

$$\sum Y_i = 2,650 \quad \sum X_i = 5,780 \quad \sum X_i^2 = 0,164 \quad \sum X_i * Y_i = 0,000$$

y

$$a = 0,457 \quad b = 0,000$$

En la siguiente tabla se muestran los valores por turno del PMV modificado:

Tabla 6.8.6. Promedio del PMV modificado por Turno

<b>Turno</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Turno 1</b>	0,29
<b>Turno 2</b>	0,42
<b>Turno 3</b>	0,32
<b>Turno 4</b>	0,53
<b>Turno 5</b>	0,38
<b>Promedio</b>	<b>0,39</b>

**CAPÍTULO VII**  
**PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las diferentes variables medidas tanto orales, visuales y medio ambientales en cada una de las estaciones evaluadas.

### 7.1. Plaza Sucre

Tabla 7.1.1. PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo Percepción Térmica	Sexo	
	Masculino	Femenino
Mucho Frio	0	3
Frio	29	37
Algo de Frio	30	36
Ni Frio Ni Calor	78	64
Algo de Calor	22	25
Calor	18	23
Mucho Calor	1	1

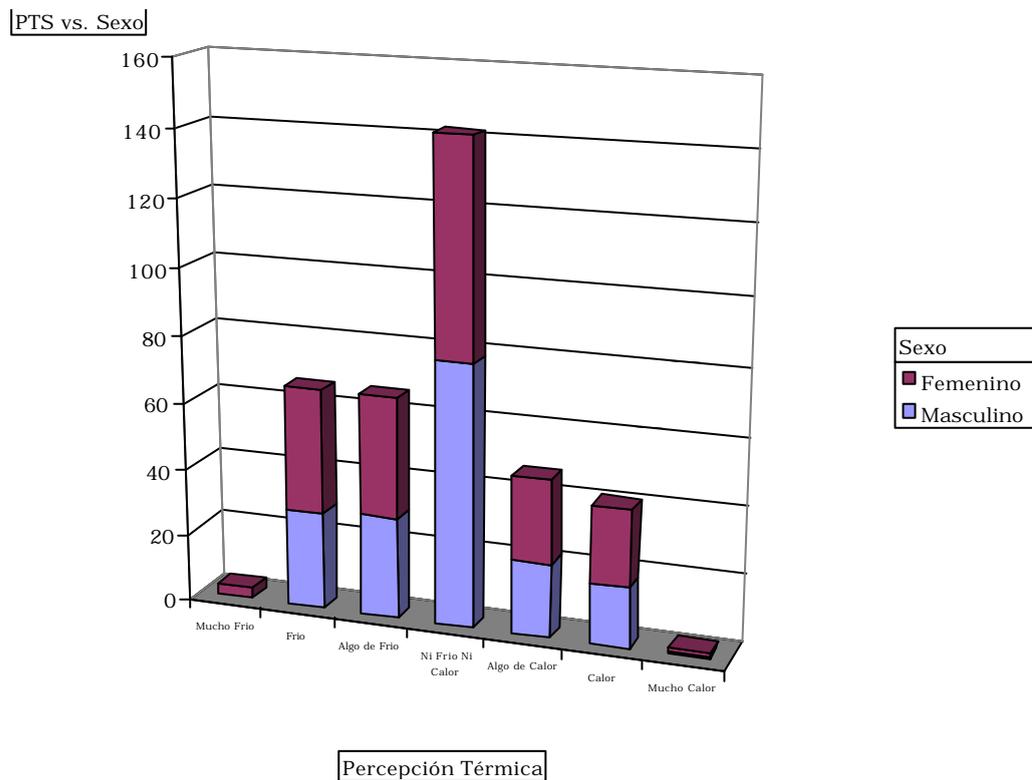


Figura 7.1.1 PTS vs. Sexo

Tabla 7.1.2. Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
10 a 20 años	13	11
20 a 30 años	106	134
30 a 40 años	39	31
40 a 50 años	15	10
50 a 60 años	4	3
60 a 70 años	1	0

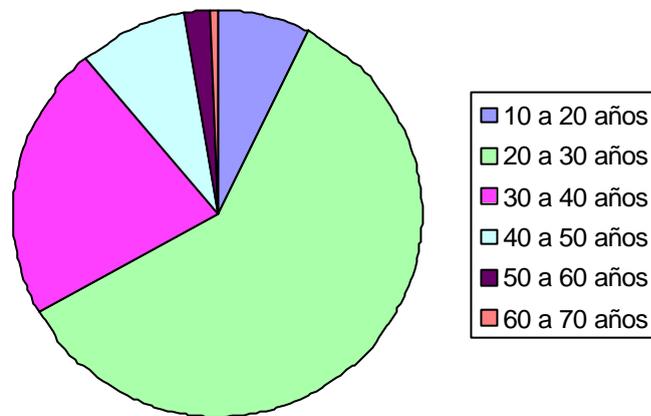


Figura 7.1.2. Edades Por Sexo

Tabla 7.1.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud...?			
	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
¿Este ambiente es?				
Aceptable	250	26	9	5
Un Poco Dificil de Soportar	45	21	2	2
Bastante Dificil de Soportar	1	0	0	0
Muy Dificil de Soportar	2	1	0	0
Insoportable	1	1	1	0

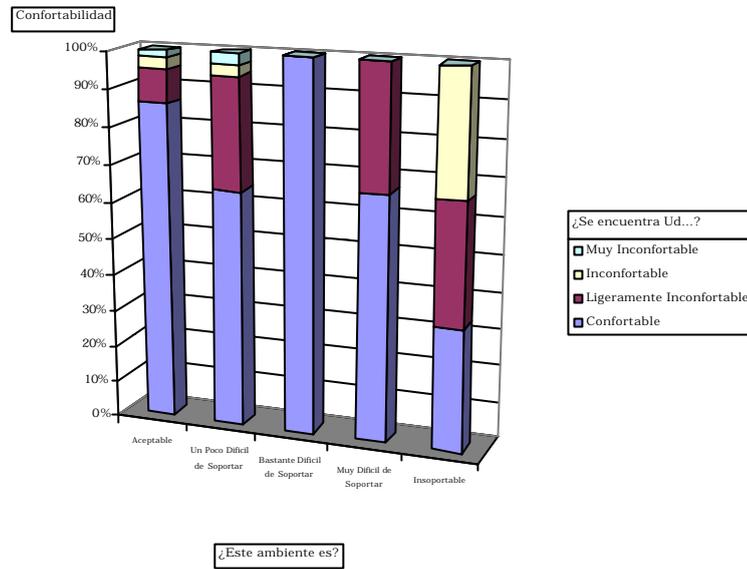


Figura 7.1.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.1.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Tipo de Usuario	Dirección	
	Via 1	Via 2
PMV		
Tipo 2	5	20
Tipo 3	47	175
Tipo 4	20	73
Tipo 5	9	18

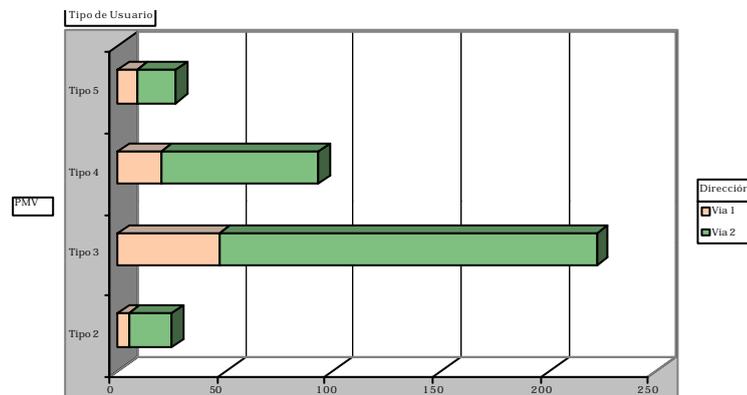


Figura 7.1.4. Tipos de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.1.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Piel	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
<b>Pregunta 5</b>			
Mucho Mas Frio	3	6	2
Mas Frio	10	69	4
Un Poco Mas Frio	16	80	4
NI Mas Frio Ni Mas Calor	21	98	4
Un Poco Mas Calor	4	32	4
Mas Calor	3	6	0
Mucho Mas Calor	0	1	0

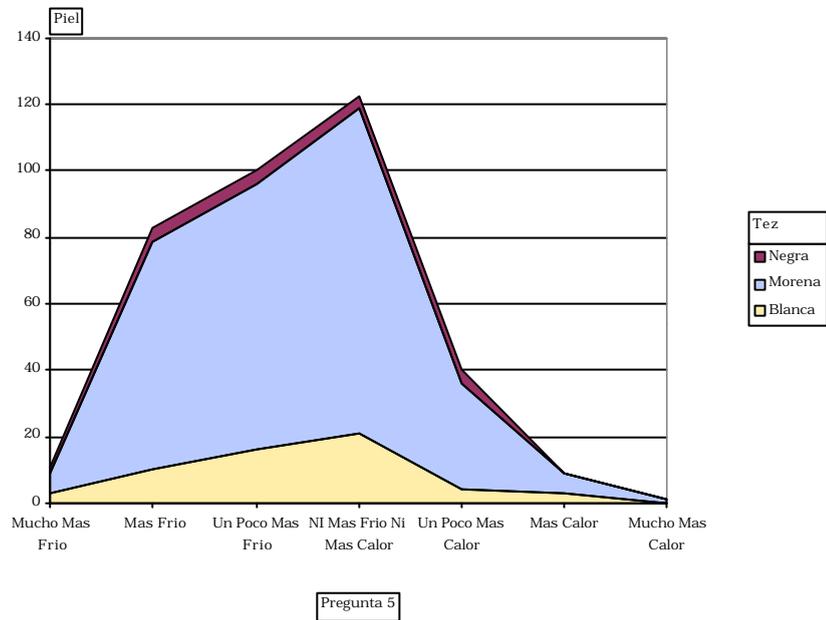


Figura 7.1.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.1.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Contar de Pregunta 3 Preferencia Térmica	Animo				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Mucho Mas Frio	7	3	0	0	1
Mas Frio	46	24	8	3	2
Un Poco Mas Frio	62	17	14	4	3
Ni Mas Frio Ni Mas Calor	64	30	15	6	8
Un Poco Mas Calor	24	12	2	1	1
Mas Calor	2	3	1	2	1
Mucho Mas Calor	1	0	0	0	0

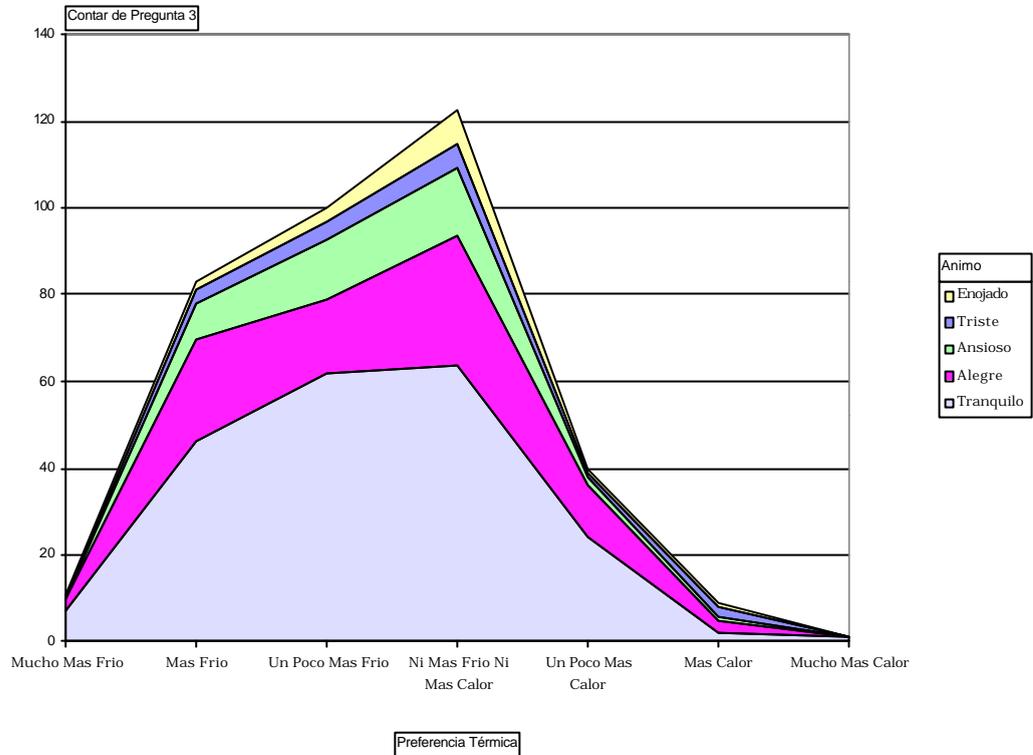


Figura 7.1.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.1.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,11	-0,35
<b>Turno 2</b>	0,89	0,00
<b>Turno 3</b>	1,20	-0,38
<b>Turno 4</b>	0,90	0,01
<b>Turno 5</b>	1,30	-0,40
	<b>1,07</b>	<b>-0,21</b>

**Desviación Estandart**                      **0,1928**  
**Error**                                              **0,2414%**

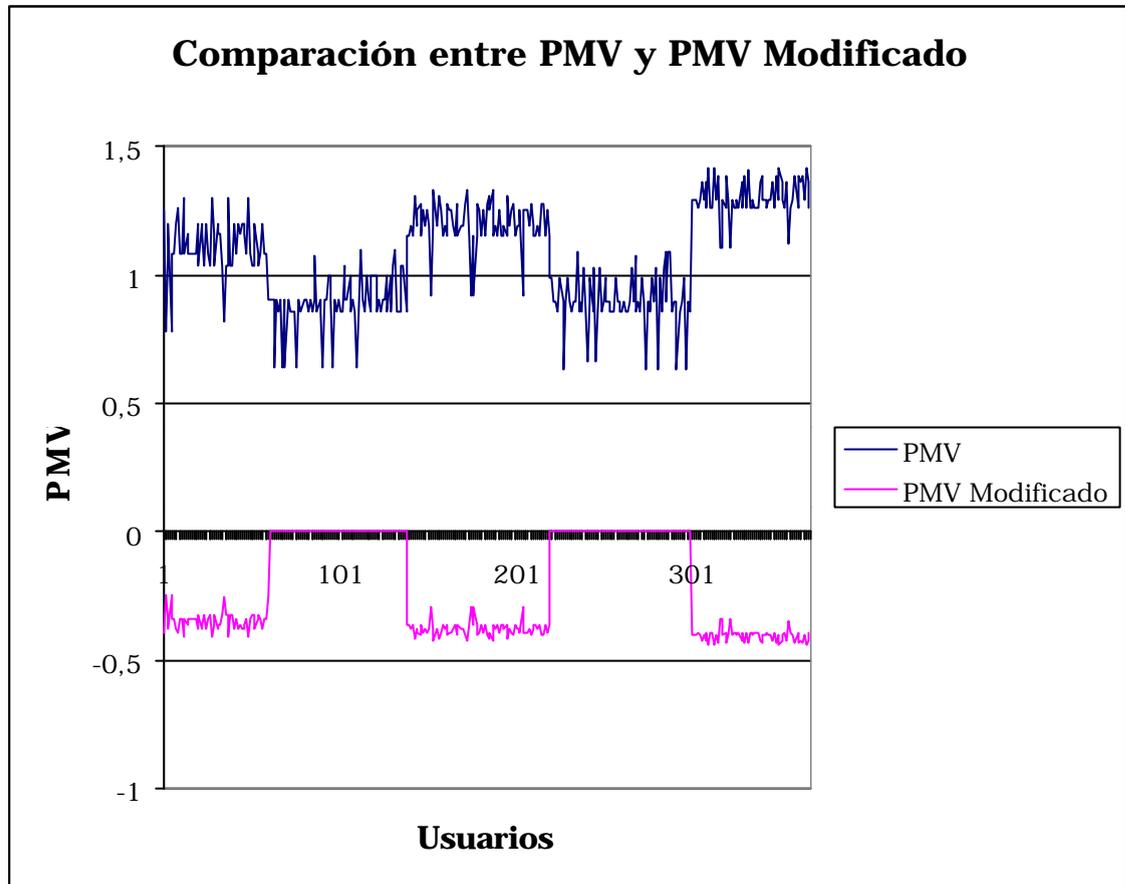


Gráfico 7.1.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.1.1. Análisis de Resultados de la estación Plaza Sucre

- De la Figura 7.1.1. obtenemos que el 51.5% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 48.5% restante fueron hombres. En esta figura se observa una diferencia apenas apreciable de la percepción térmica respecto al sexo.

- Se observa que en la Figura 7.1.2. que la muestra de los usuarios encuestados se presentó en un 6.5% en el rango de edad de 10 a 20 años, 65.4% de 20 a 30 años, 19.1% de 30 a 40 años, 6.8% de 40 a 50 años, 1.9% de 50 a 60 años y menos del 1% (0.3%) de 60 a 70 años.
- La Figura 7.1.3. se obtiene que el 68.1% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un grado de incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.
- De la Figura 7.1.4. los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0% Tipo 1, 6.8% Tipo 2, 60.5% Tipo 3, 25.3% Tipo 4 y un 7.4% Tipo 5, presentándose un 77.9% de la movilización en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde) y el otro 22% se movilizó en dirección Vía 1 (dirección Propatria), esto debido a que al ser esta estación una de las estaciones mas al oeste de la ciudad de Caracas, el resto de las estaciones de la Línea 1 quedan en dirección Vía 2.
- La Figura 7.1.5. no presenta una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados dependiendo de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según su tipo de tez fue la siguiente; 15.5% tez blanca, 79.6% tez morena y 4.9% tez negra.
- Se observó de la Figura 7.1.6. que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica

percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.

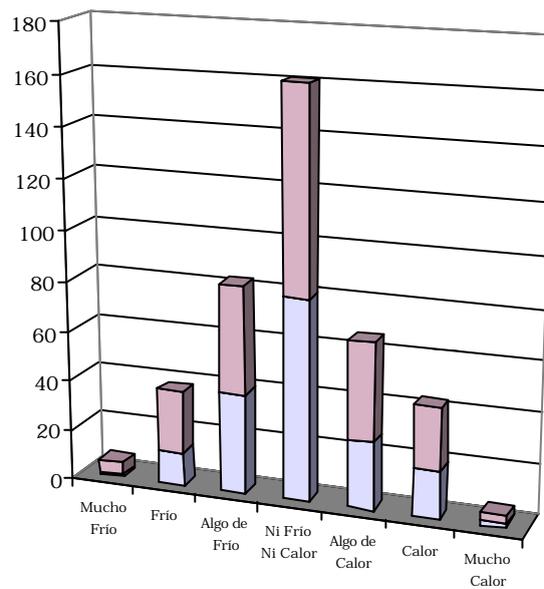
- De la Figura 7.1.7. se observa la tendencia al confort tanto del PMV como del PMV modificado en las hora valle, tomando en consideración que en estos horarios los usuarios no se encuentran tan ajustados a un horario como en la horas pico, se puede analizar que bajo un estado de “presión” (p.e. llegar temprano al trabajo, universidad, a comer, etc.) el metabolismo de los usuarios se hace mas sensible a los cambios de temperatura.
- De la Tabla 7.1.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 1.07, considerando este valor como fuera del confort, teniendo presente la sensación térmica percibida en un rango mucho menor, se calculó el PMV modificado dando un valor de  $-0.21$ , una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 0.86 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela una leve tendencia al frío en dicha estación, comparando los valores obtenidos con la carta de confort del ASHRAE (ver Anexo J.1.) se obtuvo que menos el 84% de los usuarios se encontraban confortables en la estación, tomando en cuenta que los días en los cuales se realizó el estudio de esta estación el estado del tiempo estaba entre nublado y lluvioso, exponiendo al usuario a un mayor gasto energético y trabajo metabólico (para mantener su temperatura), se considera la estación Plaza Sucre como térmicamente confortable.
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de  $26,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , encontrándose este por debajo de los límites permisibles de exposición al calor.

7.2. Agua Salud

Tabla 7.2.1. PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
Mucho Frío	1	5
Frío	13	25
Algo de Frío	40	43
Ni Frío Ni Calor	80	81
Algo de Calor	27	39
Calor	19	25
Mucho Calor	2	3

PTS vs. Sexo



Sexo  
 Femenino  
 Masculino

Percepción Térmica

Figura 7.2.1. PTS vs. Sexo

Tabla 7.2.2. Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
10 a 20 años	14	23
20 a 30 años	89	129
30 a 40 años	44	41
40 a 50 años	26	18
50 a 60 años	6	8
60 a 70 años	3	2

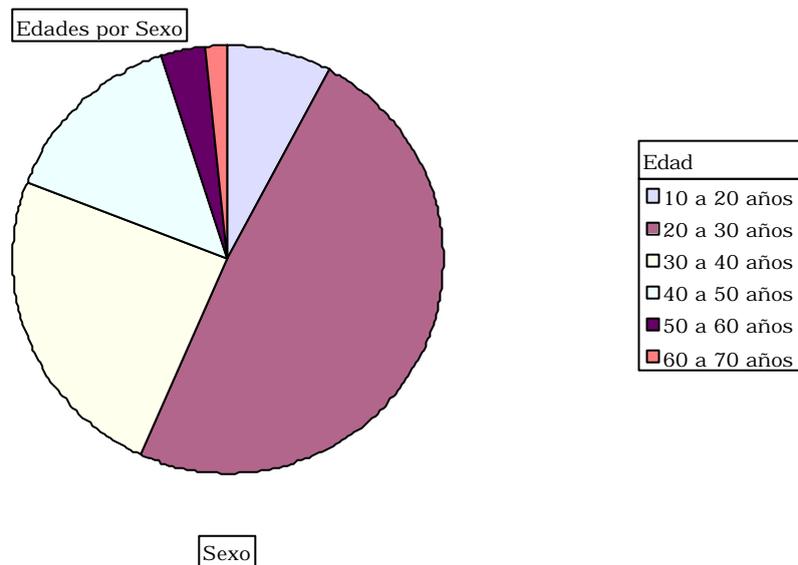
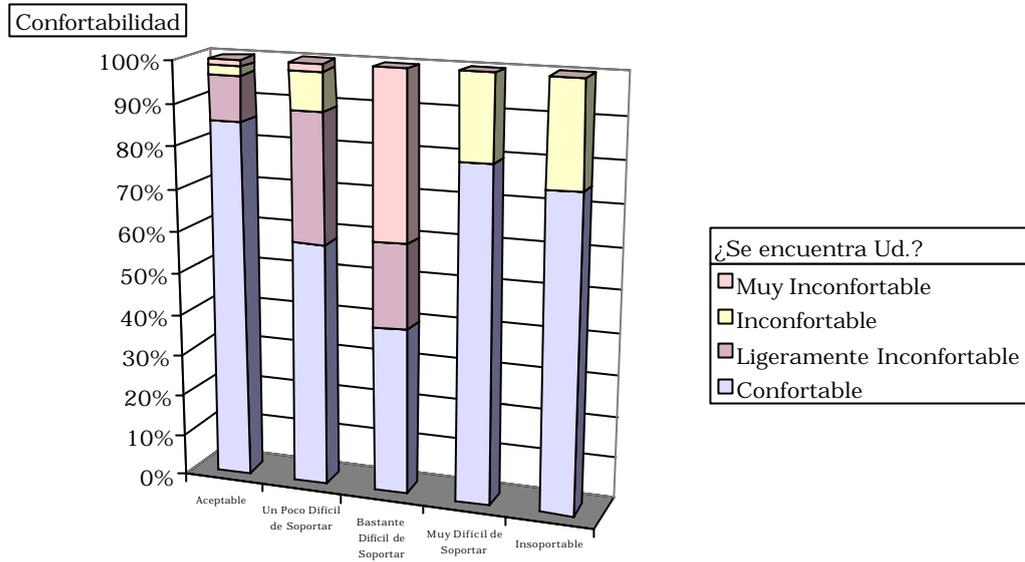


Figura 7.2.2. Edades por Sexo

Tabla 7.2.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud.?			
	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
¿Este Ambiente es?				
Aceptable	286	36	7	5
Un Poco Difícil de Soportar	32	17	5	1
Bastante Difícil de Soportar	2	1	0	2
Muy Difícil de Soportar	4	0	1	0
Insoportable	3	0	1	0



¿Este Ambiente es?

Figura 7.2.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.2.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Contar de PMV	Dirección	
	Vía 1	Vía 2
PMV		
Tipo 1	0	1
Tipo 2	1	29
Tipo 3	28	230
Tipo 4	5	90
Tipo 5	3	16

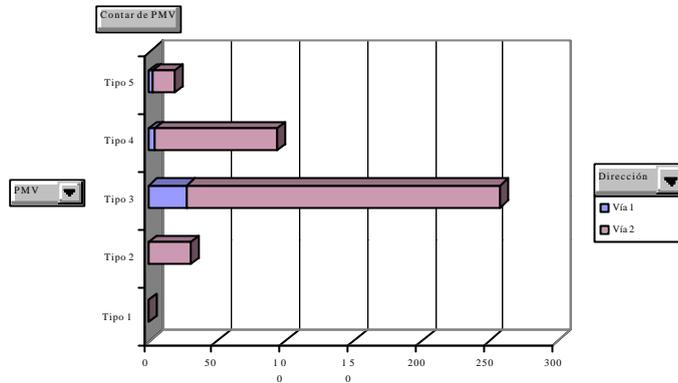


Figura 7.2.4. Tipos de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.1.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
Pregunta 5			
Mucho Mas Frío	0	4	0
Mas Frío	3	54	4
Un Poco Mas Frío	21	105	4
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	31	126	2
Un Poco Mas Calor	8	31	4
Mas Calor	0	5	0
Mucho Mas Calor	0	1	0

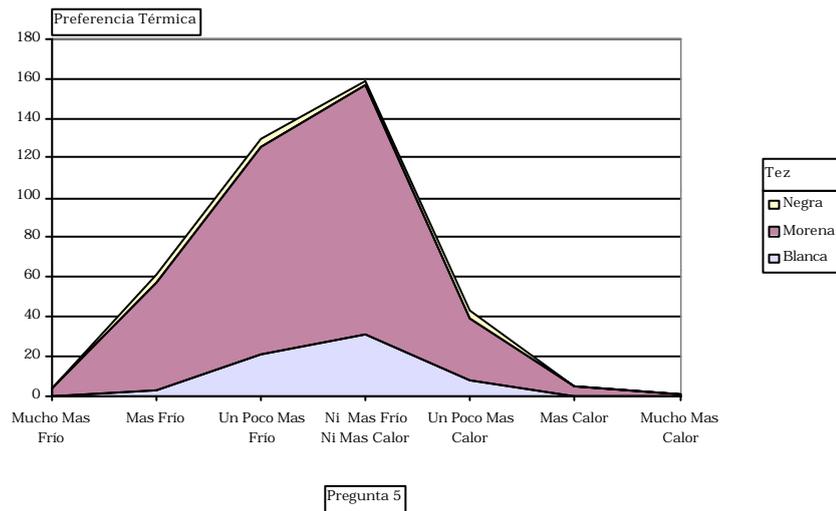


Figura 7.2.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.2.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Preferencia Térmica	Estado Anímico				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Pregunta 5					
Mucho Mas Frio	2	2	0	0	0
Mas Frio	40	8	8	2	3
UN Poco de Mas Frío	113	27	12	4	3
Ni mas Frío Ni Mas Calor	92	17	8	7	6
Un Poco de Mas Calor	26	9	5	1	2
Mas Calor	3	2	0	0	0
Mucho Mas Calor	0	1	0	0	0

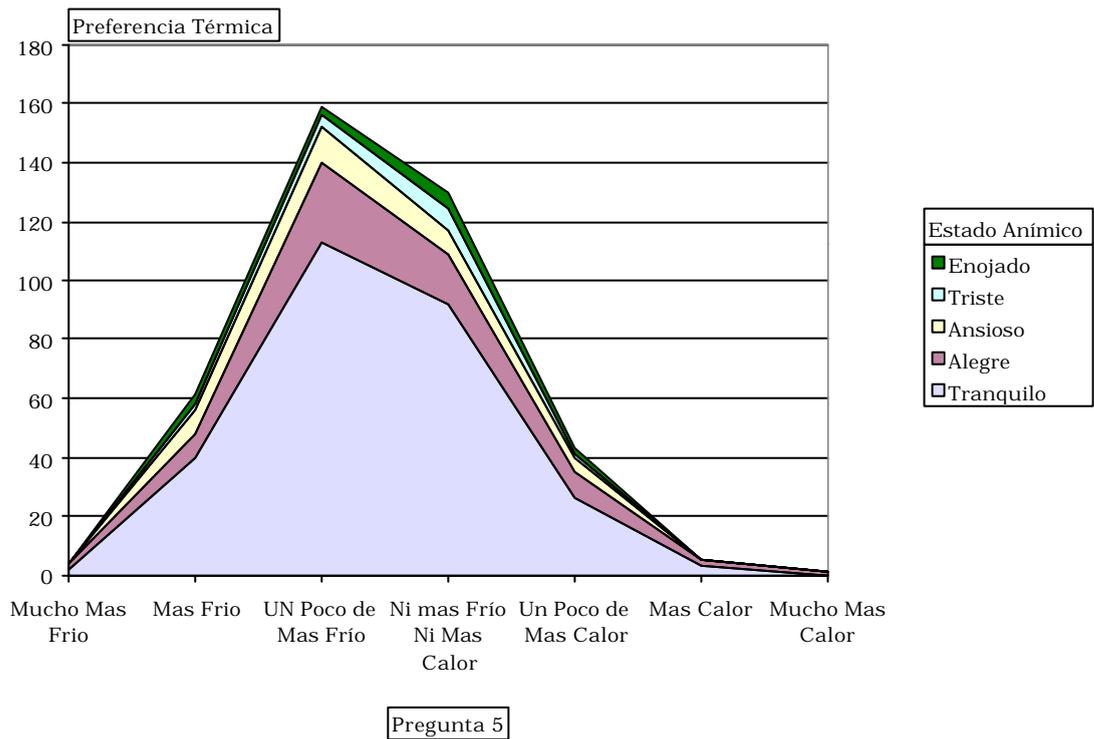


Figura 7.2.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.2.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,32	-1,28
<b>Turno 2</b>	1,02	-0,03
<b>Turno 3</b>	0,90	-0,87
<b>Turno 4</b>	-0,35	0,01
<b>Turno 5</b>	1,12	-1,09
	<b>0,80</b>	<b>-0,62</b>

Desviación Estandart Error      2,1486  
49,6034%

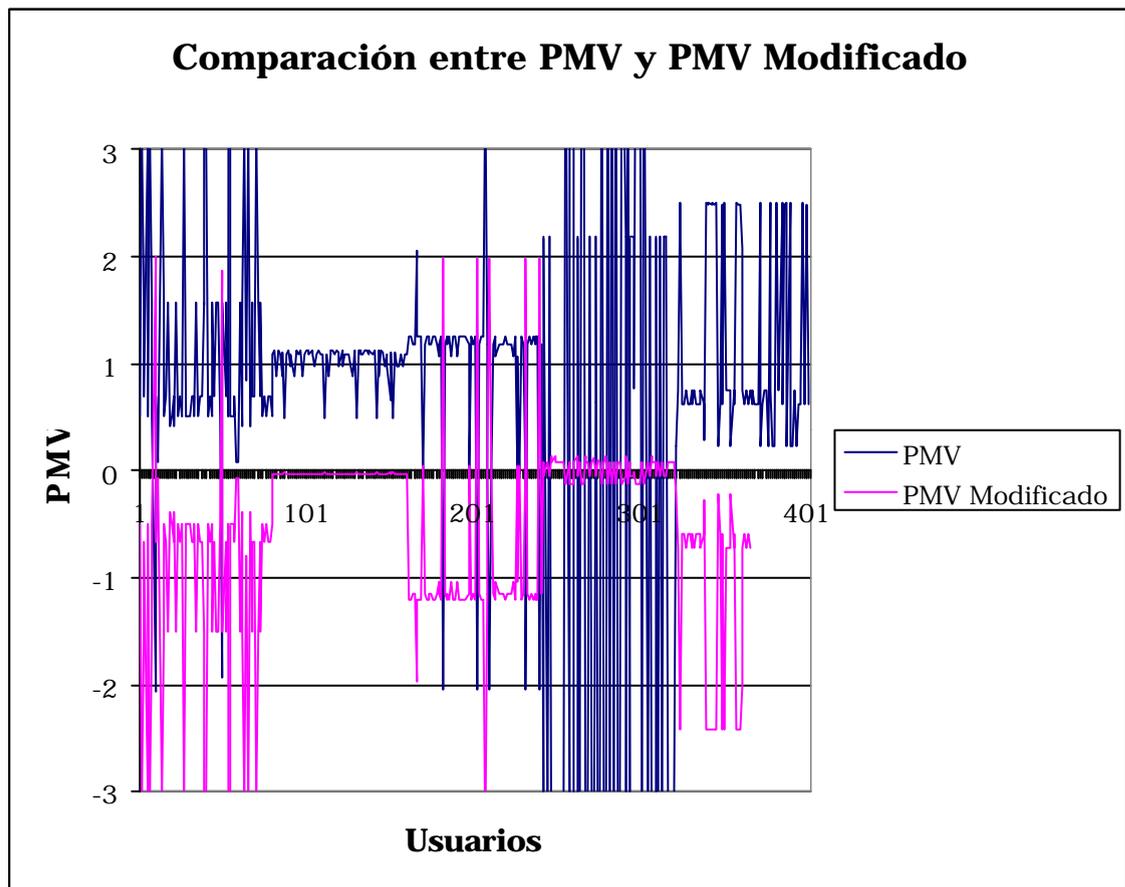


Figura 7.2.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.2.1. Análisis de Resultado Estación Agua Salud

- De la Figura 7.2.1. obtenemos que el 54.8% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 45.2% restante fueron hombres. En esta figura se observa que no hay una diferencia apreciable de la percepción térmica respecto al sexo.
- Se observa en la Figura 7.2.2. que la muestra de los usuarios encuestados se presentó en un 9.2% en el rango de edad de 10 a 20 años, 54.1% de 20 a 30 años, 21.1% de 30 a 40 años, 10.9% de 40 a 50 años, 3.5% de 50 a 60 años y 1.2% de 60 a 70 años.
- Observando la Figura 7.2.3. se pudo obtener que el 70.9% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un grado de incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.
- De la Figura 7.2.4. los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0.2% Tipo 1, 7.4% Tipo 2, 64% Tipo 3, 23.6% Tipo 4 y un 4.7% Tipo 5, presentándose un 90.8% de la movilización en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde) y el otro 9.2% se movilizó en dirección Vía 1 (dirección Propatria), esto debido a que al ser esta estación una de las estaciones mas al oeste de la ciudad de Caracas, el resto de las estaciones de la Línea 1 quedan en dirección Vía 2.

- En la Figura 7.2.5. no se observa una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados en función de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según su tipo de tez fue la siguiente; 15.6% tez blanca, 80.9% tez morena y 3.5% tez negra.
  
- De la Figura 7.2.6. se observó que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.
  
- En la Figura 7.2.7. no se observa convergencia de los valores PMV ni del PMV modificado, ver siguiente punto.
  
- De la Tabla 7.2.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 0.8, al igual que con la primera estación se calculó el PMV modificado dando un valor de -0.62, una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 1,42 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela una leve tendencia al frío en dicha estación, tomando en cuenta que los días en los cuales se realizó el estudio de esta estación el estado del tiempo estaba entre nublado y soleado, exponiendo al usuario a un mayor gasto energético y trabajo metabólico (para mantener su temperatura), se considera la estación Agua Salud como térmicamente comfortable. Adicionalmente se tiene una desviación estándar de 2.15, con un error de 49.6%, esto debido a que los valores del PMV y PMV modificado para cada turno oscilaron de manera significativa, recordemos que el método de Fanger se diseñó para recintos cerrados y esta estación es abierta.

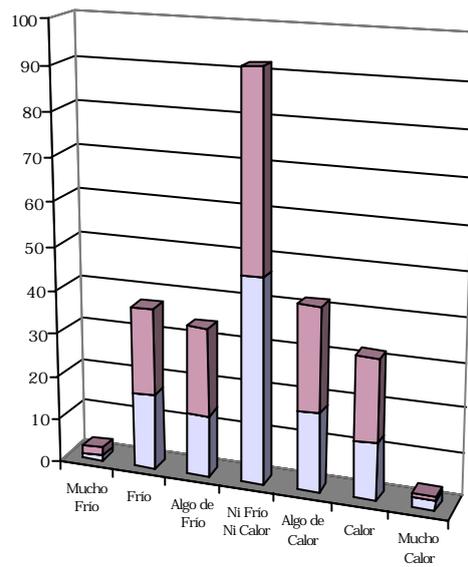
- De la carta de confort del ASHRAE se obtuvo que la estación Agua Salud es confortable en un 96 %.
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de 26,86 °C, encontrándose este por debajo de los límites permisibles de exposición al calor.

### 7.3. Estación Colegio de Ingenieros

Tabla 7.3.1 PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
Mucho Frío	1	2
Frío	17	20
Algo de Frío	14	20
Ni Frío Ni Calor	47	45
Algo de Calor	18	24
Calor	13	19
Mucho Calor	2	1

PTS vs. Sexo



Sexo  
 ■ Femenino  
 ■ Masculino

Percepción Térmica

Gráfica 7.3.1 PTS vs. Sexo

Tabla 7.3.2 Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Edad	Masculino
10 a 20 años	5	8
20 a 30 años	60	72
30 a 40 años	33	33
40 a 50 años	11	12
50 a 60 años	3	6

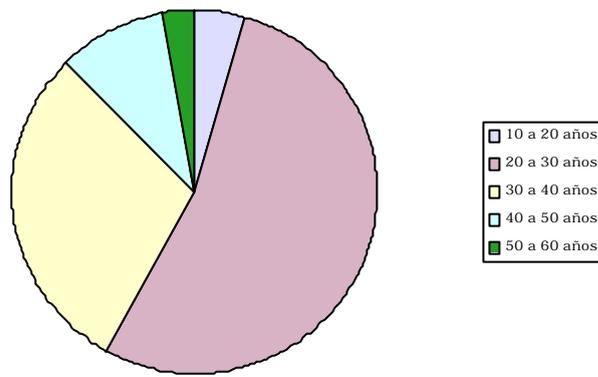


Figura 7.3.2. Edades por Sexo

Tabla 7.3.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud.?			
	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
¿Este Ambiente es?				
Aceptable	157	30	9	1
Un Poco Dificil de Soportar	23	14	3	0
Bastante Dificil de Soportar	1	1	1	0
Insoportable	1	1	0	0

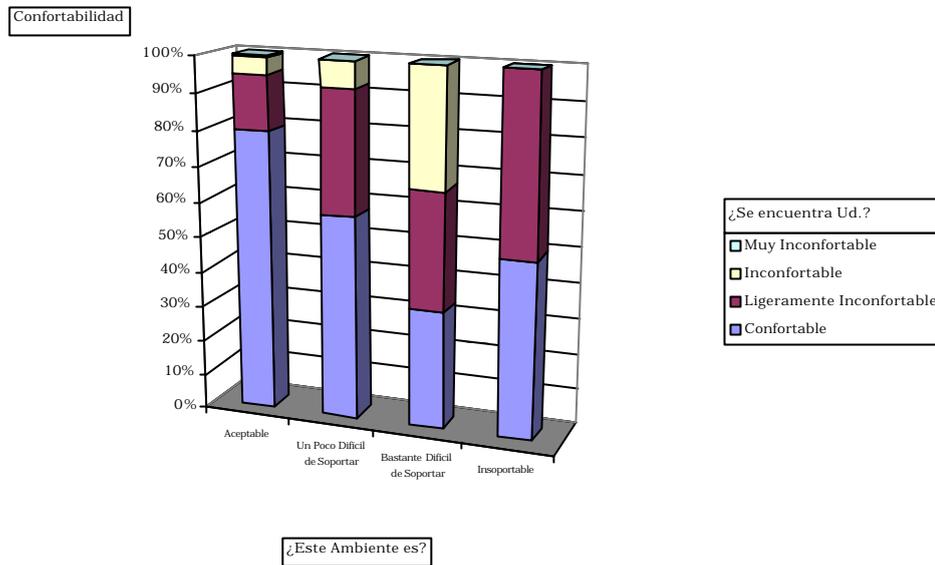


Figura 7.3.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.3.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Contar de PMV	Dirección	
	Vía 1	Vía 2
Tipo 2	6	2
Tipo 3	87	83
Tipo 4	28	22
Tipo 5	10	5

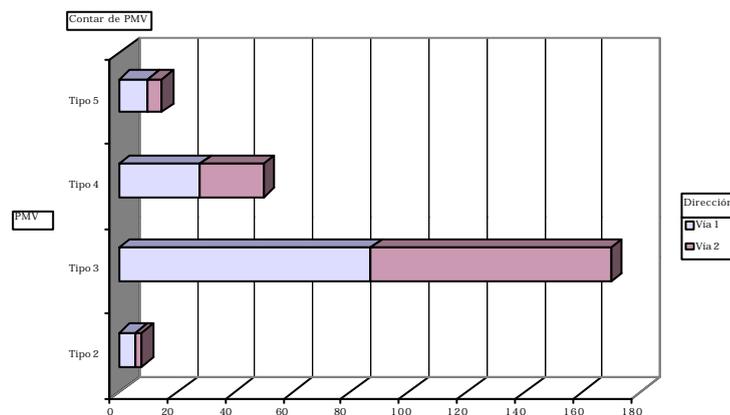


Figura 7.3.4. Tipos de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.3.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
Pregunta 5			
Mucho Mas Frío	0	4	1
Mas Frío	8	33	4
Un Poco Mas Frío	15	56	4
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	12	64	6
Un Poco Mas Calor	5	23	2
Mas Calor	2	1	0
Mucho Mas Calor	0	1	0

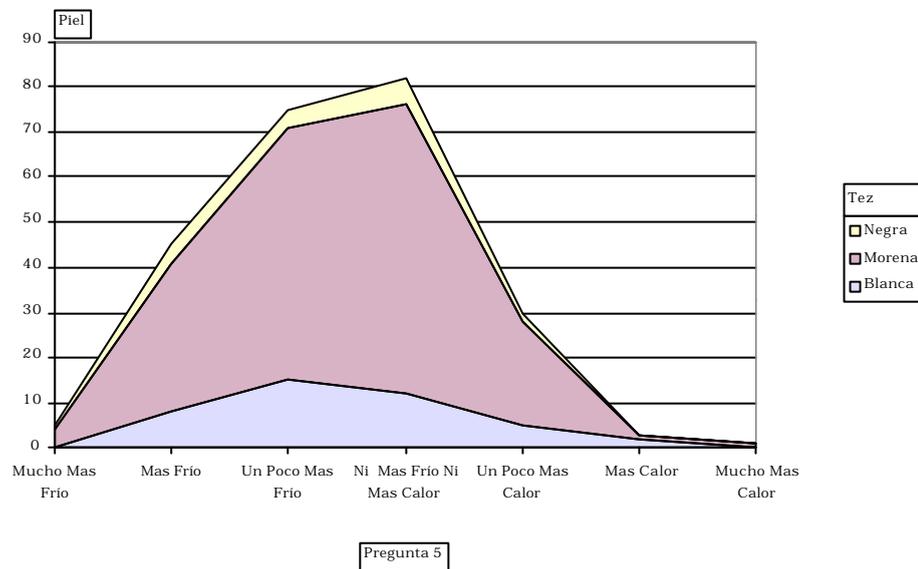


Figura 7.3.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.3.6. Preferencia térmica vs. Estado Anímico

Preferencia Térmica	Estado Anímico				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Pregunta 5					
Mucho Mas Frío	5	1	1	0	0
Mas Frío	24	8	5	0	8
UN Poco de Mas Frío	51	17	7	5	2
Ni mas Frío Ni Mas Calor	51	8	8	1	7
Un Poco de Mas Calor	19	6	4	1	0
Mas Calor	3	0	0	0	0
Mucho Mas Calor	1	0	0	0	0

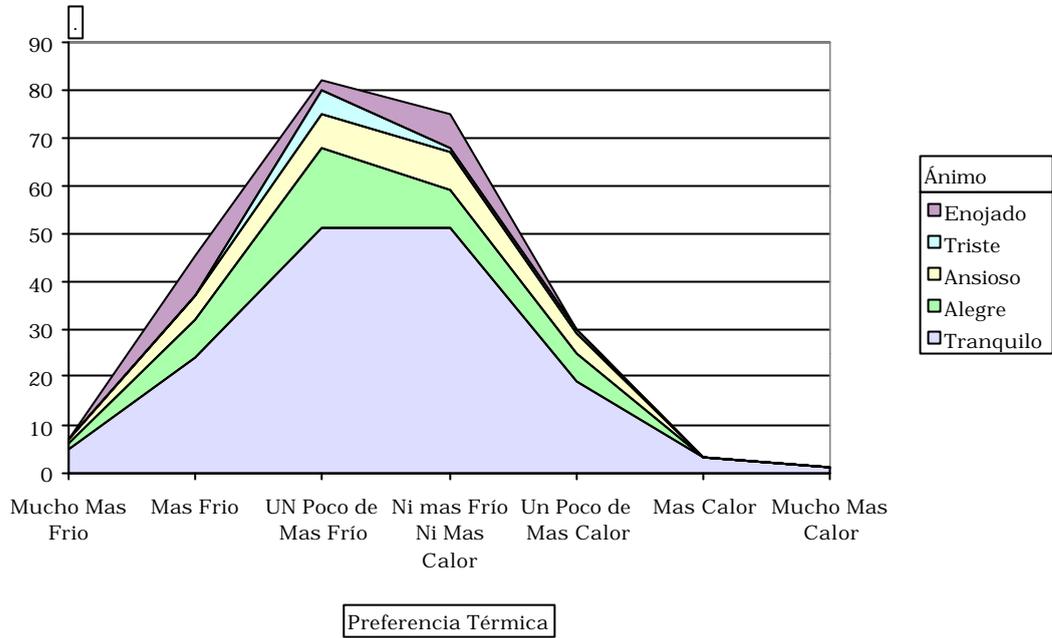


Figura 7.3.6. Preferencia térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.3.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,017	-0,016
<b>Turno 2</b>	1,365	-0,019
<b>Turno 3</b>	1,676	-0,026
<b>Turno 4</b>	1,658	-0,023
<b>Turno 5</b>	1,694	-0,026
	<b>1,569</b>	<b>-0,023</b>

Desviación Estándar      0,1651  
Error                              0,4173%

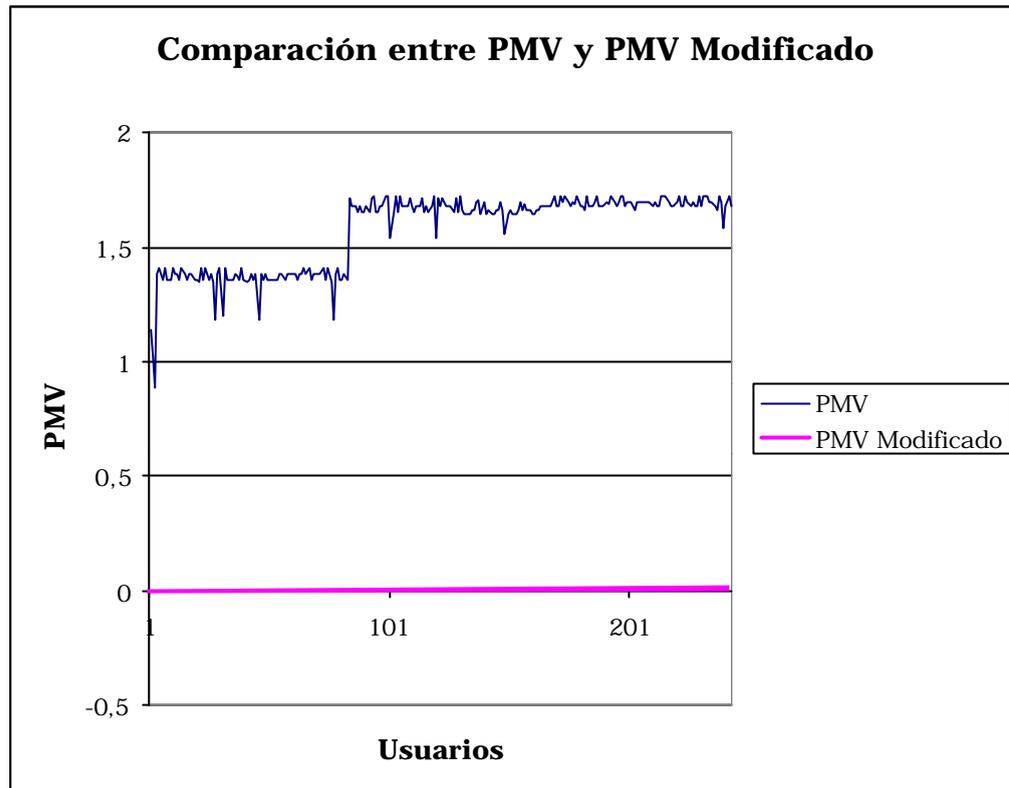


Figura 7.3.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.3.1. Análisis de Resultados Estación Colegio de Ingenieros

- De la Figura 7.3.1. obtenemos que el 53.9% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 46.1% restante fueron hombres. En esta Figura no se observa una diferencia de la percepción térmica respecto al sexo.
- La muestra de los usuarios encuestados como se ve en la Figura 7.3.2. presentó un 5.3% en el rango de edad de 10 a 20 años, 54.3% de 20 a 30 años, 27.2% de 30 a 40 años, 9.5% de 40 a 50 años, 3.7% de 50 a 60 años y 0% de 60 a 70 años.

- En la Figura 7.3.3. se pudo obtener que el 64.6% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un grado de incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.
- Se observó en la Figura 7.3.4. que los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0% Tipo 1, 3.3% Tipo 2, 70.0% Tipo 3, 20.6% Tipo 4 y un 6.2% Tipo 5, presentándose un 46.1% de la movilización en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde) y el otro 53.9% se movilizó en dirección Vía 1 (dirección Propatria). se puede ver que al ser esta una estación ubicada en la zona intermedia de la Línea 1, el flujo de pasajeros se distribuye en las dos vías.
- En la Figura 7.3.5. no se observa una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados en función de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según su tipo de tez fue la siguiente; 17.4% tez blanca, 75.5% tez morena y 7.1% tez negra.
- De la Figura 7.3.6. se observó que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.
- En la Figura 7.3.7. el PMV la distribución del mismo rondó en torno a dos escalones, tendiendo a la condición de calor, siendo este mayor para el caso de los últimos tres turnos. En el

PMV modificado la tendencia es a un confort constante independientemente del turno.

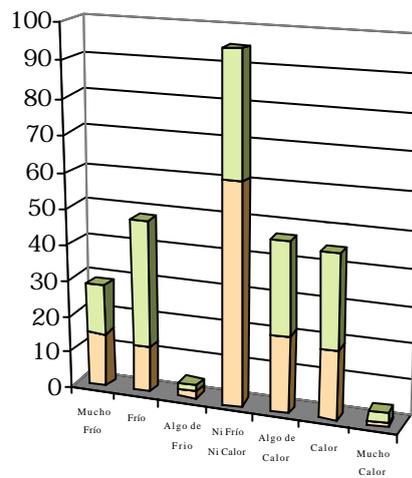
- De la Tabla 7.3.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 1.57, se calculó el PMV modificado dando un valor de  $-0.023$ , una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 1.59 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela una tendencia al confort en dicha estación, se considera la estación Colegio de Ingenieros como térmicamente confortable.
- De la carta de confort del ASHRAE (Ver anexo J.2.) se obtuvo una tendencia al calor teniendo un 89% de confortabilidad.
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de  $28.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ , encontrándose este por debajo de los límites permisibles de exposición al calor.

### 7.4. Estación Chacaito

Tabla 7.4.1. PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
Mucho Frío	15	14
Frío	13	35
Algo de Frío	2	2
Ni Frío Ni Calor	61	34
Algo de Calor	21	26
Calor	19	26
Mucho Calor	1	3

PTS vs. Sexo



Sexo  
 Femenino  
 Masculino

Percepción Térmica

Figura 7.4.1. PTS vs. Sexo

Tabla 7.4.2. Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Edad	Masculino
10 a 20 años	6	5
20 a 30 años	72	90
30 a 40 años	33	32
40 a 50 años	20	10
50 a 60 años	1	3

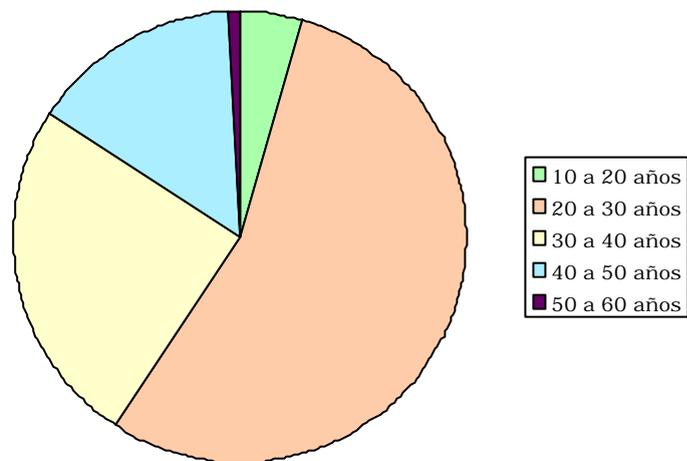


Figura 7.4.2. Edades por Sexo

Tabla 7.4.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud.?			
	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
¿Este Ambiente es?				
Aceptable	160	31	4	2
Un Poco Dificil de Soportar	38	14	3	2
Bastante Dificil de Soportar	2	2	1	1
Muy Dificil de Soportar	3	1	1	1
Insoportable	5	1	0	0

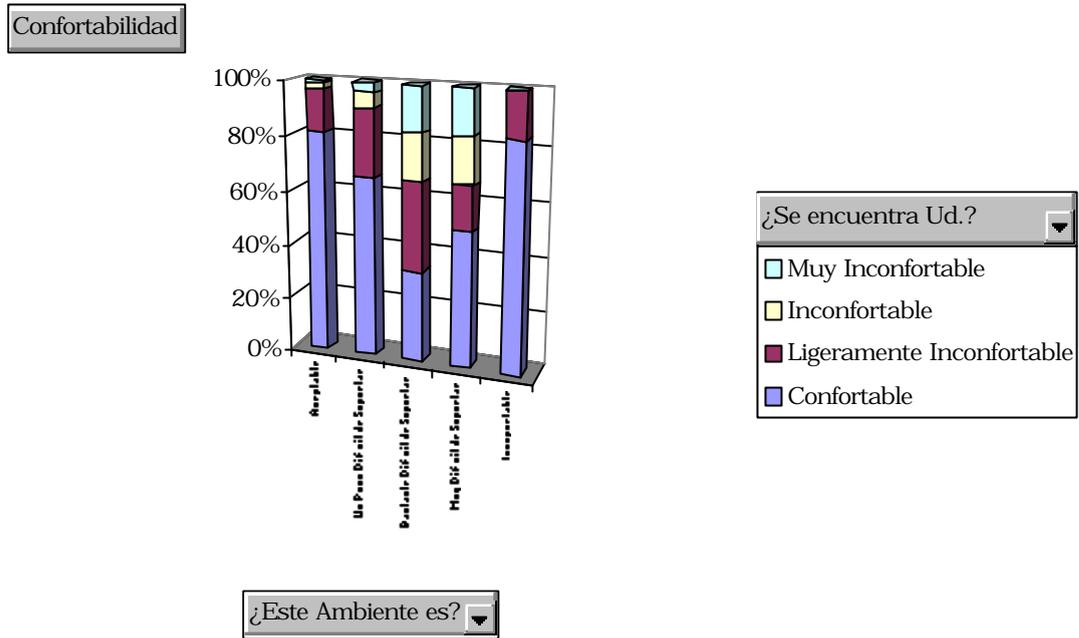


Figura 7.4.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.4.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Tipo de Usuario	Dirección	
	Vía 1	Vía 2
PMV		
Tipo 1	1	0
Tipo 2	7	3
Tipo 3	101	74
Tipo 4	43	24
Tipo 5	11	8

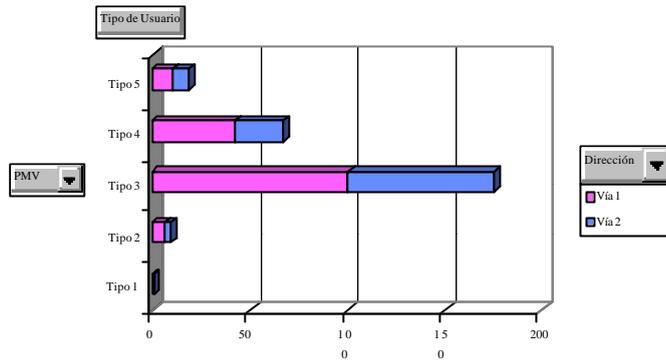


Figura 7.4.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.4.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
Pregunta 5			
Mucho Mas Frío	1	9	2
Mas Frío	11	46	3
Un Poco Mas Frío	22	52	3
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	24	71	9
Un Poco Mas Calor	3	11	1
Mas Calor	2	1	0
Mucho Mas Calor	0	0	1

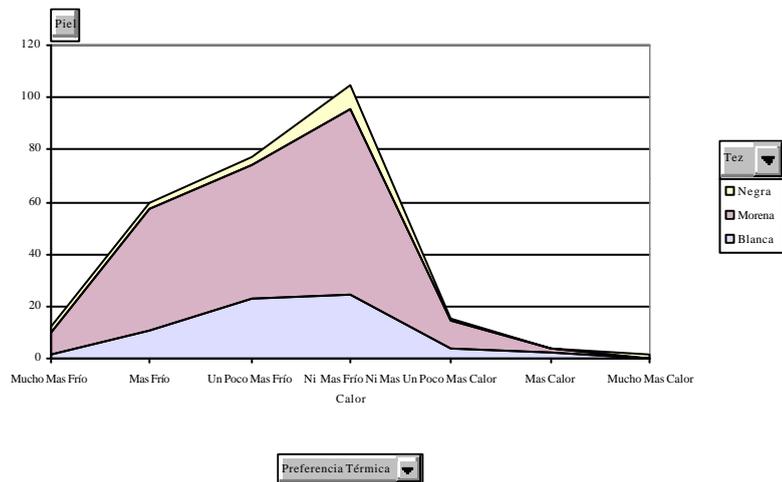


Figura 7.4.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.4.6. Preferencia térmica vs. Estado Anímico

Preferencia Térmica	Estado Anímico				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Pregunta 5					
Mucho Mas Frio	9	2	0	1	0
Mas Frio	37	14	4	5	0
Un Poco de Mas Frio	74	8	2	17	3
Ni mas Frio Ni Mas Calor	41	18	6	9	3
Un Poco de Mas Calor	10	2	0	2	1
Mas Calor	2	0	0	0	1
Mucho Mas Calor	0	0	0	0	1

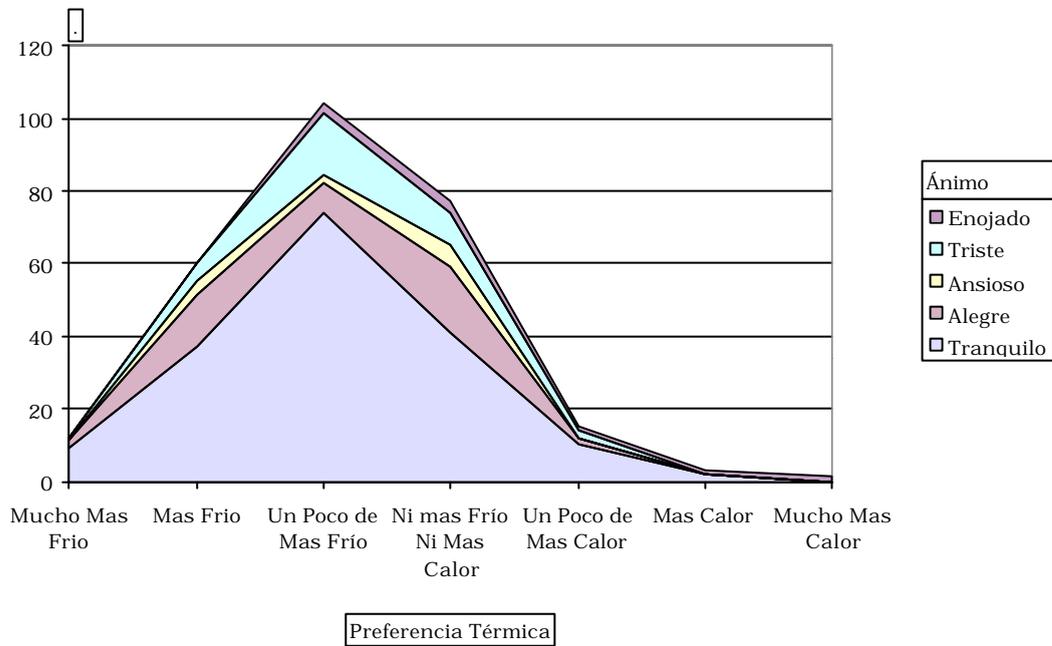


Figura 7.4.6. Preferencia térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.4.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,21	-0,22
<b>Turno 2</b>	1,21	0,25
<b>Turno 3</b>	1,45	-0,27
<b>Turno 4</b>	1,39	0,29
<b>Turno 5</b>	1,65	-0,31
	<b>1,37</b>	<b>-0,01</b>

Desviación Estándar      **0,1780**  
 Error                              **0,1993%**

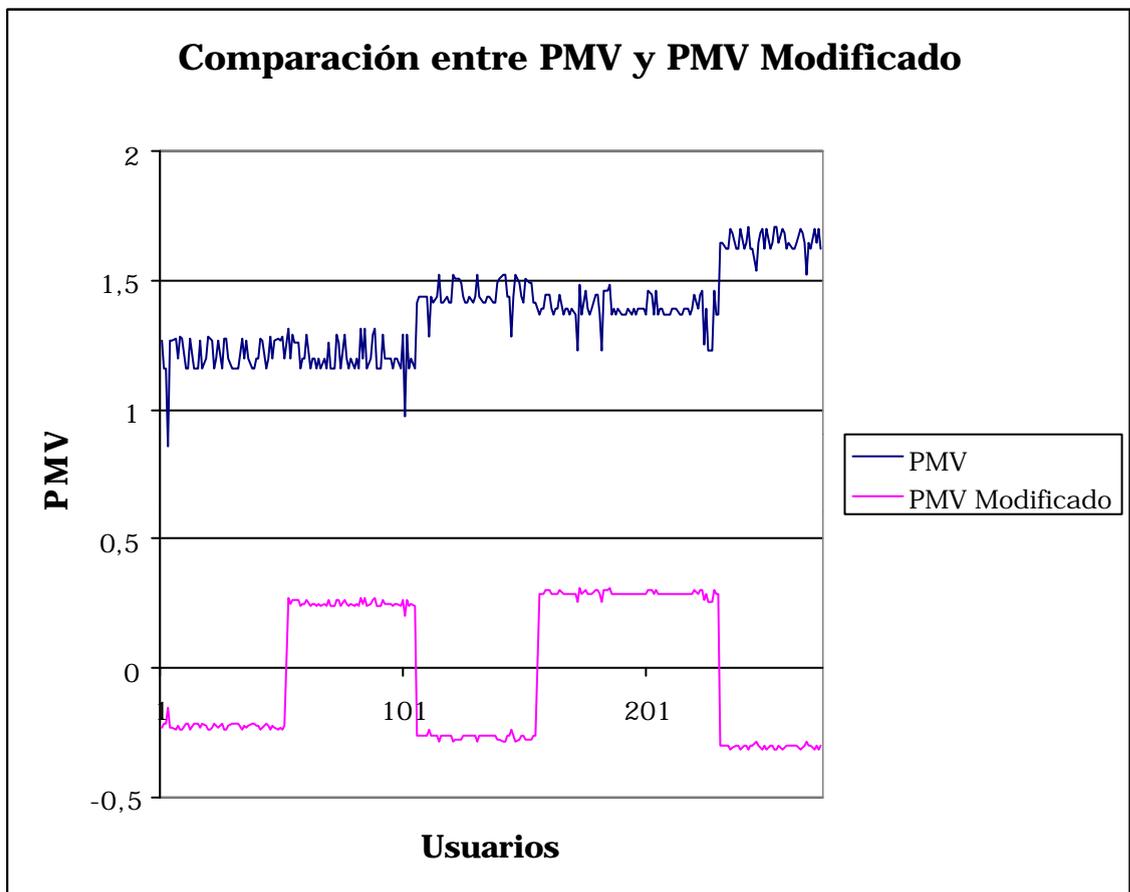


Figura 7.4.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.4.1. Análisis de Resultados Estación Chacaito

- De la Figura 7.4.1. obtenemos que el 51.5% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 48.5% restante fueron hombres. En esta figura no se observa diferencia en la percepción térmica respecto al sexo.
- La muestra de los usuarios encuestados representados en la Figura 7.4.2. presentó un 4% en el rango de edad de 10 a 20 años, 59.6% de 20 a 30 años, 23.9% de 30 a 40 años, 11.1% de 40 a 50 años, 1.4% de 50 a 60 años y 0% de 60 a 70 años.
- En la Figura 7.4.3. se pudo obtener que el 58.8% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un grado de incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.
- Se observó que en la Figura 7.4.4. los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0.4% Tipo 1, 3.7% Tipo 2, 64.3% Tipo 3, 24.6% Tipo 4 y un 7.0% Tipo 5, presentándose un 40.1% de la movilización en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde) y un 59.9% se movilizó en dirección Vía 1 (dirección Propatria).
- De la Figura 7.4.5. no se observa una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados dependiendo de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según

su tipo de tez fue la siguiente; 23.2% tez blanca, 69.9% tez morena y 7.0% tez negra.

- Se observó en la Figura 7.4.6. que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.
- En la Figura 7.4.7. se observa la tendencia al discomfort tanto del PMV como del PMV modificado tanto en las hora valle como en las pico. En el PMV se presentó una tendencia creciente a través del día al calor, mientras que en el PMV modificado se presentó una tendencia al calor en las horas valle y al frío en las horas pico.
- De la Tabla 7.4.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 1.37, considerando este valor como fuera del confort, teniendo presente la sensación térmica percibida en un rango mucho menor, se calculó el PMV modificado dando un valor de  $-0.01$ , una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 1.38 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela tendencia al confort en dicha estación, se considera la estación Chacaito como térmicamente comfortable.
- En la estación Chacaito de obtuvo una “elevada tendencia al calor” de un 65% de confortabilidad según la carta de confort del ASHRAE (Ver anexo J.2.).
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de  $27,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ , encontrándose este por debajo de los límites permisibles de exposición al calor.

## 7.5. Estación Chacao

Tabla 7.5.1. PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
Frío	3	7
Algo de Frío	7	8
Ni Frío Ni Calor	51	48
Algo de Calor	45	31
Calor	62	67
Mucho Calor	4	10

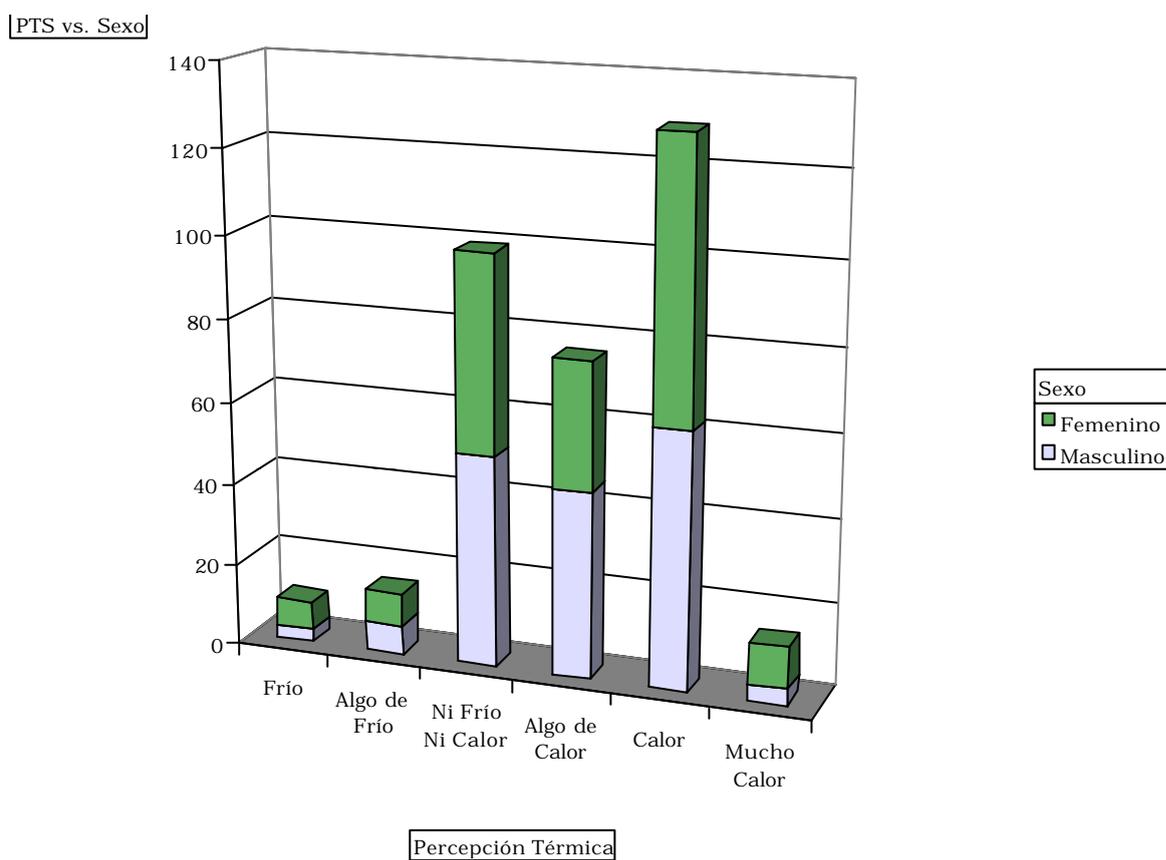


Figura 7.5.1. PTS vs. Sexo

Tabla 7.5.2. Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Edad	Masculino
10 a 20 años	2	4
20 a 30 años	89	98
30 a 40 años	50	50
40 a 50 años	24	15
50 a 60 años	6	4
60 a 70 años	1	0

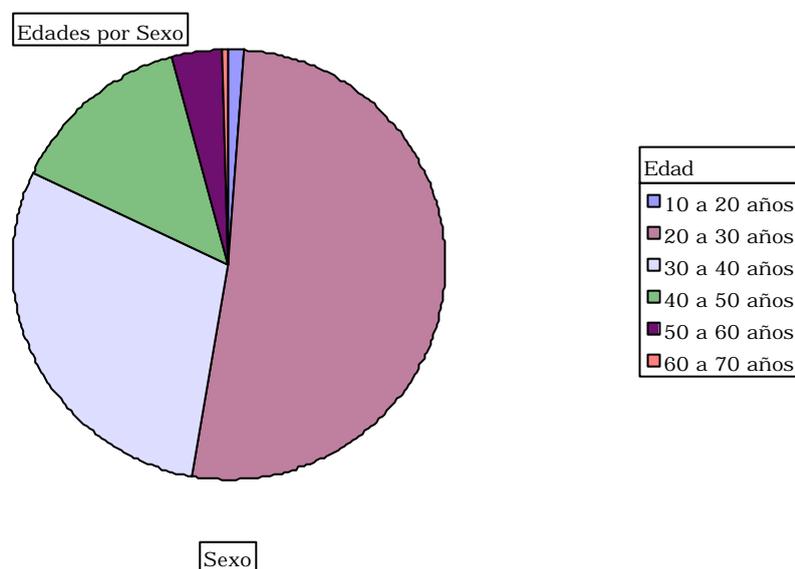


Figura 7.5.2. Edades por Sexo

Tabla 7.5.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud.?				
	¿Este Ambiente es?	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
Aceptable		161	42	7	1
Un Poco Difícil de Soportar		55	43	5	0
Bastante Difícil de Soportar		4	5	2	0
Muy Difícil de Soportar		3	3	2	1
Insoportable		4	3	1	0

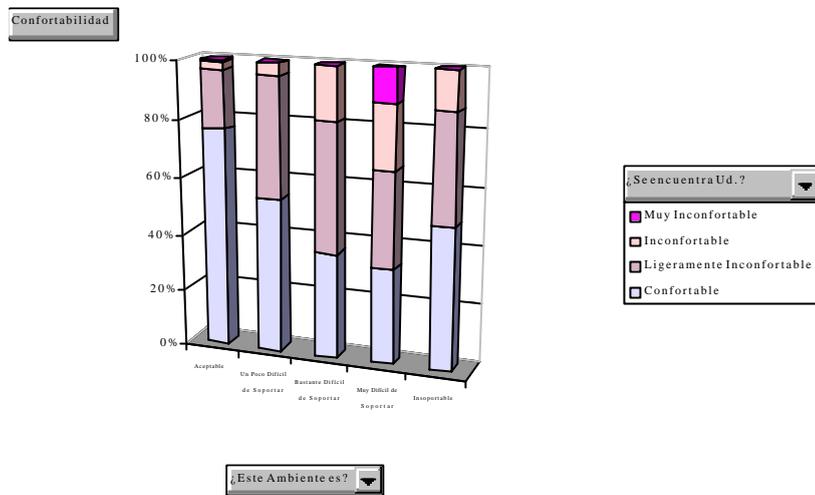


Figura 7.5.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.5.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Tipo de Usuario	Dirección	
	Vía 1	Vía 2
PMV		
Tipo 1	1	0
Tipo 2	14	7
Tipo 3	153	87
Tipo 4	48	27
Tipo 5	6	0

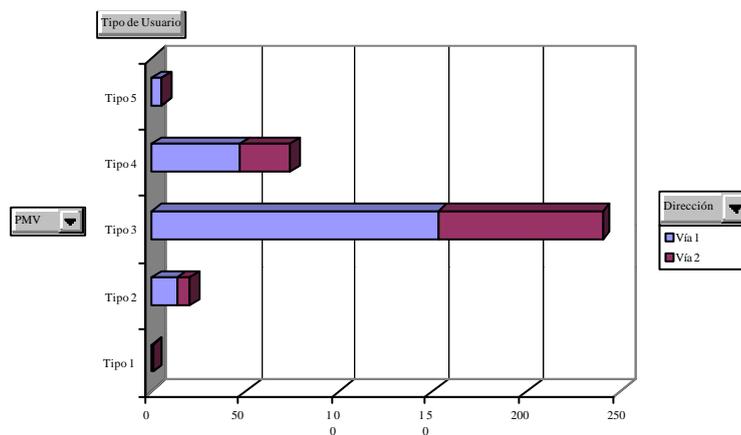


Figura 7.5.4. Tipo de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.5.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
Pregunta 5			
Mucho Mas Frío	0	20	0
Mas Frío	23	95	4
Un Poco Mas Frío	23	95	3
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	11	52	5
Un Poco Mas Calor	2	7	1
Mas Calor	0	0	1

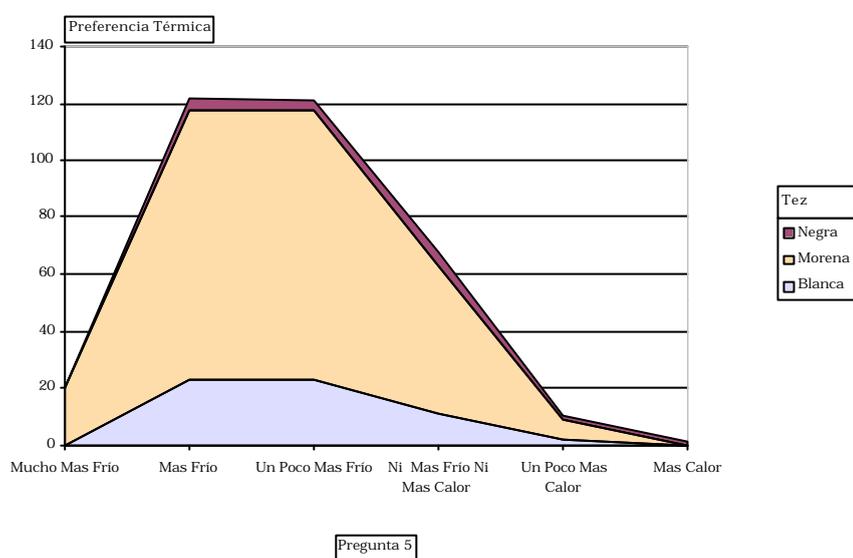


Figura 7.5.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.5.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Estado Anímico				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Pregunta 5					
Mucho Mas Frío	12	3	4	1	0
Mas Frío	72	20	20	3	8
UN Poco de Mas Frío	52	9	2	3	2
Ni mas Frío Ni Mas Calor	88	14	14	3	2
Un Poco de Mas Calor	5	2	2	1	0
Mas Calor	1	0	0	0	0

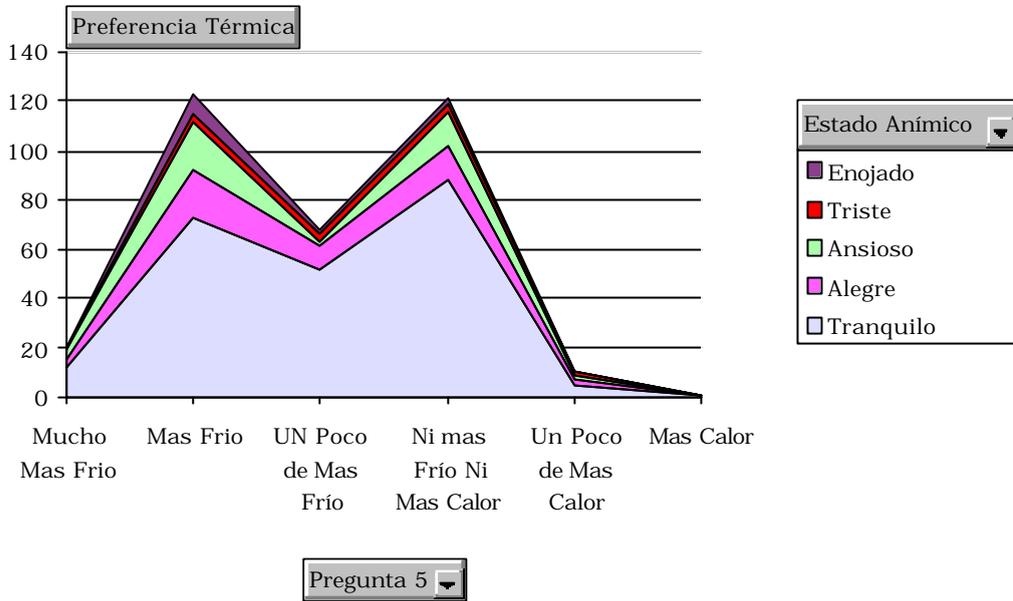


Figura 7.5.6. Preferencia térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.5.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,39	0,82
<b>Turno 2</b>	1,33	0,98
<b>Turno 3</b>	1,43	0,85
<b>Turno 4</b>	1,57	1,16
<b>Turno 5</b>	1,63	0,96
	<b>1,47</b>	<b>0,95</b>

Desviación Estandart                      0,13  
 Error                                              0,17%

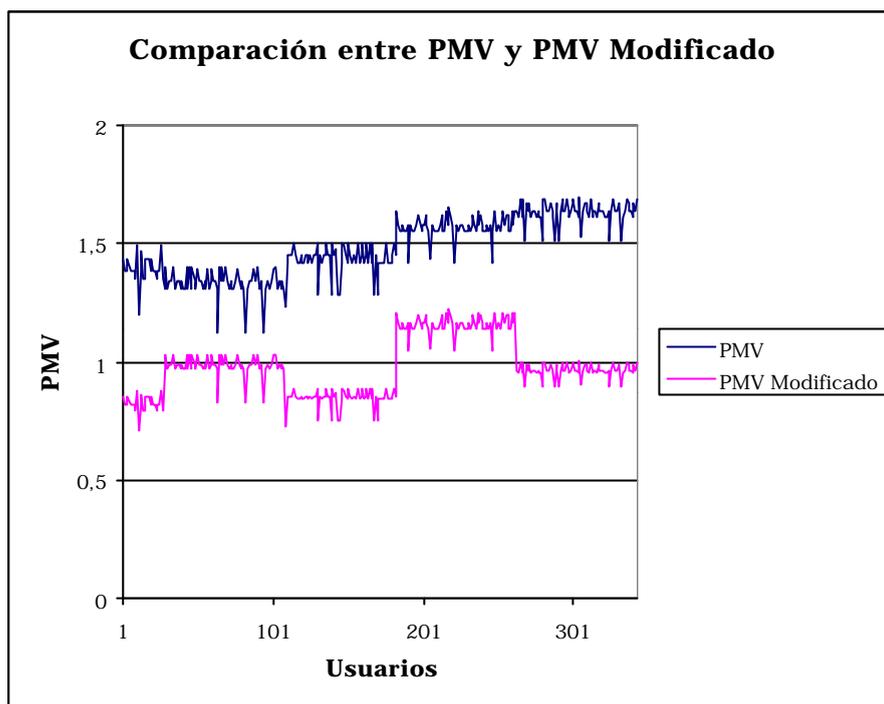


Figura 7.5.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.5.1. Análisis de Resultados de la Estación Chacao

- En la Figura 7.5.1. se obtiene que el 49.9% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 50.1% fueron hombres. En esta figura se observa una diferencia apenas apreciable de la percepción térmica respecto al sexo.
- De la Figura 7.5.2. la muestra de los usuarios encuestados presentó un 1.7% en el rango de edad de 10 a 20 años, 54.5% de 20 a 30 años, 29.2% de 30 a 40 años, 11.4% de 40 a 50 años, 2.9% de 50 a 60 años y menos del 1% (0.3%) de 60 a 70 años.
- La información mostrada en la Figura 7.5.3. mostró que el 49.9% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un

grado de incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.

- Se Observó de la Figura 7.5.4. que los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0.3% Tipo 1, 6.1% Tipo 2, 70% Tipo 3, 21.9% Tipo 4 y un 1.7% Tipo 5, presentándose un 35.3% de la movilización en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde) y un 64.7% se movilizó en dirección Vía 1 (dirección Propatria), se puede ver que al ser esta una estación ubicada en la zona más hacia el este, el flujo de pasajeros es entonces mayor en dirección Vía 1 (Propatria).
- De la Figura 7.5.5. no se observa una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados en función de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según su tipo de tez fue la siguiente; 17.3% tez blanca, 78.7% tez morena y 4.1% tez negra.
- Se observó en la Figura 7.5.6. que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.
- De la Figura 7.5.7. se observa la tendencia al calor tanto del PMV como del PMV modificado.
- De la Tabla 7.5.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 1.47, considerando este valor como fuera del confort, teniendo presente la sensación térmica percibida en un rango mucho menor, se

calculó el PMV modificado dando un valor de 0.95, una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 0.52 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela una tendencia al calor en dicha estación, considerando que los días en los cuales se realizó el estudio de esta estación el estado del tiempo estaba entre despejado y soleado, siendo este estado meteorológico el predominante durante todo el año en la ciudad de Caracas, se considera la estación Chacao como Calurosa.

- Según la carta del ASRAE de confort la estación Chaco es “calurosa” obteniéndose menos del 50% de confort en dicha estación.
  
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de 29.27 °C, encontrándose este muy cercano al límite permisible de exposición al calor.

### 7.6. Estación Los Cortijos

Tabla 7.6.1. PTS vs. Sexo

PTS vs. Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
Frío	6	10
Algo de Frío	8	7
Ni Frío Ni Calor	41	43
Algo de Calor	42	29
Calor	20	16
Mucho Calor	0	1

PTS vs. Sexo

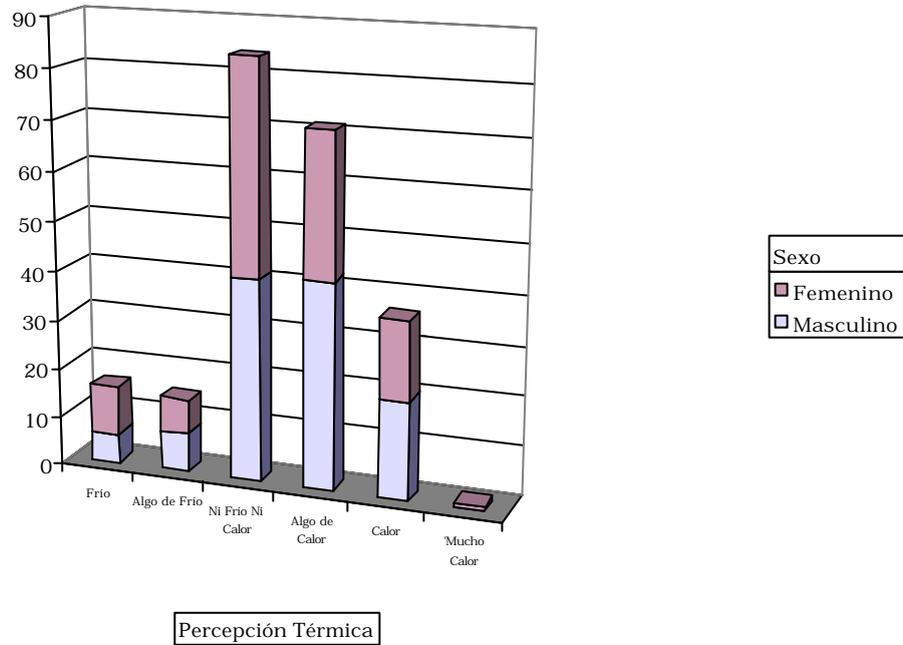


Figura 7.6.1. PTS vs. Sexo

Tabla 7.6.2. Edades por Sexo

Edades por Sexo	Sexo	
	Masculino	Femenino
10 a 20 años	2	6
20 a 30 años	58	60
30 a 40 años	34	27
40 a 50 años	17	10
50 a 60 años	6	2
60 a 70 años	0	1

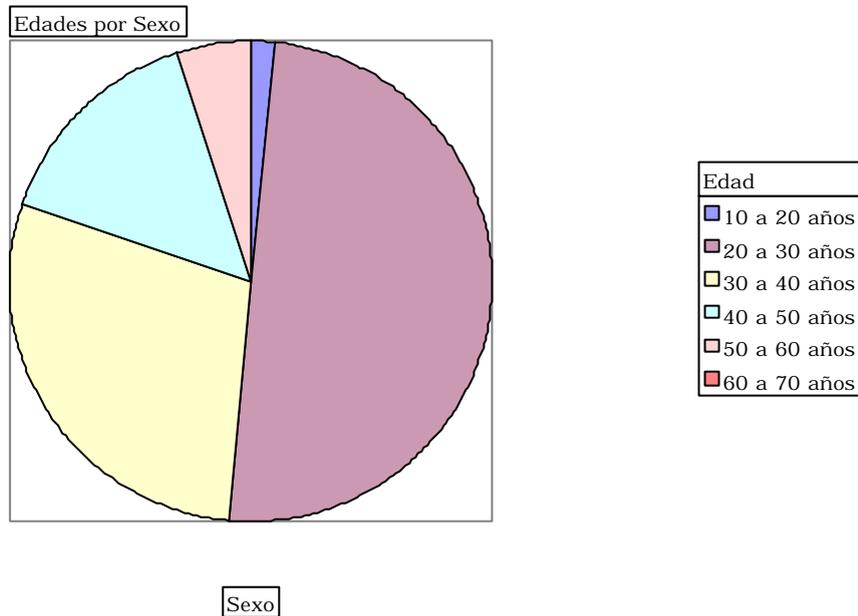


Figura 7.6.2. Edades por Sexo

Tabla 7.6.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Confortabilidad	¿Se encuentra Ud.?			
	Confortable	Ligeramente Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
¿Este Ambiente es?				
Aceptable	131	17	1	0
Un Poco Difícil de Soportar	37	21	2	1
Bastante Difícil de Soportar	2	3	0	1
Muy Difícil de Soportar	1	0	0	0
Insoportable	3	3	0	0

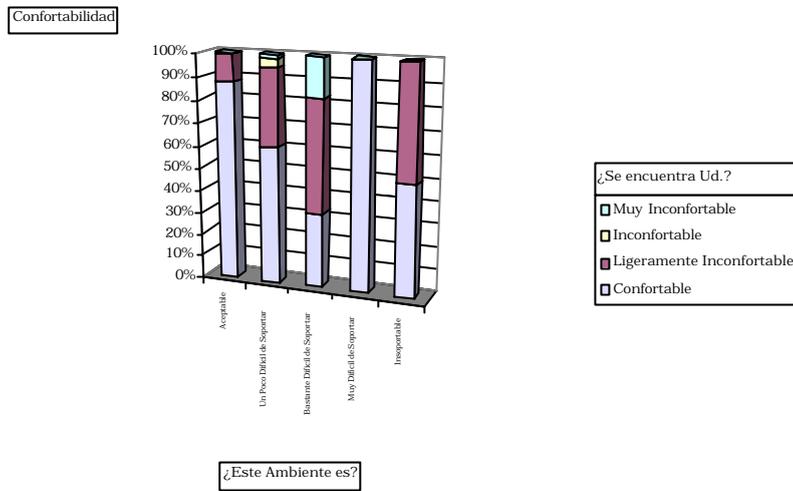


Figura 7.6.3. Confortabilidad vs. Aceptabilidad

Tabla 7.6.4. Tipos de Usuario vs. Dirección

Tipo de Usuario	Dirección	
	Vía 1	Vía 2
PMV		
Tipo 1	2	0
Tipo 2	5	3
Tipo 3	99	48
Tipo 4	40	15
Tipo 5	7	4

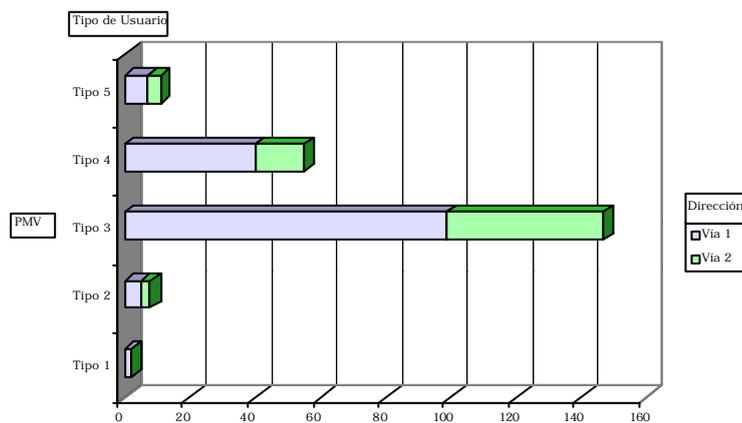


Figura 7.6.4. Tipos de Usuario vs. Dirección

Tabla 7.6.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Preferencia Térmica	Tez		
	Blanca	Morena	Negra
Pregunta 5			
Mucho Mas Frío	0	4	0
Mas Frío	10	47	1
Un Poco Mas Frío	18	55	5
Ni Mas Frío Ni Mas Calor	11	51	5
Un Poco Mas Calor	2	11	1
Mas Calor	1	0	0
Mucho Mas Calor	0	0	1

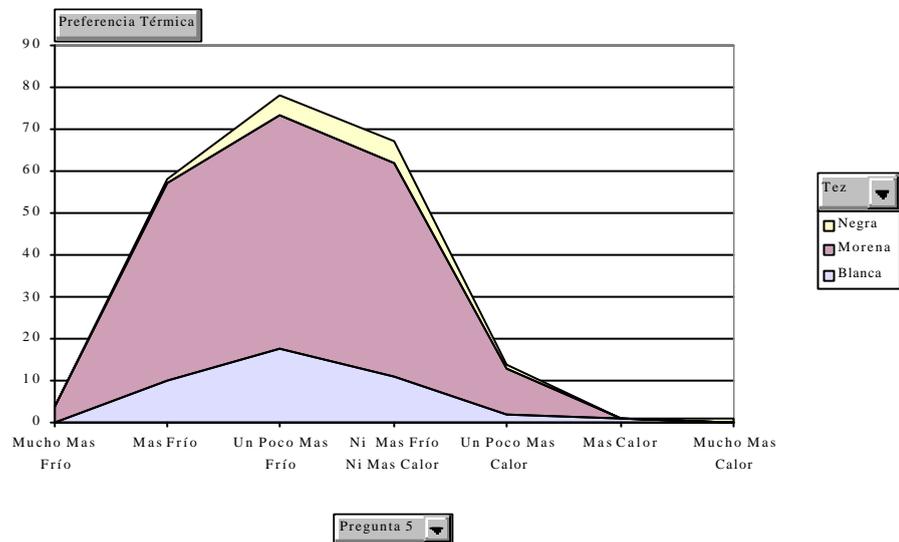


Figura 7.6.5. Preferencia Térmica vs. Tez

Tabla 7.6.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Preferencia Térmica	Estado Anímico				
	Tranquilo	Alegre	Ansioso	Triste	Enojado
Pregunta 5					
Mucho Mas Frío	1	0	0	1	2
Mas Frío	42	6	8	2	0
UN Poco de Mas Frío	47	12	3	5	0
Ni mas Frío Ni Mas Calor	49	7	13	3	6
Un Poco de Mas Calor	6	3	4	0	1
Mas Calor	1	0	0	0	0
Mucho Mas Calor	0	0	0	0	1

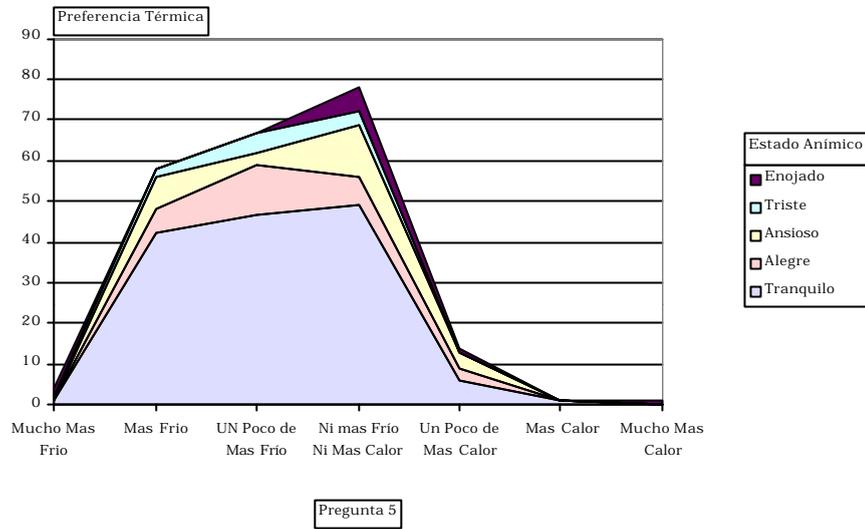


Figura 7.6.6. Preferencia Térmica vs. Estado Anímico

Tabla 7.6.7. Turno vs. PMV vs PMV Modificado

	<b>PMV</b>	<b>PMVModificado</b>
<b>Turno 1</b>	1,12	0,29
<b>Turno 2</b>	1,01	0,42
<b>Turno 3</b>	1,25	0,32
<b>Turno 4</b>	1,27	0,53
<b>Turno 5</b>	1,47	0,38
	<b>1,23</b>	<b>0,39</b>

**Desviación Estandart**                      **0,1905**  
**Error**                                              **0,1198%**

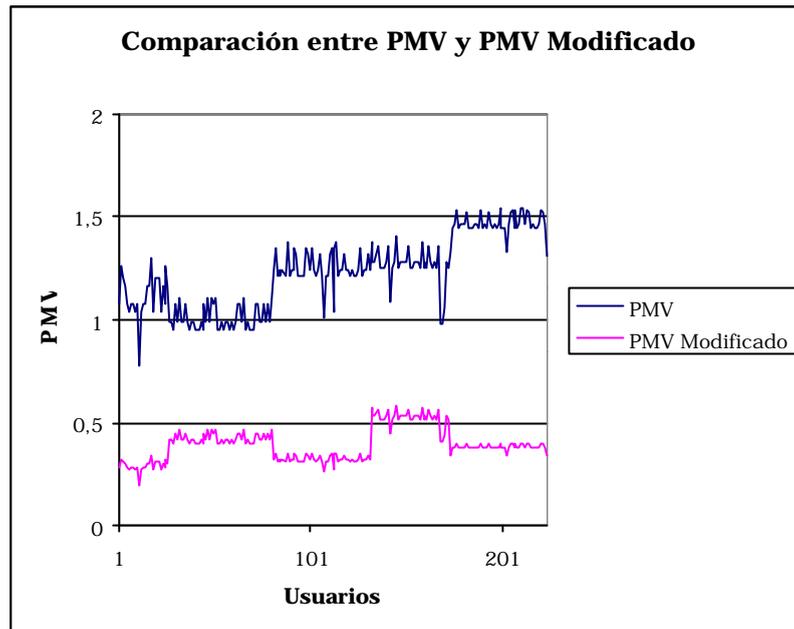


Figura 7.6.7. Turno vs. PMV y PMV Modificado

### 7.6.1. Análisis de Resultados de la Estación Los Cortijos

- En la Figura 7.6.1. se obtiene que el 52.5% de los usuarios encuestados fueron mujeres, por lo que el 47.5% restante fueron hombres. En esta figura no se observa una diferencia de la percepción térmica respecto al sexo.
- La muestra de los usuarios encuestados, como se ve en la Figura 7.6.2. presentó un 3.4% en el rango de edad de 10 a 20 años, 52.9% de 20 a 30 años, 27.4% de 30 a 40 años, 12.1% de 40 a 50 años, 3.4% de 50 a 60 años y menos del 1% (0.4%) de 60 a 70 años.
- En la Figura 7.6.3. se pudo obtener que el 58.7% de los usuarios encuestados se encontraban “confortables” y la estación les parecía “aceptable”. Esta estimación tiene un grado de

incertidumbre relevante, debido a la falta de conocimiento por parte de los usuarios del término “confortable” y de las múltiples opciones presentadas de compleja discretización.

- De la Figura 7.6.4. los usuarios entrevistados se presentaron en la siguiente proporción; 0.9% Tipo 1, 3.6% Tipo 2, 65.9% Tipo 3, 24.7% Tipo 4 y un 4.9% Tipo 5, presentándose un 68.6% de la movilización en dirección Vía 1 (dirección Propatria) y el otro 31.4% se movilizó en dirección Vía 2 (dirección Palo Verde), esto debido a que al ser esta estación una de las estaciones mas al este de la ciudad de Caracas, el resto de las estaciones de la Línea 1 quedan en dirección Vía 1.
- En la Figura 7.6.5. no se observa una variación apreciable de la percepción térmica de los usuarios encuestados dependiendo de su tipo de tez, presentándose las áreas bastante similares. Adicionalmente se tiene que la proporción de encuestados según su tipo de tez fue la siguiente; 18.8% tez blanca, 75.3% tez morena y 5.9% tez negra.
- Se observó en la Figura 7.6.6. que el estado anímico de los usuarios no fue un factor relevante de la sensación térmica percibida, pues, en el estado anímico tranquilo, alegre, ansioso, triste o enojado la distribución fue similar en cada uno de ellos.
- Se observa una tendencia al calor, como se ve en la Figura 7.6.7. tanto en el PMV como en el PMV Modificado.
- De la Tabla 7.6.7. tenemos que el PMV obtenido fue de 1.23, considerando este valor como fuera del confort, teniendo presente la sensación térmica percibida en un rango menor, se calculó el

PMV modificado dando un valor de 0.39, una diferencia en valor absoluto entre cada uno de los valores de 0.84 en la escala de Fanger. El PMV modificado revela una leve tendencia al valor en dicha estación, considerando que los días en los cuales se realizó el estudio de esta estación el estado del tiempo estaba entre despejado y soleado, siendo este estado meteorológico el predominante durante todo el año en la Ciudad de Caracas, se considera la estación Los Cortijos como calurosa.

- La estación Los Cortijos presento una “tendencia al calor” con un 90% de confortabilidad según la carta de confort del ASHRAE (Ver anexo J.2.).
- El índice de Yaglou obtenido para la estación fue de 27.25 °C, encontrándose este por debajo de los límites permisibles de exposición al calor.

### 7.7. Cálculo y Definición de las Zonas de Percepción Térmica

Se define como una zona de sensación térmica percibida, aquella donde en una Carta Psicrométrica se grafican todas las variables termodinámicas involucradas e interrelacionadas en el estudio del aire, de tal manera que, en función de la Sensación Térmica Percibida se puede delimitar zonas de Calor, Confort y Frío de un ambiente determinado.

Inicialmente se procedió a graficar cada una de las estaciones junto con sus presiones operativas y las variables de la Tabla 7.7.1. (Ver anexos I.1. al I.6.), así de esta manera hacer más sencilla su posterior ubicación.

<b>Estaciones</b>	<b>Variables</b>		
	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbh (°C)</b>	<b>% HR</b>
<b>Plaza Sucre</b>	25,08	19,23	57,75
<b>Agua Salud</b>	24,50	18,72	57,91
<b>Colegio de Ingenieros</b>	26,49	18,25	44,70
<b>Chacaito</b>	26,61	18,95	48,26
<b>Chacao</b>	26,98	20,21	52,77
<b>Los Cortijos</b>	25,81	19,15	52,95

Tabla 7.7.1. Variables por Estaciones

El paso siguiente consiste determinar cual es la presión atmosférica en la cual la mayoría de los usuarios se sentían confortables.

Tabla 7.7.2. Presiones obtenidas en Estaciones

<b>Estación</b>	<b>P [Kpa]</b>
Plaza Sucre	89.66
Agua Salud	89.91
Colegio de Ingenieros	90.00
Chacaito	89.92
Chacao	89.85
Los Cortijos	90.05

Al ser las estaciones Plaza Sucre, Agua Salud, Chacaito y Los Cortijos, de color verde, las estaciones con mayor tendencia al confort, se definió tomar la presión de 89.91 KPa (13.04 psi, aproximadamente) como presión de confort, siendo este valor intermedio entre los demás valores.

Al trasladar todos los puntos de cada una de las estaciones a una misma Carta Psicrométrica con la presión seleccionada anteriormente, se obtiene el grafico en el Anexo I.7. Teniendo estos puntos definidos se procedió a delimitar las áreas aproximadas de Calor, Confort y Frío según los valores de PMV Modificado y el rango en el cual se encontraban en la escala de P.O. Fanger si se obtuvo la Carta Psicrométrica del Anexo I.8.

Con las áreas delimitadas, y realizando el proceso inverso al de la graficación se obtiene la Tabla 7.7.3.:

Tabla 7.7.3. Variables Máximas y Mínimas en Cada una de las Zonas de Temperatura

Zona	Tbs [°C]		Tbh [°C]		%HR [°C]	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Fria</b>	23,0	24,5	17,0	18,5	55,0	63,0
<b>Confortable</b>	24,5	26,5	14,0	19,0	40,0	58,0
<b>Caliente</b>	25,5	27,5	18,0	20,0	45,0	55,0

De esta manera se obtienen los valores entre los cuales los usuarios entrevistados, en las estaciones evaluadas, durante las fechas en el cual se realizó el estudio se sentían confortables:

$$24,5 < \mathbf{Tbs} < 26,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$14,0 < \mathbf{Tbh} < 19,0 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$40,0 < \mathbf{\%HR} < 58,0 \quad [\%]$$

Considerando que, las velocidades del aire deben ser mayores de  $V_a > 0,06$  m/s y temperaturas de globo menores de  $T_g < 27$  °C, teniendo en cuenta que si se toma más de una variable en puntos cercanos a sus límites no se garantiza el confort térmico del ambiente evaluado.

Por otro lado, según ASHRAE se define otras áreas de confort en función de la carta de Indices Directos: humedad y temperatura obtenida de “Santamouris et al, Passive Cooling of Buildings” de James & James, London, 1996. Ver Anexo J.1.

Al graficar los datos obtenidos de cada una de las estaciones en dicha tabla se obtuvieron los siguientes resultados (Ver Anexo J.2):

Tabla 7.7.4. Estaciones en Función de la Tendencia Térmica de ASHRAE

<b>Estaciones</b>	<b>ASHRAE (% Confort)</b>
<b>Plaza Sucre</b>	Tendencia al Calor (91)
<b>Agua Salud</b>	Confort (96)
<b>Colegio de Ingenieros</b>	Tendencia al Calor (89)
<b>Chacaito</b>	Tendencia al Calor (65)
<b>Chacao</b>	Calor (<50)
<b>Los Cortijos</b>	Tendencia al Calor (90)

A continuación se presenta un cuadro resumen con todos los métodos utilizados para la evaluación de los ambientes de andenes de las estaciones del Metro de Caracas.

Tabla 7.7.5. Comparación de métodos entre estaciones

<b>Estaciones</b>	<b>Yaglou</b>	<b>PMV</b>	<b>ASHRAE (% Confort)</b>	<b>PMV Modificado</b>
<b>Plaza Sucre</b>	Confort	Tendencia al Calor	Tendencia al Calor (91)	Confort
<b>Agua Salud</b>	Confort	Tendencia al Calor	Confort (96)	Fría
<b>Colegio de Ingenieros</b>	Confort	Calor	Tendencia al Calor (89)	Confort
<b>Chacaito</b>	Confort	Calor	Tendencia al Calor (65)	Tendencia al Calor
<b>Chacao</b>	Confort	Calor	Calor (<50)	Calor
<b>Los Cortijos</b>	Confort	Calor	Tendencia al Calor (90)	Calor

Puede observarse que las escalas de Percepción Térmica según ASHRAE presentan un desfase en función de las opiniones obtenidas por los usuarios del Metro de Caracas, existiendo varias causas que se le atribuyen este efecto, entre ellas que la carta del ASHRAE no fue diseñada para climas tropicales, la actividad metabólica en un poco menor a la considerada en este estudio, no se tomó en cuenta efectos de radiación y velocidades del aire aproximadamente 2 veces mayor que la existente en los andenes, sin tomar en cuenta el efecto pistón de entrada o salida de los trenes de la estación.

## **8.1. RECOMENDACIONES POR ESTACIÓN**

A continuación se presentan recomendaciones que deben considerarse en cada una de las estaciones evaluadas.

### **Estación Plaza Sucre**

Se recomienda seguir con el plan de mantenimiento actual para todos los equipos involucrados con el acondicionamiento de aire, ya que estos funcionan eficientemente y cumplen con los requerimientos de confort térmico.

Se sugiere hacer otro estudio de la calidad térmica en esta estación en condiciones meteorológicas representativas del clima promedio durante el año para la ciudad de Caracas, pues para el momento en el cual se realizó la evaluación objeto de este trabajo, se presentaron condiciones ambientales atípicas.

### **Estación Agua Salud**

Teniendo en cuenta que es una estación abierta (enfriamiento pasivo), y por lo tanto, vulnerable a los cambios ambientales de la ciudad de Caracas, se recomienda considerar el proyecto de sistemas de ventilación mecánica o acondicionamiento de aire de refuerzo para momentos en los cuales existan bajas velocidades del aire y una alta radiación solar incidente.

No es recomendable utilizar el método de P.O. Fanger (1978) en la Estación Agua Salud, pues esta es una estación abierta en la que se obtuvo una alta desviación de los resultados.

### **Estación Colegio de Ingenieros**

Para esta estación se recomienda seguir con el mismo plan de mantenimiento para los equipos de aire acondicionado, ya que funcionan eficientemente y cumplen con los requerimientos de confort térmico.

Dado que la estación Colegio de Ingenieros posee zonas que tienen como techo filtros solares, en los días de alta radiación solar incidente se midieron altas temperaturas de globo, no siendo capaz el sistema de acondicionamiento de aire de mantener el confort en esos momentos. Se recomienda poner filtros de mayor espesor y de esa manera evitar el disconfort intermitente ocurrido.

### **Estación Chacaito**

Se recomienda la disipación de la carga térmica de 36 luminarias extras que producen 600 w (tasa de flujo de calor radiante), que no estuvo contemplada al momento de diseñar el sistema de acondicionamiento de aire de esta estación y se supone que esto produce un alejamiento del confort. Se recomienda el aumento de la capacidad de enfriamiento para el ambiente.

Se sugiere realizar un enfriamiento sensible con un orden de 1.0 °C en la escala de bulbo seco, llevándola de 26.61 °C a por lo menos 25.61 °C, garantizando de esta manera el confort dentro de esta estación.

Así mismo, se recomienda aumentar la velocidad del aire en por lo menos 0.02 m/s, pues dentro de esta estación su valor es muy bajo y, a pesar que la estación es confortable es muy propensa a que deje de serlo, ya que se encuentra en el límite entre el confort y calor.

### **Estación Chacao**

Se sugiere realizar un enfriamiento sensible con en la estación Chacao para reducir la temperatura de bulbo seco en 2.5 °C, esto con la intención de bajar la temperatura operativa de 26.98 °C a 24.48 °C, y así lograr el confort térmico dentro de la estación.

Se recomienda realizar las reparaciones pertinentes a los compresores del sistema de aire acondicionado de la estación Chacao, que aunque se encuentran funcionando los cuatro (4) compresores existentes, presentan una falla en una de sus tres etapas que trae como consecuencia condensación, y por lo tanto un aumento de la humedad relativa, ocasionando sudoración a las personas que se encuentren en el ambiente.

**Estación Los Cortijos**

Se recomienda realizar las reparaciones pertinentes al compresor que se encuentra fuera de servicio en la estación Los Cortijos, ya que el sistema de acondicionamiento de aire está trabajando a un 75% de su capacidad total.

Por otra parte, se sugiere realizar un enfriamiento sensible para disminuir la temperatura de bulbo seco en la estación Los Cortijos en 1.1 °C, con la intención de bajar la temperatura operativa de 25.81 °C a 24.70 °C y/o disminuir la humedad relativa de 52.95 % a por lo menos 50 % con un proceso de deshumidificación, de esta manera se alcanzaría la condición de confort térmico dentro de la estación.

## **8.2. RECOMENDACIONES GENERALES**

Para el mejoramiento de la calidad térmica en los ambientes de andenes de las estaciones del Metro de Caracas se recomienda:

- Ampliar este estudio a otras estaciones, de la misma Línea 1, de la Línea 2 o de la Línea 3 del Metro de Caracas, para así tener una mayor cantidad de datos e información con diferentes condiciones medio ambientales, de tal manera que errores y/o deficiencias que puedan existir en el sistema de acondicionamiento de aire de algunas estaciones no se repitan en el futuro.
- Realizar un estudio similar tomando en cuenta el efecto “pistón” que se produce cuando el tren entra a o sale de la estación. En dicho estudio ha de tomarse en cuenta principalmente la fluctuación de la velocidad del aire, para comprobar si influye en las condiciones de confort.
- Modificar las variables de “confort” y “aceptación”, presentes en la escala de juicio elaborada para la encuesta, debido a que generan confusión en los entrevistados al momento de seleccionar entre las opciones difícilmente discretizables con las palabras “Confortable”, “Ligeramente Inconfortable”, “Inconfortable” y “Muy Inconfortable”, para el caso de la pregunta #3 de la encuesta, y para la pregunta #6 de “aceptación” los términos “Poco”, “Bastante” y “Muy”. En muchos de los casos fue necesario explicar lo que el término “Confortable” significa, causando esto una distracción momentánea pero significativa de los instantes que dura la entrevista y un alejamiento de la respuesta rápida e instintiva.

- En la pregunta ¿Qué opción define mejor su estado de ánimo? (pregunta N° 3 de la encuesta), las opciones propuestas presentan un desbalance entre lo que serían estados positivos y negativos de ánimo, propiciando esto una tendencia por parte de los usuarios a seleccionar su respuesta de un 60 % de opciones negativas y solo un 40 % de opciones positivas. Se recomienda nivelar el rango de estos estados a un 50 %.
- Evaluar cuán válido resulta utilizar el índice de TGBH, en los ambientes de andenes, ya que dicho índice fue diseñado para ambientes industriales, los cuales son diferentes a los ambientes estudiados.
- Que existan sistemas eficientes, manuales o automáticos de regulación de la temperatura en cada una de las estaciones, ya que se crean picos de temperatura en diferentes momentos de la jornada diaria, provocando en los usuarios de las estaciones la sensación de frío y de calor, alejando los ambientes de la sensación de confort.
- Mejorar el aislamiento térmico del sistema de conductos de aire acondicionado, pues en cada una de las estaciones evaluadas se observó muy deteriorada esta protección, aumentando la carga térmica.

### **9.1. CONCLUSIONES POR ESTACIÓN**

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegó en cada una de las estaciones donde se evaluó la calidad térmica de sus andenes.

#### **Estación Plaza Sucre**

Se determinó que la estación Plaza Sucre presentó un PMV modificado de  $-0.21$ , considerándola como una estación térmicamente confortable.

Se logro determinar que el sistema de acondicionamiento de aire de esta estación operaba a un 100 %, satisfaciendo los requerimientos de carga térmica total de la estación.

En las escalas ISO y AHSRAE se observó un alejamiento del confort en esta estación, siendo estos datos no valederos pues la Estación Plaza Sucre es confortable.

#### **Estación Agua Salud**

Se calculó un PMV modificado de  $-0.62$ , lo que permite considerar al ambiente térmico de la estación Agua Salud como ligeramente frío.

Se midieron elevadas temperaturas de globo en los ambientes no techados de la estación, debido a la radiación solar directa. Este hecho trajo como consecuencia el discomfort en está área, evitando

que los usuarios se distribuyeran uniformemente a lo largo de todo el andén de la estación.

Las escalas COVENIN, ISO y AHSRAE no se ajustaron a la realidad térmica de esta estación, pues es un ambiente con tendencia al frío, reflejado solamente con el PMV Modificado.

Se observó que con el sistema de ventilación natural que posee esta estación se obtienen los niveles de confort deseados.

### **Estación Colegio de Ingenieros**

Se determinó que la estación Colegio de Ingenieros presentó un PMV modificado de -0.02, considerándola como una estación térmicamente confortable.

Se logró determinar una alta radiación solar incidente dentro de la estación, debido a que el filtro solar no es lo suficientemente denso, causando que la sensación de confort de esta estación sea periódica y dependiente de los cambios medio ambientales de la ciudad de Caracas.

Se determinó que con un buen sistema de ventilación forzada junto a la ventilación natural, en esta estación se puede obtener el nivel de confort deseado, según el valor obtenido del TGBH (escala COVENIN) y PMV Modificado, no así con las escalas ISO y ASHRAE.

### **Estación Chacaito**

Se calculó un PMV modificado de  $-0.01$ , lo que permite considerar al ambiente térmico de la estación Chacaito como confortable.

Se midieron bajas velocidades del aire a lo largo de todo el andén, poniendo a esta estación en un estado de confort límite, pues cualquier pequeño cambio de las variables medio ambientales dentro de la estación la hará salir de la condición de confort.

Se determinó una carga térmica por radiación proveniente de 36 luminarias extras, no consideradas en el momento de diseñar el sistema de acondicionamiento de aire de dicha estación. A pesar que el sistema trabaja al 100 % de su capacidad de enfriamiento, existe la posibilidad que este no cubra la carga térmica total.

Se observó que los valores obtenidos en las escalas del PMV Modificado y ASHRAE presentaban conjuntamente una leve tendencia al Calor, no cumpliéndose esto en los valores de los índices de Yaglou y de Fanger.

### **Estación Chacao**

Se determinó que la estación Chacao presentó un PMV modificado de  $0.95$ , considerándola como una estación con un ambiente térmico caluroso.

Se determinaron altas temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de globo, causando esto un alejamiento del confort.

Se lograron determinar múltiples fallas en los equipos de acondicionamiento de aire, que bajaban su eficiencia a más de un 80 % de su capacidad total de enfriamiento.

Se observó uniformidad en los valores obtenidos del PMV, en la escala ASHRAE y PMV Modificado, coincidiendo todos en que la estación Chacao es calurosa, alejada del confort en más de un 50 %.

### **Estación Los Cortijos**

Se calculó un PMV modificado de 0.39, lo que permite considerar al ambiente térmico de la estación Los Cortijos como ligeramente caluroso.

Se observaron múltiples fallas en los equipos de acondicionamiento de aire, que bajaban su eficiencia a menos de un 75 % de su capacidad total de enfriamiento.

Se midieron altas temperaturas de bulbo seco, causando esto un alejamiento del confort.

Se observó una tendencia al calor según la escala de ASHRAE en un 90 % del confort, a diferencia de los valores de PMV y PMV Modificado, obteniendo un ambiente térmico ligeramente caluroso, ajustado a la realidad de la estación.

## **9.2. CONCLUSIONES GENERALES**

En el presente trabajo se concluyó lo siguiente:

- Se determinó que el método de Fanger, aplicado a ambientes de un sistema de trenes subterráneos en una ciudad tropical como Caracas, presenta un comportamiento inesperado, por lo que hubo que ajustarlo o modificarlo, mediante el método de aproximación por mínimos cuadrados, a la sensación térmica percibida por los usuarios de las estaciones, lo que condujo al PMV Modificado.
- La escala de confort de ASHRAE utilizada sirve de referencia al realizar un estudio de confort térmico en una zona tropical como lo es la ciudad de Caracas, ya que esta información presentó una tendencia hacia el lado de calor. Esto es debido a que la gráfica fue trazada para una actividad metabólica ligera, sin radiación térmica y con una velocidad del aire de 0.1 m/s, valores cercanos a los utilizados en este trabajo.
- El índice TGBH, evaluado en las estaciones en estudio, arrojó valores inferiores a los 30 °C, siendo este el valor límite admisible para una persona que desempeñe un trabajo continuo, con una carga de trabajo ligera, por lo que las estaciones sometidas al estudio están conforme a la norma COVENIN 2254:95.
- Se encontró que el índice de Yaglou (TGBH) no es adecuado para su aplicación en ambientes como los que se estudiaron, al menos sin ser modificado, dado que según este índice, todas las estaciones son confortables o aptas para el trabajo, no

correspondiendo esto con las respuestas de los usuarios, quienes dijeron no sentirse confortables en la mayoría de las estaciones evaluadas.

- Se logró determinar que de las condiciones ambientales externas a las estaciones, las que influyeron de forma más significativa en el estudio fueron la humedad relativa, la temperatura de bulbo seco y la presión atmosférica, de manera tal que al disminuir la presión atmosférica aumenta la humedad relativa. Esto trajo como consecuencia una disminución en el valor del PMV, desplazándolo hacia el límite de frío de la escala psico-fisiológica de sensación térmica de ASHRAE.

- Se obtuvieron altos valores de la temperatura de bulbo seco en aquellas estaciones donde los sistemas de acondicionamiento de aire no estaban 100 % operativos, por lo que quedó en evidencia que el estado “fuera de servicio” en los equipos de aire acondicionado reduce la capacidad de enfriamiento de los sistemas, impidiendo satisfacer la carga térmica, ocasionando discomfort en los usuarios de dichas estaciones.

- Se determinó que los valores de la temperatura de globo se encontraron 1.5 °C por encima de los valores de la temperatura de bulbo seco, indicando la presencia de calor radiante dentro de las estaciones, excepto en la estación Agua Salud donde la diferencia fue de 3.5 °C aproximadamente, debido a la incidencia de radiación solar directa.

- Se lograron definir las diferentes zonas de percepción térmica, en una carta psicrométrica, obteniéndose los rangos permisibles de confort de las diferentes variables presentes (Tbs, Tbh y HR).
- No se observaron variaciones de la Tbs, Tbh, HR y Va a lo largo de los andenes, concluyendo que la distribución de dichas variables es uniforme.
- Se determinó que la manera en que se encuentren vestidos los usuarios no fue un factor determinante en la sensación térmica percibida de estos, probablemente debido a que no hubo grandes deferencias en las vestimentas.
- El estado anímico, tipo de tez y sexo de los usuarios entrevistados, no influyó de manera significativa en la percepción de la sensación térmica de los mismos.
- La información obtenida en relación a la sudoración no fue relevante, pues menos del 1 % de la muestra entrevistada no presentaba sudoración visible.
- Se pudo comprobar que bajo condiciones adecuadas, como fueron las de los ambientes de las estaciones Agua Salud y Colegio de Ingenieros se llega a la sensación de confort con ventilación natural y ventilación mecánica, respectivamente.

**REFERENCIAS**

Allard, F., "Concepto de confort térmico y predicción del comportamiento aerólico de edificaciones ". Tecnología y construcción. Caracas 1994, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (IDEC), 69 páginas.

Aparcedo, Y. y Martínez, G., "Procedimiento para la determinación de zonas de confort térmico en climas tropicales húmedos", Caracas 1993, Tesis Ingeniero Mecánico e Ingeniero Hidrometeorologista, Universidad Central de Venezuela, , 228 páginas.

ASHRAE., *Fundamentals Handbook, Physiological Principles, Comfort and Health*. Atlanta 1998.

Barrosa C. Y Ucrós J. L., "Estudio de la calidad térmica del ambiente de la sala de máquinas de una planta termoeléctrica", Caracas 1999, Tesis Ingeniero Mecánico, Universidad Central de Venezuela, 123 páginas.

Bravo, G. y González, E., "El Método de Fanger y las Respuestas de la sensación Térmica de Individuos Bajo Condiciones Climáticas Húmedas", Caracas 1998, 18-20 de Marzo, Ponencia presentada en el *1er Simposio Venezolano de Confort Térmico y Comportamiento térmico de edificaciones*, 3 páginas.

Bravo G., González E., Rodríguez L., Ohnari K. y Morán M. "Sensación Térmica y Confort en Condiciones Cálidas y Húmedas", *Confort térmico y Comportamiento Térmico de edificaciones*,

Maracaibo 2000, IFA - Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, 6 páginas.

Cengel A. Y Boles M. "Termodinamics, An Engineering Approach" New York 1994, McGraw - Hill, Inc., 2<sup>da</sup> Edición.

Cohen M., "Apuntes de Aire Acondicionado", Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas 1986. 2 Tomos.

COVENIN. (22254-95)., Calor y Frío. Limites Máximos Permisibles, Caracas 1995, Comité Venezolanos de Normas Industriales, Fondonorma, 7 páginas.

Da Costa Silva H. "Monitoring Climate for Comfort Prediction", Confort térmico y Comportamiento Térmico de edificaciones, Maracaibo 2000, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, 5 páginas.

Eco, U., "Como se hace una tesis", Buenos Aires 1982, Gedisa, 2da edición, 267 páginas.

Guyton, M., "Tratado de Fisiología Médica de Guyton/Hall" , McGraw-Hill Interamericana, 1997, 995 páginas.

Humbert, F., "Evaluación de las condiciones de temperatura en el área de pintura de una ensambladora de vehículos", Caracas 1998, Tesis Ingeniero Mecánico, Universidad Central de Venezuela, 313 páginas.

Incropera, F. y De Witt, D., " Fundamentals of heat and mass transfer", Canadá 1990, Wiley, 3ª edición, 919 páginas.

ISO (10551)., "Ergonomic of the Thermal Environment. Assesment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgment Scales International organization for Standardization", 1995, 17 páginas.

ISO (7730)., "Moderate Thermal Enviroments. Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for the Thermal Comfort. International Organization for Standardization ", 1994, 27 páginas.

James y James, "Santamouris et al, Passive Cooling of Buildings", Londres 1996.

Universidad Central de Venezuela "Instructivo para elaborar el anteproyecto de trabajo especial", Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Consejo de Escuela, Caracas 1997.

Mago C. T., "Estudio de la Calidad Térmica de ambientes en la Ciudad Universitaria de Caracas (Parte II)", Caracas 1999, Tesis Ingeniero Hidrometeorologista, Universidad Central de Venezuela, 70 páginas.

Nediani G. y Segura J. "Medición Directa de la Radiación Solar Total Incidente Sobre Caracas", Confort térmico y Comportamiento Térmico de edificaciones, Maracaibo 2000, UCV, 6 páginas.

Pita, E., "Acondicionamiento de Aire", México, Editorial Continental. Segunda Edición.1997.

Salas, G., "Manual para la elaboración y redacción de trabajos especiales de grado", Maracaibo 1978.

Segura, J., García, F. y Segura, M. C., " Estudio de la Calidad Térmica de Ambientes en la Ciudad Universitaria de Caracas ", *Confort térmico y Comportamiento Térmico de edificaciones*, Caracas 1998, Segura j., Amézquita U., García F., Hernández N., Siem G. y Sosa M. Editores IDEC, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 6 páginas.

Pedemonte, M. "Rutas Paralelas", Caracas 1986, Arte, 64 páginas.

### **Referencias World Wide Web**

Agosto 2000

<http://www.cop.qva.es/fqv/>

<http://www.alamys.com>

<http://www.metrolisboa.pt>

<http://www.metrovias.com.ar>

Septiembre 2000

<http://www.ashrae.com>

<http://www.asme.org>

[http://suntzu.larc.calpoly.edu/ecs/Arch407\\_F99/thermalcomfort/thermal.htm](http://suntzu.larc.calpoly.edu/ecs/Arch407_F99/thermalcomfort/thermal.htm)

<http://www-fa.upc.es/personals/jroset/esun-058.html>

INDICES EMPIRICOS

Indice	Otros Nombres	Definición	Variables	Formulación	Herramientas Necesarias
Indice de Temperatura y Humedad		Viene determinado por la temperatura de seco y la humedad del aire. Esta definido por medio de una correlación que establece la relación entre las dos variables.	THI: Indice de temperatura y humedad ta: Temperatura de bulbo seco (°C) twb: Temperatura de bulbo húmedo (°C)	$THI = 0.4((1.8t_a + 32) + (1.8t_{wb} + 32) + 2.81)$	-Termómetro de bulbo seco -Termómetro de bulbo húmedo
Indice de Sensación Térmica		Este índice se utiliza para la estimación de la sensación de frio y al evaluarse se debe tomar en cuenta la exposición de las extremidades, entre tanto el resto del cuerpo este protegido.	WCI: Indice de sensación térmica, (Wind Chill Index) (Kcal/m2) Va: velocidad del aire (m/s) ta: Temperatura ambiente (°C)	$WCI = (10.45 - V_a + 10\sqrt{V_a})(123.4 - 1.8 \times t_a) / 1.8$	-Termómetro de bulbo seco -Barómetro
Voto Medio Pronosticado		Este indice trata de predecir la opinion de un gran número de personas en cuanto a sus sensaciones, es decir, si sienten frio o calor en un determinado espacio.	VMP: Voto Medio Pronosticado (predicted mean vote) m: tasa de metabolismo (W/m2) W: Trabajo externo realizado (W/m2). pw: Presión parcial de vapor saturado a ta (Pa). ta: Temperatura de bulbo seco (°C). fcl: Relación entre el área vestida y el área desnuda. tcl: Temperatura superficial de la vestimenta (°C). tmr: Temperatura media radiante (°C). hc: Coeficiente de TdC por convección (W/m2°C).	$VMP = (0.303e^{-0.036m} + 0.028)\{(m - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(m - W) - p_a]\} - 0.42 \times [(m - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} m(5867 - p_w) - 0.001 \times 4m(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-3} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$	-Termómetro de bulbo seco -Anemómetro -Encuestas -Termómetro de globo
Predicción del Porcentaje de Incomodidad		Pronostica el porcentaje de personas que puedan sentirse incómodas partiendo de la escala de sensación térmica de la ASHRAE.	PPD: Predicción del porcentaje de incomodidad (predicted percent dissatisfied) VMP: Voto Medio Pronosticado (predicted mean vote)	$PPD = 100 - 95 \times \exp\left[-(0.03353VMP^4 + 0.2179VMP^2)\right]$	-Termómetro de bulbo seco -Anemómetro -Encuestas
Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo	Indice de Yaglou	Este índice se calcula mediante la ponderación fraccionada de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de globo.	TGBH: Temperatura de globo y bulbo húmedo (°C) twb: temperatura de bulbo húmedo (°C) ta: temperatura de bulbo seco (°C) tg: temperatura de globo (°C)	Interior y exterior de edificaciones sin exposición directa a la energía solar. $TGBH = 0.7 \times t_{wb} + 0.3 \times t_g$ Exterior de las edificaciones con exposición directa a energía solar. $TGBH = 0.7 \times t_{wb} + 0.2 \times t_g + 0.1 \times t_a$	-Termómetro de bulbo seco -Termómetro de bulbo húmedo -Termómetro de globo
Temperatura de Globo Húmedo		Se utiliza para estimar la temperatura de golbo y bulbo húmedo (Yaglou), siendo esta una buena aproximación.	WGT: Temperatura de globo húmedo (°C) TGBH: Temperatura de globo y bulbo húmedo (°C)	$TGBH = 1.044TGH - 1.745$	-Termómetro de globo húmedo

<b>TIPO DE VESTIMENTA</b>	<b>I<sub>CL</sub> (Clo)</b>
<b>ROPA INTERIOR</b>	
Pantaletas	0.03
Calzoncillos largos	0.10
Franelilla	0.04
Camiseta	0.09
Camisa manga larga	0.12
Pantaletas y sostén	0.03
<b>CAMISAS-BLUSAS</b>	
Mangas cortas	0.15
Manga corta, ligera	0.20
Manga corta, normal	0.25
Camisa de franela, manga larga	0.30
Blusa ligera, manga larga	0.15
<b>PANTALONES</b>	
Cortos	0.06
Ligeros	0.20
Normal	0.25
Franela	0.28
<b>VESTIDOS-FALDAS</b>	
Falda ligera, verano	0.15
Falda pesada, invierno	0.25
Vestido ligero de mangas cortas	0.20
Vestido de invierno manga larga	0.40
Fondo Térmico	0.55
<b>SUETERS</b>	
Chaleco sin mangas	0.12
Suéter delgado	0.20
Suéter	0.28
Suéter pesado	0.35
<b>CHAQUETAS</b>	
Chaqueta de verano ligera	0.25
Chaqueta	0.35
Bata corta	0.30
<b>VESTIMENTAS CALUROSAS</b>	
Sudadera	0.90
Pantalones	0.35
Chaqueta	0.40
Chaleco	0.20
<b>ROPA PARA EXTERIORES</b>	
Chaqueta	0.60
Semi Chaqueta	0.55
Abrigo	0.70
Impermeable	0.55
<b>OTROS</b>	
Medias	0.02
Medias espesas de tobillo	0.05
Medias espesas largas	0.10
Medias de nylon	0.03
Zapatos de suela delgada	0.02
Zapatos de suela gruesa	0.04
Botas	0.10
Guantes	0.05

**ANEXOS DEL J.1. AL J.2.**  
**INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

## Extech Hygro-Thermo-Anemometer

*Dual Display of Air Velocity and Temperature or Humidity and Temperature with Built-in RS-232 PC Interface*

### Features:

- Remote low friction vane-type (2.83”D) air flow sensor with Built-in thermistor for temperature
- Airflow measurements in ft/min, m/s, Km/h, MPH, and knots
- Humidity probe with thin-film capacitance sensor measures 10 to 95% Relative Humidity and Temperature 32 to 122°F (0 to 50°C)
- High precision accuracy and resolution
- Complete with humidity & airflow probes on 39(990mm) cable, 9V battery, and case.



## Digital Psychrometer SAM990DW by Mannix

### Model SAM990DW

#### Features

- Electronic Capacitance Type Polymer Film Sensor
- Memory (MIN / MAX)
- Wet Bulb & Dry Bulb Temperature
- Dew Point Measurement
- Measurement Range: -20°C to 50°C (-4°F to 122°F)
- Humidity Accuracy:  $\pm 5\%$  @ 25°C from 10% to 90% RH
- Temperature Accuracy:  $\pm 1^\circ\text{C}$  or  $\pm 1^\circ\text{F}$  (all temperature ranges)





Estación: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Turno: 1  
7 :00 a 8:00 am.



	Tbs [°C]	Tbh [°C]	%HR	V [m/s]	Tgb [°C]
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					

Turno: 2  
9:30 a 10:30 am.

	Tbs [°C]	Tbh [°C]	%HR	V [m/s]	Tgb [°C]
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					

Turno: 3  
12:00 a 1:00 pm.

	Tbs [°C]	Tbh [°C]	%HR	V [m/s]	Tgb [°C]
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					

Turno: 4  
2:30 a 3:30 pm.

	Tbs [°C]	Tbh [°C]	%HR	V [m/s]	Tgb [°C]
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					

Turno: 5  
5:30 a 6:30 pm.

	Tbs [°C]	Tbh [°C]	%HR	V [m/s]	Tgb [°C]
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					

