

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ARQUITECTURA DISEÑO Y ARTES

TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN  
ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD

“ANÁLISIS DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DE ESPACIOS DE  
OFICINAS EN EDIFICIOS UBICADOS EN LA ZONA CLIMÁTICA 5,  
CASO DE ESTUDIO EDIFICIO DEL MUNICIPIO DE TULCAN”

Volumen I

GUSTAVO FRANCISCO VASQUEZ ANDRADE

DIRECTORA: ARQ. MST. SYLVIA JIMÉNEZ

QUITO – ECUADOR  
2017



## **DEDICATORIA**

A mi esposa Adriana Jaramillo, a mis hijos Daniel y Rafaela por ser el motor de todos los días de mi vida; a mis hermanos, sobrinos por ser apoyo incondicional en mi vida. A mis padres (+) que han sido ejemplo de constancia e inculcado los valores principales en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis profesores, por todos aquellos conocimientos compartidos, a mis compañeros de aula, por las vivencias y apoyo durante el tiempo compartido y con especial manera a Santiago, Luis y Marco. Un agradecimiento especial al Alcalde de la ciudad de Tulcán Ing. Julio Robles Guevara, por la apertura y apoyo incondicional para el desarrollo de esta investigación y a todo el personal del Ilustre Municipio de Tulcán.

## Índice

<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de Ilustraciones.....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Gráficos.....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Fotografías .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de Planos .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Imágenes .....</b>	<b>xiv</b>
Resumen .....	xv
Abstract .....	xvi
Introducción.....	1
1. <i>Antecedentes</i> .....	5
1.1    Problemática .....	5
1.2    Justificación .....	6
1.3    Hipótesis .....	8
1.4    Objetivo General .....	9
1.5    Objetivos Específicos .....	9
1.6    Resultados Esperados .....	10
2. <i>Estado Del Arte</i> .....	11
2.1    Autores destacados .....	11
2.2    Estudios realizados .....	15
3. <i>Marco Teórico</i> .....	24
3.1    Sensación térmica.....	24
3.1.1    Metabolismo .....	25
3.1.2    Termorregulación Humana.....	26
3.1.3    Balance térmico .....	28
3.1.4    Ambiente térmico.....	29
3.1.5    Adaptación térmica .....	30
3.2    Confort Térmico .....	31
3.2.1    Teorías del Confort Térmico .....	33
3.2.2    Cartas Bioclimáticas – Diagramas Psicométricos.....	35
3.3    Normativas .....	38
3.3.1    ISO 7730:2005.....	39
3.3.2    ANSI/ASHRAE 55:2004.....	44
3.3.3    ISO 10551:1995.....	45
3.3.4    ISO 7726:1998.....	47

3.3.5	Real Decreto 486/1997.....	48
4.	<i>Metodología</i> .....	49
4.1	Análisis climatológico de la ciudad de caso de estudio .....	50
4.2	Selección caso de estudio .....	55
4.2.1	Parámetros de análisis para caso de estudio .....	57
4.2.2	Selección de los espacios de estudio .....	62
4.3	Tomas de control.....	68
4.4	Diseño de encuesta y Tomas de control .....	70
4.5	Calculadora PMV y PPD .....	72
5.	<i>Resultados</i> .....	74
5.1	Mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa .....	74
6.1	Resultados de encuestas a usuarios .....	81
7.1	Determinación de PMV y PPD de los espacios seleccionados de estudio .....	92
8.1	Modelación de los espacios de estudio .....	94
6.	<i>Conclusiones</i> .....	110
7.	<i>Bibliografía</i> .....	113
8.	<i>Anexo A</i> .....	117
10.	<i>Anexo B</i> .....	118
11.	<i>Anexo C</i> .....	120

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de Zonificación climática del Ecuador.....	7
Figura 2 Muestra de Temperatura (°c) durante 57 días.....	9
Figura 3. Unidad móvil de medición con sensores para relevar los parámetros climáticos de cada lugar de trabajo. ....	17
Figura 4. Personas insatisfechas en los pisos 1, 22 y 47 en horas de la mañana, medio día y horas de la tarde en el edificio Colpatría.....	18
Figura 5. Análisis de Orientación Edificio CESAQ.....	20
Figura 6. Análisis de confort en Sala de Reuniones CESAQ. ....	21
Figura 7. Temperaturas aproximadas del cuerpo humano bajo condiciones de frío y de calor.....	27
Figura 8. Ganancias y Pérdidas de calor del Cuerpo Humano .....	28
Figura 9 Parámetros que determinan el confort térmico. ....	32
Figura 10 Diagrama bioclimático de Olgyay.....	36
Figura 11 Diagrama bioclimático de Givoni. ....	38
Figura 12 PPD en función de PMV.....	43
Figura 13 Datos interanuales de temperatura y humedad relativa entre 1983-2005.....	50
Figura 14. Temperatura y humedad relativa descartando Fenómeno del Niño. ....	52
Figura 15. Temperatura y humedad relativa año 1994.....	53
Figura 16. Temperatura mínima para año 1994.....	54
Figura 17. Diagrama Psicométrico para la ciudad de Tulcán. ....	55
Figura 18, Representación de resultados por medio de Psycho Tool.....	73
Figura 19, Diferencia de Temp. vertical. Jefatura de Personal.....	76
Figura 20, Diferencia de Temp. vertical. Alcaldía.....	76
Figura 21. Relación de Temp (°c) y HR (%) Jefatura de Personal. ....	77
Figura 22. Relación de Temp (°c) y HR (%) Alcaldía. ....	78
Figura 23. Registros de Temp. (°c) y HR (%) durante jornada laboral, Jefatura de Personal.....	79
Figura 24. Registros de Temp (°c) y HR (%) durante jornada laboral, Alcaldía.....	79
Figura 25. Rango de temperatura según Real Decreto 486/1997 para Jefatura de Personal. ....	80
Figura 26. Rango de temperatura según Real Decreto 486/1997 para Alcaldía.....	80
Figura 27. Registro de Temp. (°c) y HR (%) durante período de encuestas, Jefatura de Personal.....	88
Figura 28. . Registro de Temp. (°c) y HR (%) durante período de encuestas, Alcaldía.....	92
Figura 29. Resultados de PMV y PPD dentro de diagrama psicométrico. Jefatura de Personal. ....	93
Figura 30. Resultados de PMV y PPD dentro de diagrama psicométrico. Alcaldía.....	94
Figura 31. Correlación de datos para temperatura del aire en Jefatura de Personal .....	102
Figura 32. Resultados de modelación en Jefatura de Personal.....	103

Figura 33. Correlación de datos para temperatura del aire en Alcaldía .....	104
Figura 34. Resultados de modelación en Alcaldía. ....	105
Figura 35. Registro de amplitud térmica por medio de la modelación para las dos dependencias analizadas .....	106
Figura 36. Resultados de modelación durante encuesta para Jefatura de Personal .....	107
Figura 37. Resultados de modelación durante encuesta para Alcaldía. ....	107
Figura 38. Iluminancia en Jefatura de Personal. ....	108
Figura 39. Iluminancia en Alcaldía. ....	108

## Índice de Tablas

Tabla 1. Definición de Zonas Climáticas para el Ecuador. ....	7
Tabla 2 Tasas metabólicas. ....	26
Tabla 3. Definiciones de Variables que intervienen en el ambiente térmico .....	30
Tabla 4 Escala de sensación térmica de siete niveles. ....	42
Tabla 5 Distribución de los votos de sensación térmica para diferentes valores de voto medio. ....	43
Tabla 6 Tipos de juicio para análisis de sensación térmica. ....	46
Tabla 7. Protocolos de medición para los instrumentos de medidas. ....	69
Tabla 8. Cantidad de encuestas diarias por método estadístico para validar la muestra .....	72
Tabla 9. Registros mínimos y máximos de Temp Ambiente (°c) y Humedad Relativa (%) para Jefatura de Personal y Alcaldía.....	78
Tabla 10, Registros mínimos y máximos de Temp (°c) y HR (%) durante jornada laboral para Jefatura de Personal y Alcaldía.....	79
Tabla 11. Resultados de encuesta sobre sensación térmica personal, Jefatura de Personal .....	84
Tabla 12. Resultados de encuesta sobre el ambiente térmico, Jefatura de Personal. ....	87
Tabla 13. Resultados de encuesta sobre sensación térmica personal, Alcaldía .....	89
Tabla 14. Resultados de encuesta sobre el ambiente térmico, Alcaldía .....	89
Tabla 15. Valores para cálculo de PMV y PPD en espacios de estudio seleccionados .....	92
Tabla 16. Corroboración de resultados obtenidos de los espacios analizados.....	109
Tabla 17 Datos interanuales de temperatura entre 1983-2005.....	118
Tabla 18 Datos interanuales de Humedad Relativa entre 1983-2005. ....	118
Tabla 19 Datos interanuales de temperatura descartada Fenómeno del Niño. ....	119
Tabla 20 Datos interanuales de Humedad Relativa descartado Fenómeno del Niño.....	119
Tabla 21 Protocolo para la toma de muestras. ....	122
Tabla 22. Resumen de respuestas de encuesta realizada en Jefatura de Personal.....	123
Tabla 23. Resumen de respuestas de encuesta realizada en Alcaldía .....	124

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 El mecanismo de adaptación del confort térmico. ....	35
Ilustración 2. Esquema de implantación del edificio de caso de estudio y fachadas .....	57
Ilustración 3. Esquema de ubicación de caso de estudio dentro de entorno inmediato.....	59
Ilustración 4, Esquema en corte de ubicación de espacios de estudio seleccionados. ....	63
Ilustración 5. Diseño de encuesta. ....	121

## Índice de Gráficos

Gráfico 1. Implantación Caso de Estudio. ....	56
Gráfico 2. Entorno Inmediato. ....	58
Gráfico 3. Orientación y asoleamiento anual. ....	60
Gráfico 4. Asoleamiento Fachada Principal en el edificio de Caso de Estudio a las 16:00 horas ....	60
Gráfico 5. Asoleamiento Fachada Posterior en el edificio de Caso de Estudio a las 9:30 horas ....	61
Gráfico 6. Orientación y Asoleamiento Alcaldía ....	64
Gráfico 7. Orientación y Asoleamiento Jefatura de Personal ....	66
Gráfico 8. Sensación térmica referente a temperatura ambiente en Jefatura de Personal ....	85
Gráfico 9. Resultados en porcentajes de percepción del ambiente térmico en Jefatura de Personal ....	86
Gráfico 10. Sensación térmica referente a temperatura en Alcaldía. ....	90
Gráfico 11. Resultados en porcentajes de percepción del ambiente térmico en Alcaldía ....	91
Gráfico 12. Datos de sitio para modelación de edificio del caso de estudio ....	95
Gráfico 13. Datos ingresados para Actividad de la modelación. ....	96
Gráfico 14. Plantilla de Horario para modelación del caso de estudio ....	97
Gráfico 15. Materiales que forman las paredes del caso de estudio.....	98
Gráfico 16. Materiales ocupados para entresijos del edificio de caso de estudio ....	98
Gráfico 17. Tipo de acristalamiento ocupado para modelación del caso de estudio ....	99
Gráfico 18. Tipo de iluminación empleada para la modelación del caso de estudio ....	99
Gráfico 19. Sistema HVAC para modelación del caso de estudio.....	100
Gráfico 20. Modelo simplificado del edificio de caso de estudio.....	101

## Índice de Fotografías

Fotografía 1. Panorámica de plaza principal de ciudad de Tulcán.....	56
Fotografía 2. Fachadas edificio Caso de Estudio .....	62
Fotografía 3, Hobo Data Logger UX 100-003.....	68
Fotografía 4. Termómetro de globo negro marca KESTREL 4400.....	70
Fotografía 5. Cámara termográfica modelo Flir i5.....	70
Fotografía 6. Ubicación de Loggers de la temperatura ambiente y la humedad relativa en Jefatura de Personal.....	74
Fotografía 7. Ubicación de Loggers de la temperatura ambiente y la humedad relativa en Alcaldía.....	75
Fotografía 8. Personal encuestado, tipo de actividad y vestimenta.....	82
Fotografía 9. Toma de temperatura corporal a los encuestados.....	83

## Índice de Planos

Plano 1 Ubicación oficina de la Alcaldía.....	64
Plano 2 Ubicación Jefatura de Personal.....	66
Plano 3. Esquema colocación de Loggers de temperatura ambiente y la humedad relativa en Alcaldía y Jefatura de Personal.....	75

## Índice de Imágenes

Imagen 1 Oficina de la Alcaldía. Modelación Iluminación 13/03/2017; 9:30 am.....	67
Imagen 2 Jefatura de Personal. Modelación Iluminación 13/03/2017; 15:30 pm.....	68

## **Resumen**

La búsqueda de la calidad ambiental dentro de los espacios de trabajo en los edificios de oficinas, cada vez va ganando terreno en todo el mundo, la necesidad de crear espacios confortables para los usuarios determina la productividad de los mismos. Es por eso que se ve la necesidad de realizar un análisis del confort térmico dentro de ellos, con la finalidad de analizar y evaluar las condiciones actuales de dichos espacios en base a las normas internacionales ISO7730:2005, ISO 10551:1995, ANSI/ASHRAE 55:2004 y el Real Decreto 486/1997. Para esta investigación se ha tomado como caso de estudio espacios del edificio del Municipio de Tulcán, el cual se encuentra ubicado, en la zona climática 5 de condiciones frías (INER, 2016); la metodología a ser usada toma parámetros de las normas antes mencionadas, complementadas por mediciones en sitio, encuestas y simulaciones; para determinar los niveles de confort térmico al cual están expuestos sus ocupantes. Los resultados obtenidos indican niveles que están por dentro de los rangos permitidos en las normas mencionadas, esto gracias a la correcta ganancia térmica interna ocasionada por el tipo de orientación y asoleamiento que posee el edificio, a pesar de encontrarse en un clima de condiciones frías.

## **Abstract**

The search for environmental quality within workspaces in office buildings is gaining momentum all over the world. The necessity of the provision of comfortable spaces for users determines their productivity. Therefore to perform thermal comfort analysis of office building, based on norms ISO7730: 2005, ISO 10551: 1995, ANSI/ASHRAE 55:2004 and the Royal Decree 486/1997. For this research paper a case study at work spaces of the office building of the Municipality of Tulcan has been selected, within climate zone 5 of cold conditions (INER, 2016); the methodology used takes parameters from the previously mentioned norms, complemented by onsite measurements, surveys and simulations to determine the levels of thermic comfort to which the occupants are exposed. The results obtained indicate levels that are within the permitted range of the norms mentioned, due to the proper internal thermic gain caused by the type of orientation and exposure to the sun of the building, in spite of being located in a cold climate.

## Introducción

La calidad ambiental interior en los espacios de trabajo ha llegado a tener más énfasis a partir de finales del siglo XX, actualmente en los países industrializados los usuarios que ocupan estos espacios, dedican entre el 80-90% de su tiempo a realizar sus actividades dentro de ellos. Así mismo la cantidad de trabajadores ha ido en aumento durante las últimas décadas para habitar dichos espacios, en consecuencia ha producido un interés creciente por conocer las condiciones en la cuales los trabajadores desarrollan sus actividades y por ende una necesidad de buscar mejoras.

Para iniciar este estudio es indispensable definir lo que se considera como calidad del ambiente interior, la Real Academia de la Lengua (RAE), define a ambiente como: *“Conjunto de condiciones o circunstancias físicas, sociales, económicas, etc., de un lugar, una colectividad o una época.”*. De igual forma, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), de España, define a la calidad térmica del ambiente como: *“las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables para los usuarios de los edificios.”*(Ministerio de Industria, 2013). Con estos dos enunciados podemos dar la siguiente definición de calidad del ambiente interior, la cual podría ser: *“El conjunto de condiciones o circunstancias físicas, sociales y económicas, que permitan mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados.”*

La calidad ambiental interior está formada por varios factores, los cuales determinan el nivel de confort adecuado para sus ocupantes, y estos factores son: químicos, biológicos y físicos. Dentro de los factores físicos se trata todo lo relacionado con condiciones higrotérmicas o confort térmico las cuales están directamente relacionadas con la sensación térmica de los trabajadores, el mismo que resulta ser difícil de ser cuantificado ya que cada individuo tiene una apreciación muy particular en relación a la sensación térmica, convirtiéndose en un factor subjetivo de cada uno. (Ruiz Ruiz, 2010)

En las últimas décadas y a la par de un correcto crecimiento de la calidad ambiental interior de los espacios de oficinas con la incorporación de los criterios de sostenibilidad y eficiencia energética, se suma la validación de la psicología ambiental, la cual relaciona

la percepción del usuario sobre el confort al cual está expuesto, con su eficiencia y el desempeño laboral que realiza durante la jornada.

La relación directa que debe existir entre el espacio de trabajo con el medio ambiente, ha implicado un cambio en la forma de cómo se diseñan las nuevas tipologías de los edificios de oficinas desde mediados del siglo XX. Después de la Segunda Guerra Mundial, los adelantos tecnológicos de la época, y con la mecanización controlada de los ambientes interiores, ha llevado a construir y diseñar edificios con espacios interiores totalmente herméticos y separados del medio ambiente, inclusive aquellos con fachadas de muro cortina, en donde existe un control mecánico total del espacio en el que el trabajador desarrolla sus actividades.

En las últimas décadas esta tipología de edificación que posee un control mecánico de sus espacios interiores, también ha desarrollado la denominada planta libre, entendida como una superficie neutra dentro de un espacio uniforme, elemento característico de la tipología moderna de los edificios de oficinas. Dicha tipología de flexibilidad en los puestos de trabajo, fue su principal ventaja, pero a partir de la revalorización de la relación entre el espacio interior y medio ambiente, este concepto de flexibilidad fue perdiendo fuerza, ya que con la incorporación de las variables ambientales dentro de la edificación, se rompe el esquema de un espacio neutro y más bien pasan a ser ambientes totalmente diferenciados. Como manifiesta Prieto, “...*Los agentes ambientales externos inciden en el interior de diversas maneras, al interactuar con los requerimientos de confort de los trabajadores..*” (Prieto, 2012); Es así, que la relación directa entre trabajadores y medio ambiente externo cada vez va tomando más protagonismo dentro del diseño de los nuevos edificios para oficinas, ya sea para resolver corrientes de aire fresco en los puestos de trabajo o de poseer una vista directa hacia el exterior, todo esto con el afán de generar una calidad ambiental interior más óptima para sus ocupantes.

Actualmente las nuevas tipologías de los edificios de oficinas, tratan de resolver el problema de una relación directa entre el espacio de trabajo interior y el ambiente exterior, como pueden ser observados en algunos países de Europa, como es el caso de la

Cede Central del Commerzbank en Frankfurt Alemania diseñada por Foster + Partners en 1997, en donde se ha tratado de romper con la concepción del edificio hermético por medio de un rechazo total a la planta libre y de incluir regulaciones que buscan mejorar los niveles de confort ambiental de los trabajadores dentro de los espacios de oficinas; de esta manera se ha vuelto normal que la mayoría de los trabajadores tengan un acceso directo a una ventana, mejorando con esto la teoría de la psicología ambiental.

En base a los conceptos de la psicología ambiental, se han desarrollado estudios entre la relación que existe entre el ser humano y el ambiente térmico que lo rodea, definidos como confort higrotérmico o confort térmico, y que es definido por la Norma ISO 7730:2005 como *“aquella condición mental que expresa satisfacción entre el ser humano y el ambiente térmico que lo rodea”* (Standarization, 2006).

Dentro de los estudios de confort térmico, según Humphreys y Nicol (1998), existen dos enfoques: el de predicción y el de adaptación. Según el enfoque de predicción se trabaja con datos obtenidos dentro de un laboratorio, en condiciones controladas con un individuo aislado de su hábitat en donde se convierte en un receptor pasivo a la espera del balance térmico y el estudio se vuelve de tipo fisiológico.

A su vez, el enfoque del modelo adaptativo desarrollado por Humphreys, de Dear y Brager, Nicol (1998) además de otros investigadores; trabaja con datos obtenidos en campo con las variaciones propias de este y se estudia al humano en su propio hábitat, también toma en cuenta las reacciones fisiológicas y las psicológicas considerando al ser humano como un receptor activo en la búsqueda del confort térmico.

Como podemos ver la calidad del ambiente interior dentro de los espacios de oficinas, ha ganado terreno en las últimas décadas y se ha vuelto parte indispensable al momento del diseño de dichos espacios; es por tal razón que el objetivo de este trabajo de titulación es determinar el nivel de confort térmico dentro de espacios de oficinas definidos y reales a los cuales están expuestos sus ocupantes, en un medio ambiente considerado frío en una

región específica. Para lo cual se plantea realizar un estudio de tipo correlacional entre mediciones de las condiciones ambientales de los espacios versus las sensaciones percibidas por los usuarios.

## 1. Antecedentes

### 1.1 Problemática

Como se ha indicado, la calidad ambiental interior en los espacio de trabajo ha ganado terreno en las últimas décadas, y parte muy importante de la calidad ambiental interior es el confort térmico o confort higrotérmico, es así que la Dirección de Seguridad e Higiene de ASEPEYO en España manifiesta que:...*“La valoración del confort térmico reviste cada día mayor importancia, ya que cada vez es más importante el porcentaje de trabajadores que desarrollan su actividad en el sector de oficinas, hospitales, tiendas, etc... en los cuales las situaciones de estrés térmico solo se dan de forma excepcional. En estas actividades, en cambio, son frecuentes los problemas asociados a la falta de confort térmico”*... (ASEPEYO, 2005).

En el Ecuador existe el Decreto Ejecutivo 2393, en el cual se determinan ciertos parámetros para mejorar la calidad ambiental interior en pro de sus ocupantes, los cuales deben ser revisados por las Municipalidades de todo el país, en su fase de aprobación de planos y exigir que dichos parámetros sean incorporados en los diseños planteados. (IESS, 1998). Así mismo dentro de dicho decreto en sus artículos 53 y 54, se hace referencia a lo relacionado a la ventilación, temperatura, humedad y calor, de una forma muy genérica y sin mayores especificaciones, sin definir rangos necesarios y óptimos de confort térmico para los espacios interiores de oficinas.

Por lo anteriormente expuesto, la determinación de los niveles de las condiciones térmicas a las cuales están expuestas los trabajadores en nuestro país, es de vital importancia; y a su vez dichos niveles deben ser analizados bajo parámetros establecidos en normas internacionales, tales como la ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2004 y el Real Decreto 486/1997, en donde se establecen cuáles son los rangos permitidos a los cuales deben estar expuestos los trabajadores en los espacios interiores de trabajo; ya que la norma vigente para nuestro país es muy limitada en lo relacionado a confort térmico en los espacios de oficinas.

## **1.2 Justificación**

La calidad ambiental en los espacios interiores de las edificaciones se ha visto como un problema a partir de finales de los años 60s, en la actualidad en los países industrializados los habitantes de las ciudades pasan entre el 80-90% de su tiempo dentro de estos espacios cerrados, adicionalmente con una mala calidad ambiental interior puede afectar de una manera seria a sus ocupantes.

Esta condición de los lugares de trabajo ha sufrido un aumento notable en las últimas décadas con lo cual ha generado un interés creciente por determinar cuáles son estas condiciones y paralelamente generar propuestas de mejoras. (Ruiz Ruiz, 2010)

De acuerdo al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), el Ecuador continental, posee tres regiones: costa, sierra y Amazonía, las mismas que presentan diferentes condiciones climáticas definidas por la ubicación, altitud, la presencia de la Cordillera de los Andes y la influencia marítima; por tales características y junto a la categorización realizada por la ASHRAE para el Ecuador, el INER ha definido seis zonas climáticas para este país, como se indica en la Figura 1 y en la Tabla 1.

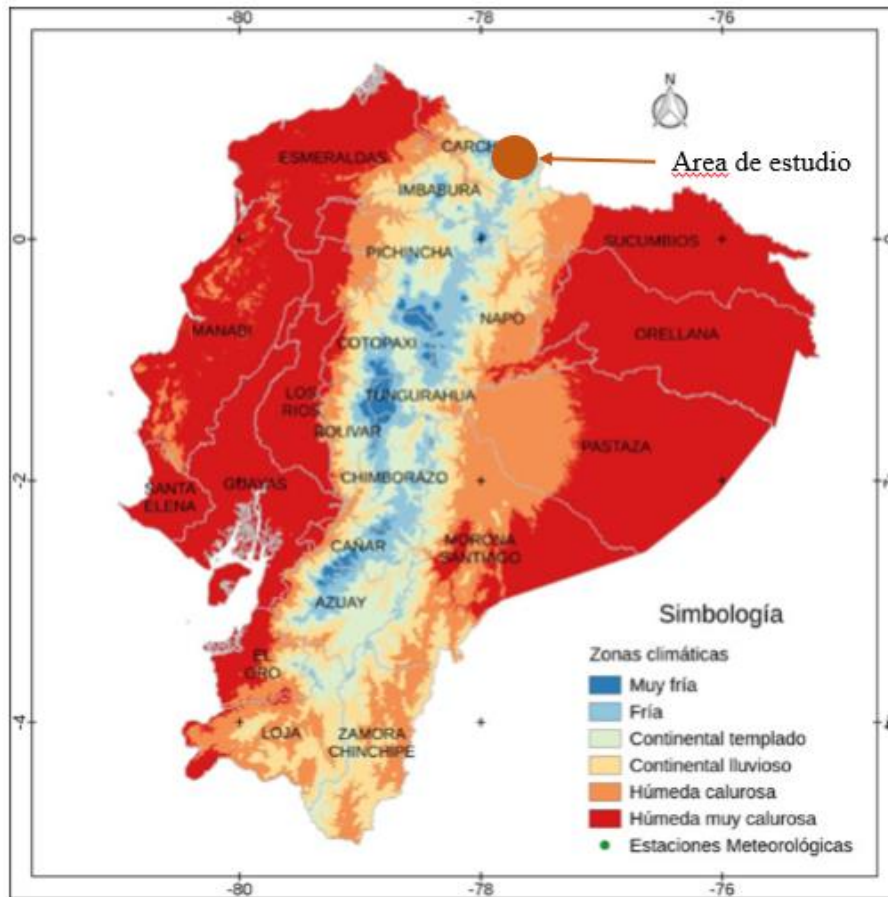


Figura 1. Mapa de Zonificación climática del Ecuador.

Fuente: (INER, 2016)

ZONA CLIMÁTICA	NOMBRE	LOCALIDADES DE REFERENCIA	CRITERIO TÉRMICO
1	Húmeda muy calurosa	Guayaquil, Esmeraldas, Nueva Loja, Machala, Santa Elena	$5000 < CDD 10^{\circ}C$
2	Húmeda calurosa	Tena, Puyo, Macas	$3500 < CDD 10^{\circ}C \leq 5000$
3	Continental lluviosa	Quito, Loja, Cuenca	$CDD 10^{\circ}C \leq 2500$ y $HDD 18^{\circ}C \leq 2000$
4	Continental templada	Ibarra, Ambato, Azogues	$2000 < HDD 18^{\circ}C \leq 3000$
5	Fría	Latacunga, Riobamba, Tulcan	$3000\text{ m} < \text{altura} \leq 5000$
6	Muy fría	Páramos	$5000\text{ m} < \text{altura}$

Tabla 1. Definición de Zonas Climáticas para el Ecuador.

Fuente: (INER, 2016)

Como se puede ver en la Tabla 1, la ciudad de Tulcán se encuentra catalogada dentro de la Zona Climática 5, definida como una zona fría en alturas entre los 3000 hasta 5000 msnm; por esta característica geográfica se da a que los espacios interiores de las

edificaciones sean más propensos a generar un cierto nivel de discomfort en los ambientes internos. Es por tal razón que la determinación de los niveles de confort térmico que hacen parte de la calidad ambiental en los espacios interiores de oficinas, es de carácter necesario.

Así y a su vez, y según lo determina el Real Decreto 486/1997, las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben ofrecer los lugares de trabajo, establecen las condiciones mínimas ambientales que deben regir en estos espacios. Como norma básica se establece que los ambientes de trabajo no deben ser un riesgo para la seguridad y salud de sus ocupantes y en lo posible se debe evitar que dentro de estos ambientes se genere discomfort. (Boletín Oficial del Estado (B.O.E.), 1997)

De igual manera y como se mencionó anteriormente, la falta de una normativa clara y específica en cuanto tiene que ver a confort térmico en espacios de oficinas en nuestro país, se plantea ocupar para esta investigación las normas internacionales: ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2004 y el Real Decreto 486/1997, en las cuales se indican claramente los rangos permitidos y óptimos de confort térmico a los cuales deben estar expuestos los usuarios de dichos espacios. Además la ciudad de Tulcán por estar catalogada como un clima frío, con una temperatura media anual de 11,4°C; es propicia para que los espacios interiores de oficinas se encuentren por fuera de los rangos permitidos para confort térmico por las normas antes mencionadas, y la determinación de los niveles de confort térmico mencionados a los cuales están expuestos sus ocupantes, es de carácter necesario.

### **1.3 Hipótesis**

*Dentro de los espacios de oficina, el correcto desempeño laboral de sus ocupantes está ligado directamente al nivel de calidad ambiental interior que pueda ofrecer el espacio, y por ende al rango de confort térmico que se presenta en dicho lugar. La ciudad de Tulcán por tener un clima de condiciones frías, con una temperatura media anual de*

11,4°C (ver Figura 2), presenta condiciones propicias para que los niveles de confort térmico dentro de los espacios de oficinas estén por fuera de los rangos permitidos, generando condiciones de desconfort a los usuarios. En estas condiciones ¿Cuál es el nivel de confort térmico que puede presentar un espacio de oficina en un clima frío como el de la ciudad de Tulcán?

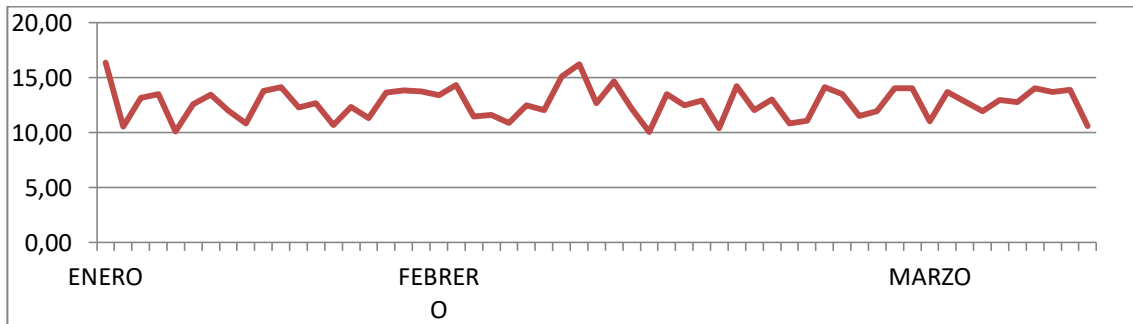


Figura 2 Muestra de Temperatura (°C) durante 57 días.

Fuente: (METAR, 2017)

#### 1.4 Objetivo General

Definir los niveles de confort térmico para los espacios seleccionados de oficinas dentro del edificio de caso de estudio Municipio de Tulcán, ubicado sobre los 3000msnm en una zona climática fría del Ecuador.

#### 1.5 Objetivos Específicos

- Establecer los niveles de confort térmico actuales en los espacios de estudio, para determinar si se encuentran dentro de los rangos permitidos de acuerdo a las normas ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2004 y el Real Decreto 486/1997.
- Evaluar la sensación térmica y el ambiente térmico, percibido por los usuarios de los espacios seleccionados de estudio, por medio de escalas de juicio subjetivo mediante encuestas a dichos usuarios de acuerdo a la norma ISO 10551:1995.

- De ser necesario, proponer estrategias para mejorar el confort térmico de los espacios seleccionados de estudio, en base a los resultados de los objetivos anteriores.

## **1.6 Resultados Esperados**

Posterior a la obtención de los resultados del análisis de confort térmico de los espacios seleccionados dentro del edificio de caso de estudio, y de los resultados de tipo subjetivo por parte de los usuarios sobre el ambiente térmico; determinar si los ambientes estudiados se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normativas internacionales en lo referente a confort térmico.

Con la investigación desarrollada formular un marco metodológico, el mismo que pueda ser ocupado en otras ciudades con características climatológicas y ambientales similares a las de la Zona 5 del Ecuador, y que el caso de estudio de esta investigación sea referente en este tipo de condiciones ambientales.

## **2. Estado Del Arte**

El estado del arte que hace parte de esta investigación se lo ha dividido en dos partes, la primera con una reseña de los autores más destacados en el estudio del confort térmico, y la segunda parte con análisis de casos de estudio relacionados con el análisis del confort térmico en espacios interiores de edificaciones.

### **2.1 Autores destacados**

En la bibliografía revisada sobre el tema, se hace referencia a la investigación realizada por Gonzalo Bojórquez Morales, en su Tesis Doctoral “Confort Térmico en Exteriores”, en la cual hace una síntesis cronológica de los autores más destacados en el tema sobre confort térmico, mismos autores que los clasifica de acuerdo a los enfoques de estudio, trabajos sobre confort térmico y estudios sobre arquitectura. (Bojorquez Morales, 2010)

Es así que en lo que respecta a los enfoques de predicción sobre confort térmico, indica que los precursores en este campo fueron Hougten y Yaglou, los mismos que en el año de 1920 desarrollaron la llamada “zona de confort térmico”, la cual se basaba en el modelo de temperatura efectiva, y en el año de 1947 Yaglou manifestó que dicho modelo de temperatura efectiva sobrestimaba los efectos de la humedad relativa en la presencia de temperaturas bajas. Así mismo en 1957 trabajando en equipo con Minard desarrollaron el índice de Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo (WGBT).

En 1932 Vernon y Wagner junto con Bedford en Inglaterra, realizan trabajos sobre higiene industrial dentro de la revolución industrial, marcando la pauta para los llamados modelos empíricos. A su vez Winslow, Herrington y Gagge en 1937 desarrollan los trabajos de tipo analítico y presentan un índice de confort térmico denominado

temperatura operativa; y entre 1932 y 1933 se desarrolla por parte de Dufton el índice conocido como temperatura equivalente.

De estos autores el que más se destaca es Bedford, a quien se lo considera como el precursor del enfoque adaptativo con su escala de sensaciones térmicas, las mismas que se las utiliza hasta la actualidad, adicional desarrollo el índice de calor equivalente y realizo modificaciones al modelo de temperatura equivalente planteado por Dufton. El índice de temperatura resultante fue desarrollado por Missérnard en Francia, el mismo que desarrolla estudios relacionados al efecto que tiene el ambiente térmico sobre los usuarios por medio del uso de encuestas dentro de espacios de prueba.

Uno de los autores más citados dentro de los trabajos realizados sobre confort térmico es Fanger, el mismo que en los años 70's y 80's con el desarrollo de la ecuación de confort de Fanger (FCE), la Predicción del Voto Promedio (PMV) y la Predicción del Porcentaje de Disconfort (PPD), se destacan por ser investigaciones de tipo meticulosas y detalladas en la relación que tiene el cuerpo humano con el ambiente térmico que lo rodea; es por tal razón que en ellos se basa la norma ISO 7730 que trata sobre el confort térmico en espacios interiores.

El modelo de la nueva temperatura efectiva, es el resultado de varios estudios realizados por Gagge y Nishi asociados con González y otros con Stolwijk, el cual se basa en el modelo de los dos nodos con la temperatura efectiva; así mismo otra aportación fue la temperatura efectiva estándar, en la cual se incluyen una escala de votos y el efecto fisiológico. Una de las aportaciones propias de Gagge es el índice de sensación térmica.

En lo que tiene que ver al enfoque de adaptación, están los estudios realizados por Webb en 1959, los mismos que se especializaron en climas sobre la franja ecuatorial, con aportaciones sobre investigaciones realizadas en Malasia y Singapur en donde se desarrolló en índice de Confort Ecuatorial. Dichas investigaciones se basan en análisis mediante observaciones, encuestas y mediciones de la velocidad del aire, humedad

relativa y la temperatura del aire. Estos estudios de los considera como las primeras investigaciones con una tendencia hacia el enfoque adaptativo.

En el enfoque adaptativo, McIntyre, desarrollo parte de las bases teóricas para sustentar dicho enfoque, los trabajos desarrollados se relacionan sobre el desarrollo y análisis en las escalas del confort, sensaciones subjetivas y variables meteorológicas; así también las variables del ambiente construido y los efectos del aislamiento por vestimenta, todas involucradas en el confort térmico.

En 1975 Humphreys, fue quien dio inicio formal a las investigaciones y estudios con un enfoque de adaptación, ya que al realizar estudios de campo revelo una relación estadística significativa dentro de las neutralidades térmicas en las cuales se indicó un mínimo de estrés en las escalas subjetivas, en los niveles medios de la temperatura del aire o temperatura de globo, que fueron experimentadas por sujetos de estudio durante un periodo de tiempo de aproximadamente un mes.

Los análisis realizados en 1976, sustituyeron a la temperatura interior por la media exterior, encontrando resultados muy parecidos en edificaciones que contaban con sistemas de acondicionamiento de aire. Así mismo en el 2007 con uno de los trabajos más recientes de Humphreys, trata sobre la variación de las sensaciones térmicas dentro de la escala de la ASHRAE.

Otro de los autores que se ha destacado por trabajos realizados sobre ambiente térmico, confort y clima con su influencia en la morbilidad y mortalidad es Auliciems; además de sus trabajos donde se desarrolló correlaciones parecidas a las de Humphreys, para las cuales utilizo una base de datos amplia en las que se incluía edificaciones con ventilación natural y con acondicionamiento mecánico. De sus trabajos más destacados es la revisión realizada en 1981 donde se destacaba la tendencia sobre un modelo psicofisiológico en la percepción térmica; además de trabajos realizados en conjunto con de Dear, Webb,

Szokolay, Fagance y Kevan con los cuales se realizaron investigaciones sobre Bioclimatología Humana.

Algunos de los trabajos importantes de tipo adaptativo realizados por Griffiths, este obtiene resultados parecidos a los de Humphreys, adicionalmente realiza otras investigaciones especializadas en referencia a la radiación solar y el efecto que produce dentro del confort térmico, así como también la relación directa que existe entre el confort térmico y el ahorro energético en los edificios. También esta la marcada influencia que tuvo Humphreys sobre Nicol, el cual se ha mantenido en defender el enfoque adaptativo con sus investigaciones sobre el ambiente térmico y la influencia sobre los ocupantes; la autorregulación humana, el tiempo de exposición, variación climática, normas y sustentabilidad. Además de una participación importante dentro de los trabajos liderados por de Dear y Brager en el proyecto RP-884 de la ASHRAE.

De Dear ha desarrollado varias investigaciones en lo referente al enfoque de adaptación, ventilación natural, preferencias térmicas, confort y modelos para exteriores además de otros trabajos realizados. Uno de sus trabajos más destacados es su revisión sobre confort térmico en ambientes construidos en 1998. Cabe recalcar que la posición ganada de líder a nivel internacional fue su participación y dirección del proyecto RP-884 de la ASHRAE, la cual dio origen a los cambios que posteriormente se haría a la norma sobre confort térmico ANSI/ASHRAE 55-2004.

Otro de los investigadores que ha realizado trabajos referentes al desarrollo sobre los modelos de adaptación, confort, preferencias térmicas y ventilación natural, fue Brager, el mismo que en su revisión en 1998 presento un modelo conceptual de adaptación, efecto fisiológico, ambiente térmico, experiencia y expectativa sobre la aclimatación, además de estudios con cámaras climáticas y como se revela la adaptación en ellos. También realizo trabajos de campo, modelos de predicción, tipos de clases de estudio (I, II Y III), controles de temperatura sobre climatización en edificaciones, efectos por ventilación natural y aire acondicionado y finalmente normas sobre confort térmico. Su participación en el proyecto

RP-884 de la ASHRAE también es destacable, en el cual trabajo como responsable en varios de los proyectos individuales.

## **2.2 Estudios realizados**

Las edificaciones que se han emplazado en climas fríos, se caracterizan por tratar de aislarse de las condiciones ambientales adversas, la hermeticidad y la captación directa de la radiación solar por medio del uso de masas acumuladoras de inercia térmica, son factores importantes al momento del diseño. (Baixas, 2014)

Es así como María López de Asiain Alberich, en su publicación “Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura”, enumera algunos consejos generales a la hora del diseño y construcción de edificaciones emplazadas en climas fríos; tales como: las edificaciones deben agruparse entre sí para marcar una protección del viento; las construcciones deben ser compactas, fuertemente aisladas y herméticas, con un mínimo de superficie expuesta al frío exterior para que el calor interior de la edificación se mantenga; a pesar de esta condición de hermeticidad y cuando el grado de radiación solar permita un asoleamiento adecuado del edificio debe ser aprovechado sin descuidar las condiciones de frío exteriores.(Alberich, 2003).

Otro de los fundamentos importantes a la hora de diseño de los edificios que se van a implantar en climas con condiciones frías, es el tipo de emplazamiento en relación a su orientación con el astro sol. Para el caso de Ecuador por encontrarse en la Zona ecuatorial, la recomendación para el emplazamiento de edificios en climas fríos es norte-sur dejando al este y al oeste las caras más grandes y expuestas y es en donde se debe tratar de captar la mayor cantidad de calor proveniente del sol.

Otro recurso que se puede ser recomendado es el uso de captadores solares como lo demuestra Luis Velasco Roldan, en su investigación sobre el uso de captadores solares

en edificaciones en climas fríos, demostrando la eficiencia que pueden llegar a tener con su uso. (Roldán, 2016). Así también el arquitecto Luis de Garrido en su proyecto Casa Pavón en la ciudad de Barcelona, propone como innovación el uso de bloques de maderacemento por tener un mayor grado de aislamiento térmico en época invernal con un coste más bajo que el de la construcción tradicional, además la calefacción para esta vivienda en invierno proviene por la implementación del efecto invernadero y la utilización de suelos radiantes.

Para esta investigación y como investigaciones de referencia se han escogido tres casos particulares, en los cuales se trata los temas relevantes al confort térmico interior en edificaciones. Estos tres casos son: Caso 1: Predicción del Índice de Disconformidad Térmica en espacios de oficina considerando el diagnóstico de usuarios (Kuchen, 2009); Caso 2: Problemas de Confort Térmico en Edificios de Oficinas. Caso de estudio: Torre Colpatria en la Ciudad de Bogotá (Alonso, 2012); Caso 3: Confort Higrotérmico, Estándares y Aplicación en el Medio Construido (Jiménez, 2011)

### *Caso 1*

En Argentina el grupo de investigadores de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), realiza una investigación dentro de edificaciones en la cual se desarrolla un método basado en mediciones y encuestas por medio de una unidad móvil equipada con sensores para las mediciones y adicional un cuestionario sobre el ambiente térmico.

Los análisis se los realizan en 30 edificios ubicados en Alemania divididos en tres tipos de tipologías, la primera basada en edificios sin climatización, la segunda en edificios con climatización parcial y la tercera con edificios con climatización total. Se desarrollan tres tipos de mediciones, la primera durante la mañana hasta las 12:00 horas, la segunda medición que va desde las 12:00 hasta las 14:00 y la tercera a partir de las 14:00, esto permite recolectar datos durante toda una jornada laboral y a la par se realizan las

encuestas a los ocupantes de los edificios para determinar el juicio subjetivo del ambiente térmico basada en la escala de 7 puntos planteada por la ASHRAE y la ISO 10551:2002.

Los datos recopilados por la unidad de medición son: temperatura del aire, temperatura operativa, temperatura de punto de rocío, asimetría de radiación y velocidad del aire. Para la temperatura operativa se considera al usuario sentado trabajando por lo cual el medidor se lo ubica a 1,10m desde el piso. Para la recolección de esta información los investigadores se basan en protocolos indicados en normas internacionales como la ISO 7730 y la ISO 7726:1998

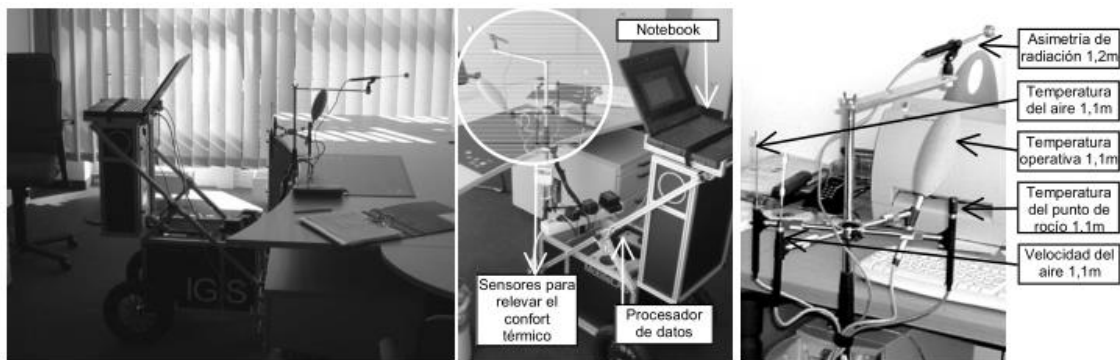


Figura 3. Unidad móvil de medición con sensores para relevar los parámetros climáticos de cada lugar de trabajo.

Fuente: (Kuchen, 2009)

Al correlacionar los datos recopilados tanto objetivos como subjetivos se llega a desarrollar una fórmula con la cual se puede determinar la disconformidad térmica local. En los resultados presentados la temperatura de confort resulta ser de 23°C con un porcentaje mínimo de disconformidad del 7%. (Kuchen, 2009).

Las conclusiones a las que llegan los investigadores es que la evaluación del confort térmico a la que están expuestos los ocupantes de los diferentes tipos de edificaciones tienen claras diferencias sobre la aceptación térmica de los usuarios es así que los usuarios en edificaciones con ventilación natural tienen un contacto más frecuente con el exterior

y por ende son más tolerantes a diferencias más amplias en cuanto a temperatura operativa; a su vez los usuarios de las edificación con un control total de climatización experimentan mínimas diferencias de temperatura por lo cual son más sensibles a los cambios de temperatura dentro de los espacios.

## Caso 2

Otro caso de estudio es el realizado por Guillermo Morales y María García, en donde se analiza los niveles de confort térmico del edificio Colpatria de la ciudad de Bogotá. Para este estudio se toman datos de tres pisos dentro del edificio con mediciones tanto en la mañana, al medio día y en la tarde, los datos recopilados se basan en temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, velocidad del aire y humedad relativa. Adicional se determinan valores de PMV y PPD.

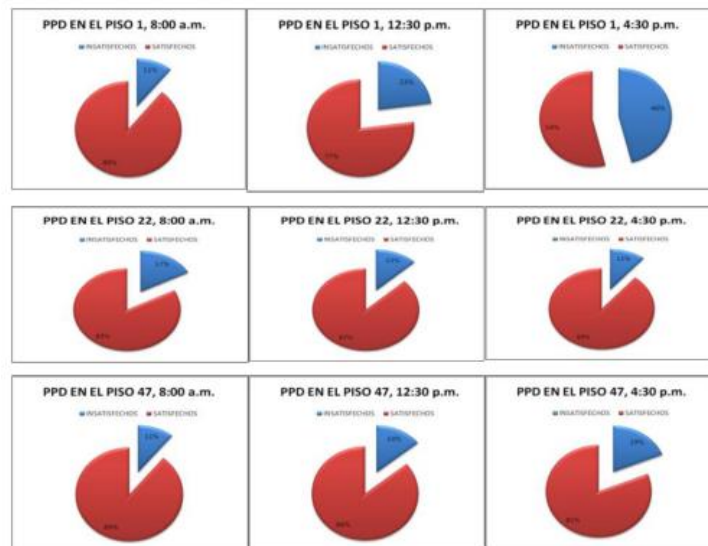


Figura 4. Personas insatisfechas en los pisos 1, 22 y 47 en horas de la mañana, medio día y horas de la tarde en el edificio Colpatria.

Fuente: (Alonso, 2012)

Lo resultados obtenidos de las mediciones demuestran una disconformidad térmica alarmante, según los investigadores. Adicionalmente se realiza un análisis de la envolvente del edificio para determinar la carga térmica que ingresa al edificio por medio

de la envolvente gracias a las características propias de los materiales de la misma. Así mismo se analizan las ganancias térmicas aportadas por los equipos de oficina y se analiza también la ventilación natural y mecánica dentro de los espacios analizados.

Las conclusiones a las que llegan los investigadores es que no se cumplen los niveles de confort necesarios dentro de un ambiente térmico adecuado para el ser humano, ni tampoco se muestran como aceptables los niveles de PMV y PPD en cuanto tiene que ver a la norma ISO 7730. Se determina que los cambios de temperatura registrada dentro del edificio de caso de estudio en los pisos seleccionados, también se deben a las propiedades térmicas de los materiales de construcción de la edificación y a la orientación del mismo en relación al asoleamiento recibido.

Demuestran también una ineficiencia en la parte de ventilación natural a pesar de que el edificio en su diseño posee cavidades que estaban diseñadas para este propósito, pero que en la actualidad no tienen ninguna función, así mismo la ventilación mecánica es inútil ya que no presenta intercambio de aire sino más bien lo único que hace es mezclar el aire viciado de los espacios, para lo cual los investigadores proponen un uso eficiente de la ventilación natural. (Alonso, 2012)

### ***Caso 3***

En el Ecuador también se han desarrollado investigaciones referentes al confort higrotérmico dentro del medio construido, como lo hace en su investigación la Arq. MSc. MPhil. Sylvia Jiménez, en donde basada en la normativa internacional ISO 7730, realiza un diagnóstico para tres espacios dentro del Campus Universitario de la PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), de los cuales se selecciona el espacio destinado a la CESAQ en el cual se presenta una metodología de investigación que combina: datos climatológicos a largo plazo, encuestas y mediciones de campo.

Los datos recopilados por medio de instrumentos de medición fueron: temperatura del aire, temperatura operativa, temperatura del punto de rocío, asimetría de radiación y velocidad del aire. Adicional se tomó mediciones de la temperatura radiante de la envolvente y la temperatura corporal de los usuarios, además de la realización de una encuesta corta a los usuarios basada en la escala de juicio subjetivo planteada en la norma ISO-10551:1995. Los instrumentos de medición fueron colocados a 0,10m y 1,10metros del suelo, basados en los protocolos de medición indicados en la ISO 7726:1998, para registrar la gradiente vertical de temperatura y definir posibles disconformidades por este fenómeno.

Dentro de la investigación se realiza un análisis del tipo de edificación, materiales de construcción, orientación, iluminación, análisis de sombras, ganancia térmica e índice de adaptabilidad pasiva. Con los resultados obtenidos de los análisis mencionados se procede a la recomendación y propuesta de estrategias para un acondicionamiento pasivo del espacio estudiado.

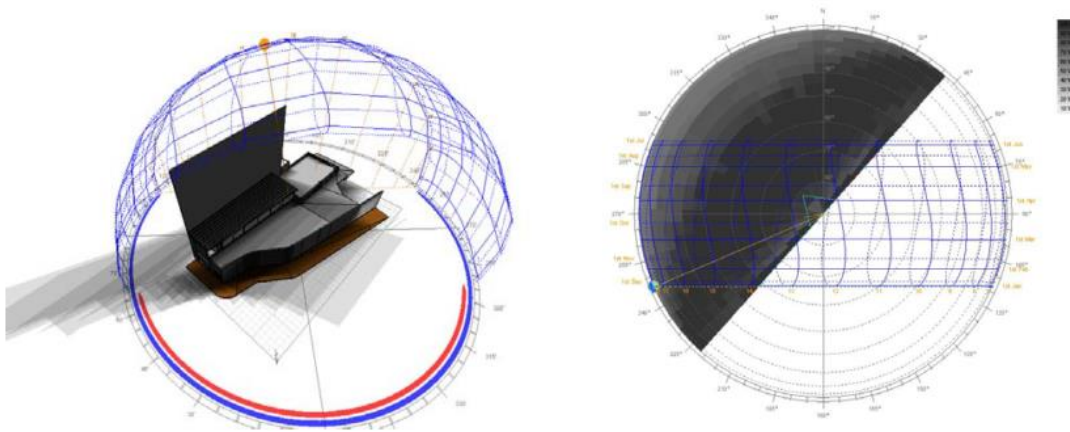


Figura 5. Análisis de Orientación Edificio CESAQ.

Fuente: (Jiménez, 2011)

Las conclusiones obtenidas por la investigadora después del procesamiento de los datos y encuestas realizadas es que resulta difícil definir la estratificación que propone la ISO

7730, por los grados intermedios de confort dentro de las grandes estratificaciones de neutro, muy cálido o muy frío, esto para las encuestas realizadas.

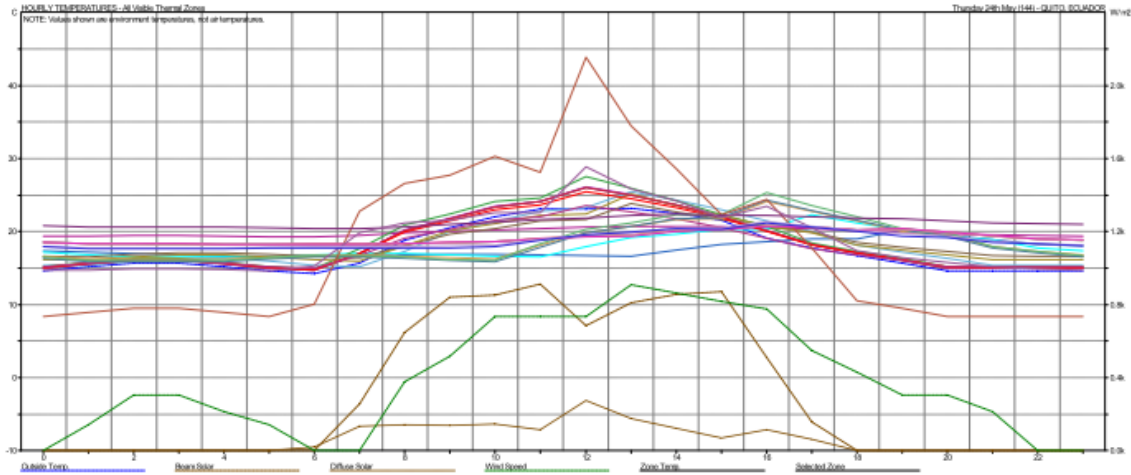


Figura 6. Análisis de confort en Sala de Reuniones CESAQ.

Fuente: (Jiménez, 2011)

Adicional se confirma la presencia de puentes térmicos en las tecnologías constructivas de la envolvente, para lo cual hace la recomendación de la correcta corrección de puentes térmicos, la permeabilidad de las envolventes y ventilaciones cruzadas.

Define que el uso de las herramientas e indicadores usados en la investigación, demuestran su validez dentro del medio construido como una herramienta de diagnóstico para el confort higrotérmico; las modelaciones térmicas, los modelos de ganancias térmicas y diagramas solares para la propuesta de protecciones solares se muestra útiles en las etapas tanto de diagnóstico como de diseño.

Concluye con que el margen de variación de los modelos y desempeño térmico real de la edificación es aceptable y que es en esta última etapa en donde se puede demostrar todo su potencial para la eliminación de problemas térmicos y generar mejores condiciones de confort térmico en los espacios diseñados. (Jiménez, 2011).

### ***Conclusión de casos de estudio***

Después de la revisión bibliográfica de los casos de estudio antes expuestos, se denota cuáles fueron las herramientas y metodologías ocupadas en cada caso basadas en normas y protocolos ya preestablecidos dentro de normas internacionales tales como la ISO 7730:2005, la ANSI/ASHRAE 55:2004, la ISO 10551:1995 y la ISO 7726:1998, las mismas que servirán para formar la metodología de esta investigación.

En los tres casos de estudio se toman registros por medio de equipos especializados para mediciones de temperatura de aire, temperatura operativa, humedad relativa, temperatura de punto de rocío, asimetría de radiación y velocidad del aire, mismos parámetros que serán registrados y medidos en los espacios seleccionados del caso de estudio de esta investigación, para determinar de una forma cuantitativa los niveles de confort a los cuales están expuestos los ocupantes de los espacios seleccionados comparándolos con los parámetros preestablecidos de confort dentro de las normas internacionales antes mencionadas.

En los casos de estudios, tanto de los investigadores Kuchen, Fisch, Gonzalo & Nozica (2009), como de la investigadora Sylvia Jiménez (2011), en sus investigaciones hacen el uso de encuestas a los usuarios de los espacios de estudio, basadas en la escala de sensaciones térmicas normadas por las normas internacionales ISO 7730:2005 y la ANSI/ASHRAE 55:2004 para definir de manera subjetiva la percepción de los usuarios sobre el ambiente térmico al cual están expuestos; dichas encuestas son realizadas a la par de las mediciones de las variables ambientales para definir posteriormente los valores de PMV y PPD en cada caso. En el caso particular de la investigación realizada por Jiménez, la elaboración de la encuesta se basa en los modelos planteados por la norma ISO 10551:1995. Para esta investigación se plantea el uso de la encuesta siguiendo los mismos procedimientos planteados por los investigadores antes mencionados para recolectar información de tipo subjetivo por parte de los usuarios en los espacios de estudio seleccionados, y por ende dar un enfoque de tipo adaptativo a esta investigación.

En los trabajos realizados por Guillermo Morales y María García (2012), y en el trabajo de Sylvia Jiménez (2011), se analizan los materiales y características de las envolventes de los espacios estudiados para definir la influencia de estos en los niveles de confort interior de los espacios, así mismo se hace un análisis de asoleamiento que reciben las edificaciones y las consecuencias de dicho paso solar en el confort interno de los espacios. Para esta investigación se aplicara el análisis de asoleamiento sobre el edificio del caso de estudio y definir las aportaciones positivas o negativas al momento de definir el confort térmico interior de los espacios seleccionados; en cuanto tiene que ver al análisis de los materiales ocupados en las envolventes, por cuestiones de tiempo de investigación del presente trabajo se descarta dicho análisis.

### **3. Marco Teórico**

Es importante para esta investigación determinar las bases teóricas necesarias para un estudio sobre confort térmico, en donde se llegue a tener un entendimiento claro sobre lo que es la sensación térmica percibida por el ser humano, lo que se entiende como confort térmico y las normativas que rigen dentro de esta área.

Al hablar de la sensación térmica percibida, es importante mencionar que los análisis que se realizan son en base a las funciones propias del cuerpo humano como son: el metabolismo, la termorregulación humana, el balance térmico humano y la relación entre el ser humano con el ambiente térmico y la adaptación térmica.

Dentro del confort térmico se revisó cuáles son las teorías y modelos de confort térmico más importantes, como también el análisis de las cartas bioclimáticas o diagramas psicométricos propuestos por Olgyay y Givoni.

Así mismo se ha analizado e investigado las normativas que se aplican para una correcta determinación de los niveles de confort térmico para interiores, las cuales establecen consideraciones mínimas que deben ser tomadas en cuenta para este estudio.

#### **3.1 Sensación térmica**

La sensación térmica que percibe una persona, a pesar que la temperatura del aire que la rodea es la misma, y que en algunos días siente más frío o calor que en otros, depende de la combinación de ciertas variables que son directamente relacionadas dentro del confort térmico humano, y que marcan la pauta desde el diseño de los espacios hasta la evaluación de los mismos; estas variables son: el metabolismo, la termorregulación humana, el balance térmico, el ambiente térmico y la adaptación térmica. (Bojorquez Morales, 2010)

### 3.1.1 Metabolismo

En la producción de calor del cuerpo humano los factores más importantes que inciden son: el metabolismo basal de todas las células, la actividad muscular, la acción de la tiroxina, de la adrenalina y de la noradrenalina; la estimulación de las células y el incremento de la temperatura. (Mondelo, 1999)

Con esto podemos definir al metabolismo “*como la suma de las reacciones químicas que se producen en todas las células del organismo*” (Mondelo, 1999) (Fanger, 1970). La actividad fisiológica básica que requiere un ser humano para mantenerse vivo, está dado por el límite mínimo del metabolismo, el mismo que recibe el nombre de metabolismo basal, este varía dependiendo de la edad, el sexo, el peso y otras circunstancias de origen psicofisiológico.

El metabolismo en los seres humanos va a variar dependiendo de la edad así por ejemplo, un niño de dos años tiene un metabolismo de 60W, por m<sup>2</sup> de superficie corporal, en tanto que un adulto de 25 años estará en 44W por cada m<sup>2</sup> cuadrado, y en un adulto mayor, a los 80 años su metabolismo se encuentra en 38W por m<sup>2</sup> (Mondelo, 1999). Así mismo el sexo influye en el metabolismo, se considera que para las mujeres el promedio es de 40,6W/m<sup>2</sup> mientras que para los hombres es de 42,9W/m<sup>2</sup> (Bojorquez Morales, 2010).

El incremento del metabolismo en los seres humanos está dado por la actividad física que se desarrolle, así como también los estados emocionales. La ingesta de los alimentos es otro factor importante dentro del incremento del metabolismo, ya que es de aquí de donde proviene la energía necesaria para desarrollar las actividades. (Fanger, 1972)

En base a los procesos químicos que se desarrollan en el cuerpo humano por medio de la transformación de los alimentos en energía y a la actividad física desarrollada, la

temperatura corporal del individuo se modifica lo que hace que influya en la termorregulación y la sensación térmica percibida. (Bojorquez Morales, 2010).

Las unidades de medida para el metabolismo pueden ser cuantificadas en “met”. En donde  $1 \text{ met} = 58.15 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ kcal/m}^2$ , definido para una persona con una actividad sentada sin ningún tipo de actividad. Así en la ISO 7730 se define el nivel de metabolismo en base a la actividad desarrollada como se muestra en la Tabla 2.

Actividad	Tasa metabólica	
	W/m <sup>2</sup>	met
Reposo, tendido	46	0,8
Reposo, sentado	58	1,0
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)	70	1,2
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1,6
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2,0
Caminar en llano		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Tabla 2 Tasas metabólicas.

Fuente: (Standarization, 2006)

### 3.1.2 Termorregulación Humana

De por si el cuerpo humano es un ente generador de calor constante, de tal forma que un ser humano con un estado de actividad mínima, es decir con solo mantener su organismo vivo, puede generar entre 65W y 80W de calor, esto depende según su sexo, edad y superficie corporal (Mondelo, 1999). Así mismo la temperatura interna corporal normal está en un promedio de los 37,6°C con una variación de 36°C a 38°C y que con una actividad física intensa puede llegar a los 40°C (Bojorquez Morales, 2010).

Según Pedro Mondelo, la eficiencia mecánica de un hombre es baja, considerando que entre el 75% y el 100% de la energía producida se consume para realizar sus actividades normales, toda esta energía se convierte en calor dentro de su organismo. Sin embargo, el hecho de una generación de calor continuo, no garantiza una temperatura mínima necesaria para mantenerse con vida y realizar ciertas actividades, menos aun cuando los seres humanos se encuentran expuestos a condiciones de frío, las cuales pueden llegar a constituirse en un peligro.

En tanto que las situaciones de temperaturas altas son más riesgosas que las de condiciones frías, ya que es más fácil protegerse del frío que del calor; es por tal razón que con los cambios de temperatura ambiente y los diferentes niveles de actividad, el ser humano prevé cambios en su temperatura interna, para evitar la sensación de malestar térmico y tratar de mantener una temperatura estable de 37°C con la activación de mecanismos de adaptación ya sean estos conscientes o inconscientes. A la vez que el sistema de termorregulación del cuerpo humano está relacionado directamente con la edad y el sexo del individuo, es decir a menor edad la respuesta de disipación o de retención del calor es más rápida, además de estar influenciado por el tipo de vestimenta del individuo. (Mondelo, 1999)

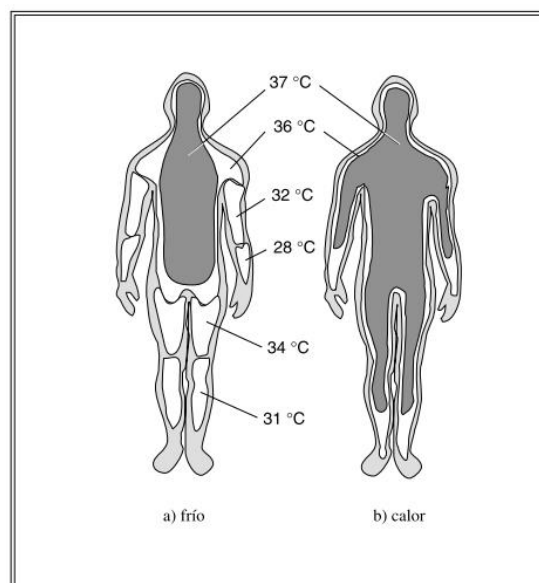


Figura 7. Temperaturas aproximadas del cuerpo humano bajo condiciones de frío y de calor.

Fuente: (Mondelo, 1999)

### 3.1.3 Balance térmico

Para entender el concepto del balance térmico de un individuo, se debe comprender que el ser humano es un ente generador de calor y a la vez receptor de calor, para que exista un balance térmico la suma de estos dos factores deben dar cero, entonces se puede hablar de un balance térmico en equilibrio. (Castejón, 1983), (Mondelo, 1999). Así el cuerpo humano gana calor mediante las siguientes vías: a) metabolismo (M), dado por su metabolismo basal y actividad; b) radiación de calor (R), que recibe de los cuerpos que lo rodean; c) convección (C), lo recibe del calor del aire que está en contacto; d) respiración (Res), al respirar aire caliente que se encuentre por encima de su temperatura corporal; e) conducción (K), por medio del calor de los cuerpos sólidos que lo rodean.

Al igual de como el cuerpo humano es capaz de ganar calor, es también capaz de perder dicho calor por las siguientes vías: a) radiación de calor (R), calor que emite hacia el entorno; b) convección (C), al liberar calor al aire que está en contacto directo; c) respiración (Res), al espirar aire mediante la respiración y el jadeo; d) trabajo extremo (W), cuando se realiza una actividad extrema positiva; e) evaporación del sudor (E), por medio de la generación de sudor para que este se evapore; f) conducción (Cd), cuando se entrega de manera directa el calor a los cuerpos que lo rodean. (Mondelo, 1999)

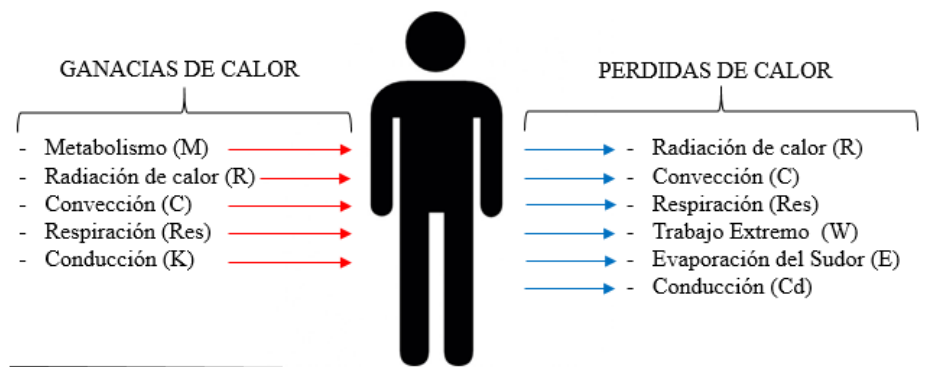


Figura 8. Ganancias y Pérdidas de calor del Cuerpo Humano

Fuente: Elaboración propia basado en (Mondelo, 1999)

En la práctica se puede desprestigiar todos los intercambios de calor por respiración y conducción, además del trabajo extremo, pero se debe tener en cuenta que en la mayoría de los casos su valor es cero o nulo. (Mondelo, 1999). De esta forma la ecuación para que exista un balance térmico quedaría de la siguiente manera:

$$M \pm R \pm C - E = A$$

De acuerdo a Pedro Mondelo (2001), dentro de la ecuación A sería el resultado final, y existiría un calor acumulado en el caso de que la resultante sea  $A > 0$ , y una pérdida de calor si la resultante es  $A < 0$ ; dando como resultado en cualquiera de los dos resultados un desequilibrio dentro del organismo. En cambio que si  $A = 0$ , se habla de un balance térmico en el ser humano.

### **3.1.4 Ambiente térmico**

Está claro que el intercambio de calor que puede existir entre el ser humano y el medio térmico que lo rodea, va a determinar el grado de compatibilidad térmica entre el individuo y el entorno (Mondelo, 1999). Este intercambio de calor se presenta por las siguientes vías: la radiación, la convección y la evaporación del sudor.

El ambiente térmico está caracterizado por cuatro variables físicas y dos de tipo personal, las cuales componen y caracterizan el ambiente térmico; las variables físicas que fueron definidas por McPherson en 1963 (Godoy Muñoz, 2012) son: temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidad del aire (m/s), humedad relativa (%) y temperatura media radiante  $^{\circ}\text{C}$ . A su vez las variables personales son: nivel de arropamiento (clo) y el nivel de actividad (met). Así mismo dichas variables son tomadas en cuenta por las normas internacionales para realizar sus estudios como lo es la ISO 7730:2005 y la ASHRAE 55:2004. (Standardization, 2006); (Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2004)

De acuerdo a la norma internacional ANSI/ASHRAE 55:2004, define a las variables que intervienen en el ambiente térmico de la siguiente manera:

<b><i>Temperatura del aire</i></b>	La temperatura del aire es la temperatura del aire que rodea al ocupante.
<b><i>Velocidad del aire</i></b>	Es la tasa de movimiento de aire en un punto sin importar la dirección
<b><i>Humedad Relativa</i></b>	Es la relación de la presión parcial (o densidad) del vapor de agua en el aire, con relación a la presión de saturación (o densidad) del vapor de agua a la misma temperatura y a la misma presión total
<b><i>Temperatura media radiante</i></b>	Es la temperatura uniforme superficial de un recinto negro imaginario, en el que un ocupante intercambia la misma cantidad de calor radiante que el del espacio uniforme imaginario
<b><i>Nivel de arropamiento</i></b>	Entendido como la cantidad de vestimenta usada por un individuo promedio con una cantidad de 1,80m <sup>2</sup> de superficie de piel
<b><i>Nivel de actividad</i></b>	Entendido como las diferentes actividades humanas relacionadas con la energía metabólica. En donde 1met (58 w/m <sup>2</sup> ).

Tabla 3. Definiciones de Variables que intervienen en el ambiente térmico

Fuente: Elaboración propia basado en (Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2004)

### 3.1.5 Adaptación térmica

Según Nikolopoulou y Steemers (2003), se considera como adaptación térmica a “...el decremento gradual de la respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un medio ambiente específico...”. Por ende la termorregulación del cuerpo humano es la respuesta a los estímulos externos al cuerpo, y en la medida en que las respuestas del cuerpo son mínimas a la presencia de estos estímulos se puede decir que se ha logrado la aclimatación del ser humano dentro de un ambiente térmico específico.

### 3.2 Confort Térmico

A nivel mundial y dentro de las normativas que rigen los niveles de confort térmico se encuentra la ISO 7730:2006, que ha sido desarrollada en paralelo con la norma 55 de ASHRAE, en la cual define al confort térmico como: *“La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire.”* (Standarization, 2006). También se puede definir al confort térmico...*“una sensación de bienestar en lo que refiere a la temperatura. Se basa en conseguir el equilibrio entre el calor producido por el cuerpo y su disipación en el ambiente”* (Hernandez Pezzi, 2007)

Partiendo de este último concepto se define que la temperatura interior del cuerpo humano siempre es constante, el hombre no posee ningún tipo de sistema de almacenamiento de calor por lo tanto este calor debe ser disipado. Para lograr este equilibrio existen siete parámetros que se relacionan entre ellos, tres de estos tienen que ver con el ser humano y son: el metabolismo, tipo de vestimenta y la temperatura de la piel. Los otros cuatro que tienen que ver más con el medio ambiente que lo rodea y son: la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura superficial de los elementos y la velocidad del aire.

Estos siete parámetros son aplicables de forma general, aunque se debe tomar en cuenta las condiciones específicas de la localidad donde se realice el estudio, como son el ingreso del sol por las ventanas, capacidad de adaptación de las personas, el peso y otro tipo de factores subjetivos que van a cambiar la percepción de confort. (Hernandez Pezzi, 2007)

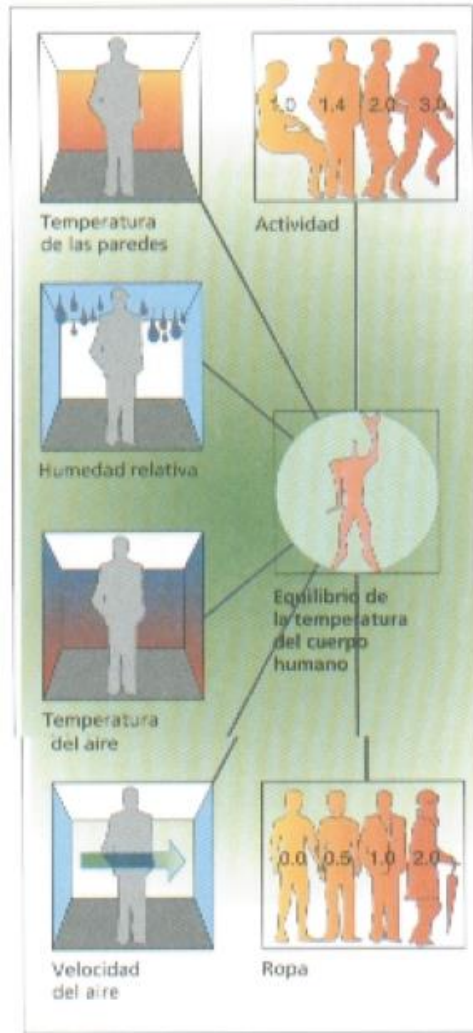


Figura 9 Parámetros que determinan el confort térmico.

Fuente: (Hernandez Pezzi, 2007)

Adicional a estos conceptos debemos tener en cuenta lo que es el confort higrotérmico, definido cuando el intercambio de calor con el medio que lo rodea se vuelve equilibrado. Para esto el ser humano es un organismo que obtiene su energía de las calorías que son producidas por los alimentos, estas energías producidas se convierten en energía mecánica, la energía eléctrica o también el calor. Se consigue un bienestar higrotérmico cuando el cuerpo humano pierde calor a una velocidad adecuada, a esta velocidad se logra equilibrar los intercambios de calor entre el ser humano y su entorno, este rito de intercambio y a su vez la pérdida de calor del organismo se denomina actividad metabólica. (Godoy Muñoz, 2012).

### 3.2.1 Teorías del Confort Térmico

Para definir el confort térmico en la actualidad existen dos teorías diferentes pero que se encuentran relacionadas entre sí, esta son la teoría del balance térmico y la teoría adaptativa. La teoría del balance térmico (Fanger 1973) se basa en estudios dentro de cámaras climáticas, y la teoría adaptativa propuesta por los psicólogos (Brager, 1998), (Djongyang, 2010) basadas en estudios de campo. (Godoy Muñoz, 2012)

#### *Teoría del balance térmico* (Fanger 1973)

Ole Fanger, en 1973 es quien publica los primeros trabajos que tratan sobre la influencia que tienen las condiciones climáticas en el interior de los edificios sobre el ser humano. Por primera vez se logra definir los parámetros que influyen sobre el confort térmico y también dos métodos que se utilizan para cuantificarlo, el PMV (Predictive mean vote) voto medio previsto y el PPD (predictive percentage dissatisfied) porcentaje previsto de insatisfechos. (Fanger, 1970).

Los modelos del balance térmico, también se los denomina como estáticos o constantes y que se convirtieron en la base de los trabajos iniciales de Gagge y Fanger, y que han demostrado por medio de experimentaciones estáticas que: el discomfort por frío se encuentra relacionado directamente con la temperatura media de la piel y a su vez el discomfort por calor se relaciona con la humedad de la piel por medio del sudor. (Godoy Muñoz, 2012)

Dichas relaciones han sido la base para los modelos de confort propuestos por Fanger, el mismo que incorpora los seis factores de confort mencionados por McPherson en 1962 que los divide en variables físicas: temperatura del aire (°c), velocidad del aire (m/s), humedad relativa (%) y temperatura media radiante (°c); y las variables personales: nivel de arropamiento (clo) y nivel de actividad (met) (Fanger, 1970)

***Teoría adaptativa*** (Brager, 1998). (Djongyang, 2010)

Esta teoría se basa en los resultados obtenidos en estudios de campo y su propósito principal es el de analizar la real aceptabilidad dentro de los ambientes térmicos, algo que se encuentra extremadamente ligado con el contexto del lugar, la actividad de sus ocupantes y el comportamiento de los mismos y sus expectativas.

A diferencia del modelo estático de confort térmico (balance térmico), en este modelo las personas son los actores principales ya que por sus preferencias térmicas por medio de su interactividad con el ambiente, son capaces de modificar su comportamiento o adaptar gradualmente sus expectativas dependiendo del ambiente térmico en el que se desarrollen sus actividades. Una definición general de la teoría adaptativa puede ser una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación repetida del ambiente. (Godoy Muñoz, 2012)

En base a esta definición general se puede definir tres categorías de la adaptación térmica, las cuales son: ajuste de comportamiento, fisiológicos y psicológicos (Brager, 1998). A continuación, en la Ilustración 1 se muestra como es el funcionamiento del proceso de adaptación en ambientes interiores dentro de la edificación. (Djongyang, 2010)

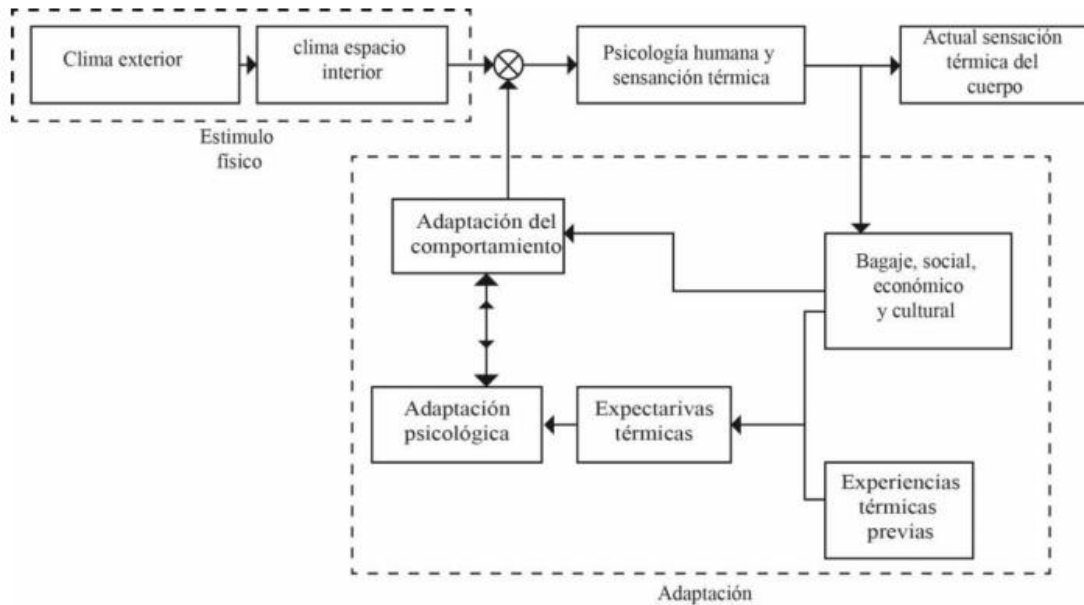


Ilustración 1 El mecanismo de adaptación del confort térmico.

Fuente: (Djongyang, 2010)

### 3.2.2 Cartas Bioclimáticas – Diagramas Psicométricos

Las cartas bioclimáticas o también conocidas como diagramas bioclimáticos no son más que sistemas de representación entre las variables térmicas que influyen en la sensación del confort térmico. Se tratan básicamente de diagramas psicométricos en donde se relacionan la temperatura y la humedad, sobre estos diagramas se establecen las condiciones de confort en base a los índices térmicos.

Los diagramas psicométricos más difundidos dentro de la arquitectura y el urbanismo por su amplio uso en diferentes emplazamientos en los cuales se considera la orientación, además de factores como: temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación y el aislamiento por ropa; son el diagrama bioclimático de Olgay en 1962, y el diagrama bioclimático de Givoni iniciado en 1969. (Jiménez, 2011).

### **Diagrama bioclimático de Olgay**

En el diagrama bioclimático de Olgay se integran dos variables fundamentales para determinar el confort, esta son la humedad y la temperatura. Además se integran otras variables como son la velocidad del viento, la radiación y la evaporación que se las considera como medidas correctoras. (Cortéz, 2013), (Camacho, 2009). Olgay manifestaba: ... "El procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida...El procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológica" (Olgay, 1963)...

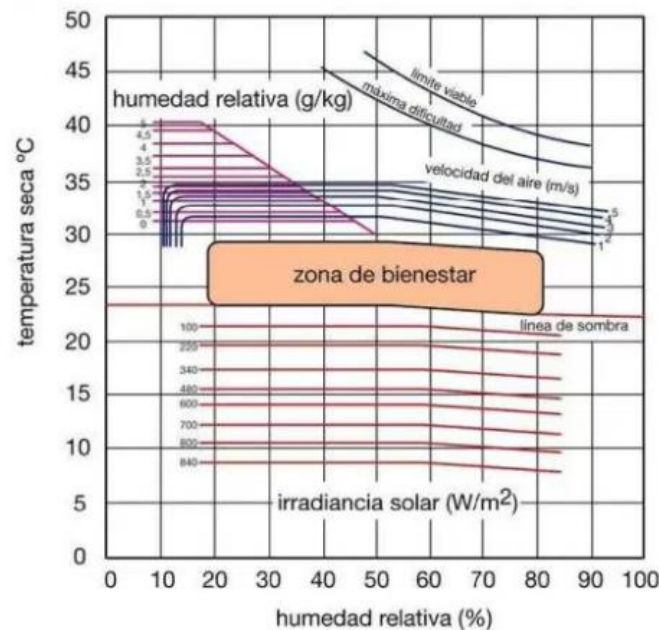


Figura 10 Diagrama bioclimático de Olgay.

Fuente: Reproducido de Pedro J Hernandez, 2014

Dentro del diagrama se puede distinguir los siguientes aspectos: una zona de confort que hace referencia para una persona en estado de reposo y a la sombra con una temperatura ambiente entre 22°C y 27°C con una humedad relativa entre el 20% y el 80%; límites que

corresponden a una sensación térmica aceptable. En el eje de las ordenadas se representa la temperatura seca del aire y en el eje de las abscisas la humedad relativa del aire, adicional se integran una serie de líneas que representan medidas correctoras que son necesarias de realizar cuando los niveles de temperatura y humedad relativa estén por fuera de la zona de confort. Ver Figura 10.

### ***Diagrama bioclimático de Givoni***

Dentro de su diagrama bioclimático, Givoni introduce como variable el efecto que tiene la propia edificación sobre el ambiente interno, es decir el edificio se interpone entre las condiciones exteriores y el interior del edificio); en donde el objetivo principal de la carta bioclimática es el uso de unos materiales y una estructura constructiva, en donde la respuesta ante ciertos factores externos permita generar un ambiente interior dentro de la zona de confort.

Este diagrama permite determinar ciertas estrategias bioclimáticas en función a las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año (Hernández, 2014). Adicional se integran variables como temperatura, temperatura radiante, humedad relativa, radiación y velocidad del viento que se ubicarían dentro o fuera de la zona de confort. (Camacho et al., 2009)

Según Pedro J. Hernández (2014), la carta bioclimática de Givoni se construye sobre un diagrama psicométrico en donde se definen las siguientes características: la zona de bienestar térmico delimitada por la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa, sin considerar otros factores. Adicional, hacia la derecha del gráfico de bienestar, se incluye una zona de bienestar ampliada por medio de factores adicionales como son: masa térmica de la edificación, enfriamiento evaporativo, descenso de la temperatura y el aumento de la humedad ambiental. Ver Figura 11

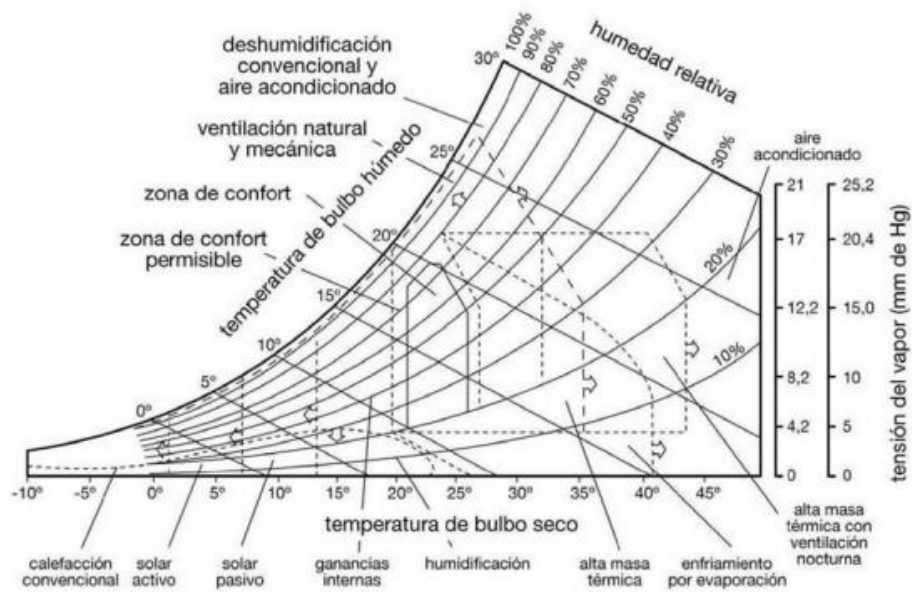


Figura 11 Diagrama bioclimático de Givoni.

Fuente: Reproducido de Pedro J Hernandez, 2014

Por fuera de estos límites hacia la derecha se deben aplicar sistemas mecánicos ya sean de ventilación o de humidificación para lograr el bienestar. En cambio hacia la izquierda del gráfico de la zona de bienestar, se extiende siempre y cuando se produzca algún tipo de calentamiento ya sea este pasivo o mecánico.

Existen críticas a los dos diagramas tanto al de Olgyay como al de Givoni, al primero es la de no considerar la temperatura radiante de la edificación y la necesidad de realizar ajustes posteriores en cuanto tiene que ver a latitud y altitud; en cambio las críticas para el diagrama de Givoni es el de no incluir índices de aislamiento por vestimenta. Es necesario recalcar que el diagrama de Givoni que fue propuesto en 1993 añade esta crítica e incluye los índices racionales del PMV (Predicted Mean Vote- Voto Medio Pronosticado).(Jiménez, 2011)

### 3.3 Normativas

Es importante realizar un análisis de las normas y decretos vigentes en lo relacionado a los estudios de confort térmico, ya que por medio de estas se puede determinar los alcances y limitaciones para los estudios de confort térmico en lo que respecta con los usuarios de los espacios. Dichas normas basan sus estudios en los diferentes modelos de confort térmico, las consideraciones de tipo fisiológico y psicológico de los usuarios, además del tipo de nivel de arropamiento y la actividad desarrollada por los mismos. (Godoy Muñoz, 2012)

Para la selección de las normas que son fundamentales para esta investigación y que han tenido mayor impacto en lo que respecta al confort térmico en el interior de las edificaciones; se ha tomado en cuenta aquellas que por sus aplicaciones están en referencia entre el usuario y las variables del ambiente térmico que los rodea, así también incorporan en su análisis la influencia del clima y las actividades de los usuarios.

En la tesis doctoral realizada por Gonzalo Bojorquez Morales, realiza un análisis y revisión de las normas que analizan el confort térmico, mismo análisis que sirve sobre las normas que se aplican para esta investigación. Las normas seleccionadas son las siguientes:

### **3.3.1 ISO 7730:2005**

*Ergonomía del ambiente térmico, determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*

Esta norma internacional la cual tiene como finalidad la evaluación de los ambientes térmicos moderados, tiene como su base de análisis la sensación térmica que es experimentada por un ser humano dentro de un espacio definido, la cual es expresada mediante el cálculo del Voto Medio Pronosticado (PMV), adicional esta norma incorpora dentro de sus parámetros la predicción del Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD), el cual es obtenido después del cálculo del PMV (Iso, 2006). Dentro de esta norma

también se incluye los efectos causados por el movimiento del aire, radiación asimétrica y la temperatura operativa dentro de los espacios de estudio que se analiza. (Standarization, 2006)

Así mismo esta norma internacional ha sido desarrollada en paralelo con la revisión de la norma ASHRAE 55, que forman parte de una serie de documentos en donde se especifican los métodos para realizar las mediciones y evaluaciones de ambientes térmicos moderados y extremos, a los cuales los seres humanos se encuentran expuestos. (Standarization, 2006).

Esta norma internacional toma como base de estudio a un usuario definido, que es aquel que mantiene una actividad de tipo pasiva y ligera, con un tipo de vestimenta de color claro o con tonos de color claro, con actividades dentro de oficinas o similares. Así mismo el nivel de arropamiento de los usuarios es propio del nivel de actividad, es decir propio de una oficina, sin embargo esta norma puede ser ocupada con diferentes combinaciones de la tasa metabólica, el aislamiento por el nivel de arropamiento, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y la temperatura media radiante. (Standarization, 2006)

La limitación que presenta esta norma es que no se considera niveles de actividad diferente al analizado, como son actividades de tipo moderadas, o intensas como dentro de un gimnasio, así mismo no se considera diferentes tipologías de espacios. Se indica dentro de la norma que la permanencia de un usuario para poder determinar la lectura correcta del ambiente térmico es de una permanencia de no menos de 30 minutos. (Standarization, 2006)

Otro factor que la ISO7730 no considera dentro de lo que respecta al nivel de arropamiento, es el efecto de convección y conducción de la ropa durante los periodos críticos, ya sea en el calor o en frío, donde la actividad desarrollada es la misma, pero las condiciones ambientales térmicas presentan variaciones significativas. Adicional esta

norma considera contar siempre con sistemas de climatización mecánica, y no se considera los espacios que poseen una ventilación natural la cual puede ser manipulada por los usuarios.

En la norma internacional ISO7730, se preestablecen condiciones límites para su aplicación, dando rangos tanto para la temperatura de bulbo seco como para la humedad relativa; es así que para verano las condiciones propuestas son:  $23\pm 3^{\circ}\text{C}$  a  $24.5\pm 1^{\circ}\text{C}$ , con un 60% de humedad relativa; y a la vez los rangos preestablecidos para inviernos son:  $19\pm 4^{\circ}\text{C}$  a  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ , con el 40% de humedad. Es importante mencionar que dentro de la norma no se hace referencia del método por el cual se proponen estos rangos; en lo referente a la velocidad del viento se considera por estar en ambientes interiores una velocidad de  $< 0.1\text{m/s}$ . (Standarization, 2006)

#### ***Voto medio estimado. PMV (Predicted mean vote)***

De acuerdo a esta normativa, la definición para el PMV es: *“un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles (Ver Tabla 4), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El equilibrio térmico se obtiene cuando la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente. En un ambiente moderado, el sistema termorregulador tratará de modificar automáticamente la temperatura de la piel y la secreción de sudor para mantener el equilibrio térmico.”*(Iso, 2006).

+ 3	Muy caluroso
+ 2	Caluroso
+ 1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
- 1	Ligeramente fresco
- 2	Fresco
- 3	Frío

Tabla 4 Escala de sensación térmica de siete niveles.

Fuente: (Standarization, 2006)

El PMV puede ser calculado por medio de ecuaciones en donde intervienen diferentes tipos de variables, así mismo se puede determinar el PMV por medio de tablas ya propuestas en la norma ISO 7730:2006.

#### ***Porcentaje estimado de insatisfechos PPD (predicted percentage dissatisfied)***

De acuerdo a la norma ISO 7730:2006, manifiesta que el PPD es “*el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo numeroso de personas sometidas al mismo ambiente. No obstante, los votos individuales están dispersos alrededor del valor medio, siendo útil el poder estimar el número de personas que, probablemente, sentirán incomodidad debido al calor o al frío*”. (Standarization, 2006).

Adicional se establece que el PPD es un índice de una predicción cuantitativa sobre un porcentaje de individuos que se sienten insatisfechos por sentir demasiado frío o demasiado calor. Este porcentaje se marca dentro de las personas que votarían por muy caluroso, fresco o frío, en base a la escala de siete niveles del PMV expuesta en la Tabla 4.

En la Figura 12 se indican los resultados obtenidos por Fanger, que se expresan como porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del índice PMV. Se demuestra que el mejor resultado posible comporta la insatisfacción del 5% del grupo, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local. (ASEPEYO, 2005)

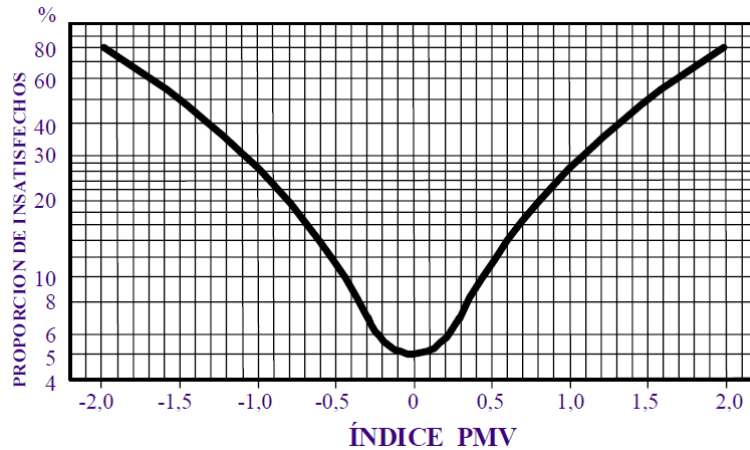


Figura 12 PPD en función de PMV.

Fuente: (ASEPEYO, 2005)

El PPD determina, dentro de un numeroso grupo de individuos, la cantidad de individuos térmicamente insatisfechos, entendiéndose que el resto de individuos se sentirán térmicamente neutrales, ligeramente calurosos o ligeramente frescos. En la Tabla 5 se puede ver la distribución estimada de votos con relación al PMV.

PMV	PPD	Personas que se estima que voten <sup>a</sup>		
		%		
		0	-1, 0 o +1	-2, -1, 0, +1 o +2
+ 2	75	5	25	70
+ 1	25	30	75	95
+ 0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
- 0,5	10	55	90	98
- 1	25	30	75	95
- 2	75	5	25	70

<sup>a</sup> Basado en experimentos con 1 300 sujetos.

Tabla 5 Distribución de los votos de sensación térmica para diferentes valores de voto medio.

Fuente: (Standarization, 2006)

### **3.3.2 ANSI/ASHRAE 55:2004**

#### ***Condiciones del ambiente térmico para ocupación humana***

En el 2004 el American National Standards Institute (ANSI), publicó la versión actualizada de la ANSI/ASHRAE 55:1992, esta norma especifica las condiciones del ambiente térmico dentro de las cuales un porcentaje determinado de los usuarios se encuentra en un ambiente térmico aceptable. En esta norma se incluyen cálculos para determinar el PMV y el PPD incluyendo el concepto de adaptación y su aplicación se da para el diseño y pruebas de edificios, como también en otros espacios donde se posee aire acondicionado, además de la evaluación de los ambientes térmicos con ventilación natural.

Para la aplicación de esta norma se considera: temperatura del aire, radiación térmica, humedad y velocidad del aire. Dentro de la norma no se consideran los aspectos de tipo metabólico, aislamiento por vestimenta, nivel de actividad o una temperatura preestablecida para confort, al no considerar dichos aspectos se contradice en la parte del estándar que apoya el efecto por adaptación; sin embargo establece parámetros de ajuste cuando la situación de caso de análisis sea lo suficientemente distinta a los valores estándar propuestos en esta norma.

A pesar de que esta norma analiza las actividades de tipo pasivo en espacios de oficinas, pueden ser realizados ajustes para análisis con actividades moderadas o intensas. Dicha norma está diseñada para adultos en condiciones de salud sanas y dentro de una presión atmosférica equivalente o superior a altitudes sobre 3000msnm con un periodo de estancia no menor a 15 minutos.

Dentro de la ANSI/ASHRAE 55:2004 no se considera la realización de ajustes por variaciones que hay entre la temperatura y el tiempo de permanencia, ya que la temperatura del aire o la temperatura media radiante del ambiente térmico pueden afectar directamente al confort del mismo. De igual manera en la norma uno de los aportes más

importantes para el análisis del confort térmico, es que se considera un método de análisis para espacios sin ocupación de sistemas de aire acondicionado o llamados también espacios en condiciones térmicas naturales.

### **3.3.3 ISO 10551:1995**

#### ***Ergonomía del ambiente térmico. Escalas de juicio subjetivo***

La normativa ISO 10551:1995, a diferencia de otros estándares que hacen referencia a estudios sobre el confort térmico, esta normativa realiza el estudio con un enfoque de adaptación de las personas por medio de un cuestionario que recolecta información por medio de preguntas de tipo cerradas sobre la sensación térmica de los individuos expuestos en diferentes ambientes térmicos. En la norma ISO 10551:1995 manifiesta: ...*“La naturaleza de la subjetividad de los datos obtenidos con las escalas de juicio lleva a algunos expertos a dudar de su interés y a preferir los datos “objetivos”, físicos o fisiológicos”*... (INEN-ISO-10551, 2014) . Así, para la validez del uso de los datos subjetivos se basa en dos aspectos: el primero es que no existe dentro de la determinación de confort térmico, ya sea por medio de datos objetivos o subjetivos, cuál de los dos tiene mayor veracidad a pesar de que los primeros son más fáciles de recopilar.

El segundo aspecto es que la recolección de datos de tipo subjetivo son hechos en tiempo real, son de primera mano y realizados en espacios reales, por tal razón no se clarifica cual sería la diferencia entre la obtención de datos objetivos con los subjetivos en espacios con ambientes controlados. Cabe señalar que la norma ISO 10551 está diseñada en referencia a las condiciones térmicas del cuerpo humano, en condiciones de actividades con estado pasivo, con un tipo de vestimenta entre 0,5 a 1,2 clo y no menos de 30 minutos de estadía en el espacio de estudio a ser analizado.

Se debe tomar en cuenta que la realización de la encuesta debe estar dirigida a personas comprendidas entre los 12 a 65 años, ya que a partir de los 12 años de edad el entrevistado tiene un juicio consiente de las decisiones a ser tomadas, y que pasados los 65 años la

persona que podría ser entrevistada, empieza a tener complicaciones de salud con lo cual se pueden alterar los resultados de la encuesta. A pesar de que esta norma establece que la aplicación de la entrevista debe ser en personas sanas, no se incorpora dentro de los parámetros a ser encuestados la consideración del peso y la complexión física del entrevistado. Las condiciones del ambiente térmico analizado se antepone a la sensación térmica percibida de las personas, ya que en el proceso de evaluación por medio de las encuestas, las condiciones de actividad y arropamiento de los entrevistados pueden variar, pero dichas condiciones no implican cambios a las condiciones del ambiente térmico a ser analizado.

Para el método de evaluación propuesto en la norma ISO 10551, esta consta de cinco tipos de juicio y cada uno con diferentes escalas de valoración; los cinco tipos de juicio se los ha dividido en dos grupos: el primero de los grupos que se refiera a la sensación térmica del individuo abarca tres de los juicios propuestos; y el segundo grupo que se refiere a las condiciones del ambiente térmico percibidas por el entrevistado abarcan los dos restantes tipos de juicio a ser ocupados, tal como se lo muestra en la Tabla 6.

TIPO DE JUICIO	Perceptual	Evaluación afectiva	Preferencia térmica	Aceptación personal	Tolerancia personal
OBJETO DE JUICIO	<i>Sensación térmica personal</i>			<i>Ambiente térmico</i>	
Pregunta base	<i>¿Cómo se siente usted en este preciso momento?</i>	<i>¿Cómo se encuentra usted en este momento?</i>	<i>¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?</i>	<i>¿Cómo considera el ambiente (clima local) en lo personal?</i>	<i>¿Qué tan tolerable le parecen las condiciones del ambiente en este momento?</i>
Niveles	7 o 9	4 o 5	7 o 3	2	5
Escalas	<i>a. Extremadamente frío</i> 1. Mucho frío 2. Frío 3. Algo de frío 4. Ni calor, ni frío 5. Algo de calor 6. Calor 7. Mucho calor <i>b. Extremadamente caliente</i>	1. Confortable 2. Ligeramente incomfortable 3. Incomfortable 4. <i>Muy incomfortable</i> 5. Extremadamente incomfortable	<i>a. Mucho más fresco</i> <i>b. Más fresco</i> 1. Un poco más fresco 2. Sin cambio 3. Con un poco más de calor <i>c. Con más calor</i> <i>d. Mucho más caluroso</i>	1. Generalmente aceptable 2. Generalmente inaceptable	1. Perfectamente tolerable 2. Tolerable 3. Ligeramente intolerable 4. Intolerable 5. Extremadamente intolerable

Tabla 6 Tipos de juicio para análisis de sensación térmica.

Fuente: (INEN-ISO-10551, 2014)

Otro dato que debe ser tomado en cuenta, y que no consta dentro de estos cinco juicios, es el nivel de arropamiento y actividad de los individuos encuestados. Dentro de la norma ASHRAE 55-2004, en uno de sus apéndices que no forma parte de esta norma, se ilustra un ejemplo de encuesta donde se incluye la actividad y la vestimenta para el individuo encuestado. (Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2004) . Como parte complementaria a las normas expuestas, deben ser utilizados a la par de las encuestas instrumentos para medición de: temperatura de bulbo seco, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura de globo negro y radiación solar; para recopilar y contrastar los resultados de las encuestas con las mediciones del ambiente térmico. (ISO:7726, 1998)

### **3.3.4 ISO 7726:1998**

#### ***Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas***

Esta norma se caracteriza por la especificación de las características mínimas de los instrumentos de medida para definir a un ambiente, así mismo los métodos necesarios para ser empleados en las mediciones. De igual manera esta norma no tiene por objeto definir los índices de confort o estrés térmico sino más bien el normalizar los protocolos para el registro de la información que posteriormente definirán dichos índices.

Según la ISO 7726:1998 se ha generado dos grupos o clases para las diferentes mediciones, el primer grupo se lo emplea para la medición en ambientes moderados y el segundo grupo en lugares de trabajo donde el ambiente térmico puede llegar a generar un mayor estrés térmico e incluso de un estrés térmico extremo. Cabe recalcar que para las mediciones se tiene que tomar en cuenta las posibilidades prácticas de las medidas in situ y de los aparatos de medida disponibles. Dentro de esta norma se indica los protocolos de medición que deben ser empleados para las siguientes magnitudes físicas: temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad absoluta del aire, velocidad del aire y temperatura superficial. Igualmente dentro de la norma se indican las características que

deben tener los aparatos de medida y la ubicación de los mismos dentro de los espacios a ser analizados. Adicional se indica la frecuencia de medida de cada magnitud.

### **3.3.5 Real Decreto 486/1997**

#### ***Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de Trabajo***

Dentro de las normativas que regulan los niveles de confort térmico óptimo para espacios interiores, el Real Decreto 486/1997 establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que se aplican a los lugares de trabajo (Ver Anexo A: Real Decreto 486/1997 ). En el Decreto se destaca que la temperatura a la cual deben estar expuestos los usuarios de locales en los cuales se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas debe estar en un rango entre 17 y 27°C, y en los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre los 14 y 25°C. Adicional se indica que la humedad relativa a la cual deben estar expuestos los ocupantes debe estar comprendida entre el 30% y 70% excepto en locales donde existan riesgos por electricidad estática en donde el límite inferior será del 50%. (Boletín Oficial del Estado, 1997)

#### **4. Metodología**

Para el análisis del confort térmico de esta investigación, la metodología planteada toma como referencia las metodologías expuestas en los casos de estudio del estado del arte que forman parte de este trabajo; por tanto se plantea realizar una investigación de campo, con estudios de tipo exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. Se inicia con un análisis climatológico del sitio donde se plantea realizar la investigación; posteriormente se selecciona un caso de estudio en el cual se recolectan los datos necesarios, por medio de equipos especializados de tomas de temperatura, humedad relativa, temperatura media radiante y velocidad del viento; datos con los cuales se definirá el nivel de confort térmico a los que están expuestos los ocupante del caso de estudio de acuerdo a las normas internacionales referidas en el marco teórico.

Como siguiente punto se plantea elaborar y poner en práctica una encuesta en base a la ISO 10551:1995, para definir de forma subjetiva la percepción del ambiente térmico por parte de los ocupantes; misma encuesta que será practicada a la par de la toma de datos por medio de los equipos especializados. Adicional se plantea realizar la modelación computacional del edificio del caso de estudio, por medio del programa Desing Builder, en el cual se introducen datos climatológicos, orientación, materiales, cantidad de usuarios, asoleamiento, y demás variables requeridas para dicha modelación, con la finalidad de determinar computacionalmente el nivel de confort térmico presente en los espacios seleccionados. Finalmente se plantea realizar un análisis de tipo correlacional en el cual, con los datos procesados y analizados de los equipos especializados, de las encuestas realizadas a los usuarios y la modelación computacional, definir los niveles de confort térmico a los que están expuestos los ocupantes de los espacios de estudio.

#### 4.1 Análisis climatológico de la ciudad de caso de estudio

Para el análisis climatológico de la ciudad de Tulcán se han tomado los datos proporcionados por la NASA Surface Meteorology and Solar Energy (NASA, 2016), con promedios de datos diarios, mensuales o anuales, en un periodo de 22 años desde 1983 al 2005, para marcar una tendencia en relación a la temperatura del aire exterior y la humedad relativa medida a 10 metros del piso, los datos obtenidos para este periodo de años se muestran en el Anexo B, en donde se indica el año de la muestra, la temperatura promedio en cada mes y la promedio anual e ilustrados en la Figura 13.

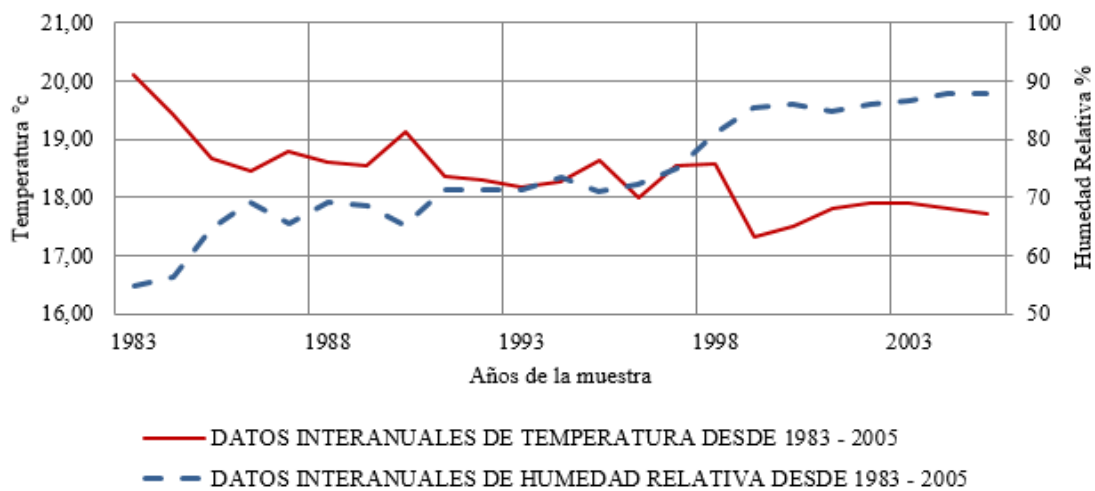


Figura 13 Datos interanuales de temperatura y humedad relativa entre 1983-2005.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Con estos datos recopilados de la tendencia, se puede ver cómo ha existido un decrecimiento de la temperatura en estos años, como se lo indica en la Figura 13, de igual manera se puede evidenciar años en donde han existido incrementos en la temperatura, la tendencia del decrecimiento se mantiene. Durante la toma de la muestra se marcan temperaturas promedio que van desde los 20,10°C en la máxima y con una mínima registrada de 17,33°C, con una variación de la tendencia de 2,77°C y una temperatura promedio de 18,30°C a lo largo de la toma de la muestra.

Así mismo se analizan los datos recopilados de humedad relativa, en donde al contrario de la temperatura se evidencia un crecimiento de la misma durante este periodo de la muestra, (se adjunta tabla en Anexo B). Así mismo la variación de la Humedad Relativa, va de una forma constante en crecimiento durante el período de la muestra, yendo desde el 54,72% de Humedad Relativa a inicios de la muestra, hasta llegar al 87,76% al finalizar la muestra, como se indica en la Figura 13. Marcando un promedio del 74,10% con una variación del 33,04% durante el periodo de tiempo de la muestra.

Para mi estudio se descartará los años en los cuales han existido presencia de cambios dramáticos en el clima como es la presencia de la condición climatológica denominada “El Fenómeno del Niño”. En el Ecuador la presencia de este fenómeno durante la muestra tomada y de acuerdo al Ministerio de Salud Pública del Ecuador, dicho fenómeno ha sucedido en los años: 1983, 1992, 1997, 1998 y 2002; (Ministerio De Salud Pública De Ecuador, 2000) los mismos que serán descartados dentro de este estudio para determinar la tendencia de temperatura y humedad relativa durante la muestra tomada.

Los datos recopilados de la temperatura promedio de la tendencia, descartando los años donde existieron cambios climáticos (Fenómeno del Niño), se evidencia nuevamente la tendencia de decrecimiento de la temperatura durante el tiempo de la muestra tomada, que va con temperaturas máximas promedio de 19,42°C y con mínimas promedio de 17,33°C, marcando una temperatura promedio anual durante la muestra tomada de 18,28°C, como se muestran en la Figura 14.

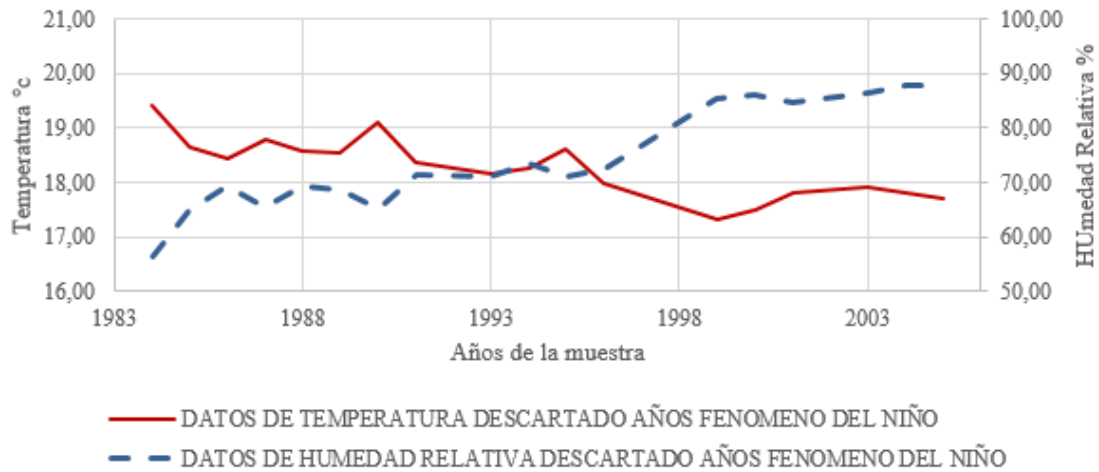


Figura 14. Temperatura y humedad relativa descartando Fenómeno del Niño.

Fuente: Elaboración propia, 2017

En lo referente a la humedad relativa de igual manera se descartan los años donde hubo presencia del Fenómeno del Niño, y la tendencia en este parámetro se mantiene en forma de crecimiento que va desde el 56,30% hasta el 87,76%, con un promedio multianual del 74,22%. Como se muestra en la Figura 14

De acuerdo a estos nuevos datos la temperatura promedio multianual sería de 18,28°C, y el promedio de la humedad relativa para la muestra tomada es del 74,22%; en base a estos resultados el año tipo escogido es el de 1994, año en el cual los datos registrados son semejantes a los datos promedio indicados y analizados durante la toma de muestra entre los años 1983 – 2005 sin descartar el Fenómeno del Niño. Ver Figura 14.

Para el año de 1994 los datos recopilados promedio de cada mes, marcan temperaturas promedio mínimas de 16,52°C en el mes de junio y una máxima promedio registrada de 20,27°C en el mes de septiembre, como se puede ver en la Figura 15. La variación de temperatura durante este año es de 3,75°C y un promedio anual de 18,26°C y un incremento en la temperatura hacia los meses del final del año.

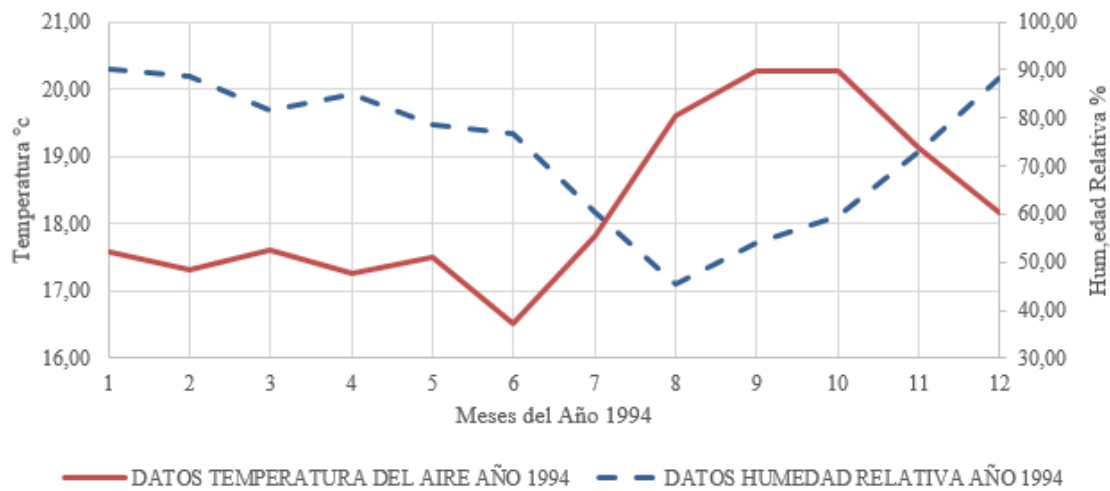


Figura 15. Temperatura y humedad relativa año 1994.

Fuente: elaboración propia, 2017

Así mismo los datos recopilados de la Humedad Relativa durante el año 1994, en donde el registro promedio más alto se da en el mes de enero con el 90,34% y un mínimo promedio registrado en el mes de agosto con el 45,56%, tal como se ilustra en la Figura 15. Además la variación de la Humedad Relativa que se marca en este año, va en forma descendente desde el mes de enero hasta el mes de agosto en donde los registros marcan un crecimiento hasta el mes de diciembre, con una variación del 44,78% durante el año.

Adicional en la toma de muestras, se han obtenido los datos de la tendencia marcada en este año para la temperatura mínima registrada, para este caso de estudio estos datos tienen mayor validez ya que la ciudad de Tulcán se encuentra ubicada en una zona climática definida por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), como zona climática 5 considerada como Fría.(INER, 2016).

Para el caso de la temperatura mínima registrada durante el año tipo (1994), los datos promedio de temperatura mínima se indican en la Figura 16, en donde se registran temperaturas máximas de 16,63°C en el mes de septiembre y temperaturas mínimas de 13,76°C registradas en el mes de junio, con una temperatura promedio anual de 15,13°C, con una variación de temperatura de 2.87°C.

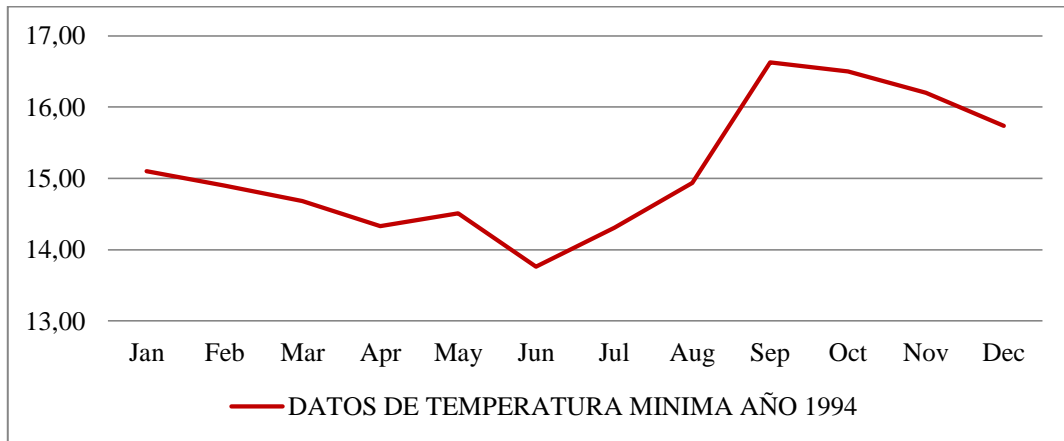


Figura 16. Temperatura mínima para año 1994.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Al haber definido el año tipo y por ende la tendencia de temperatura y humedad relativa presente en el sitio de emplazamiento, se realiza un análisis de estos parámetros dentro del Diagrama Psicométrico de Givoni (1993) en el cual se incluyen las consideraciones de confort humano, dando como resultado que los datos ingresados se encuentran por fuera de los rangos de clasificación de climas propuestos en dicho diagrama, tal como se representa en la Figura 17.

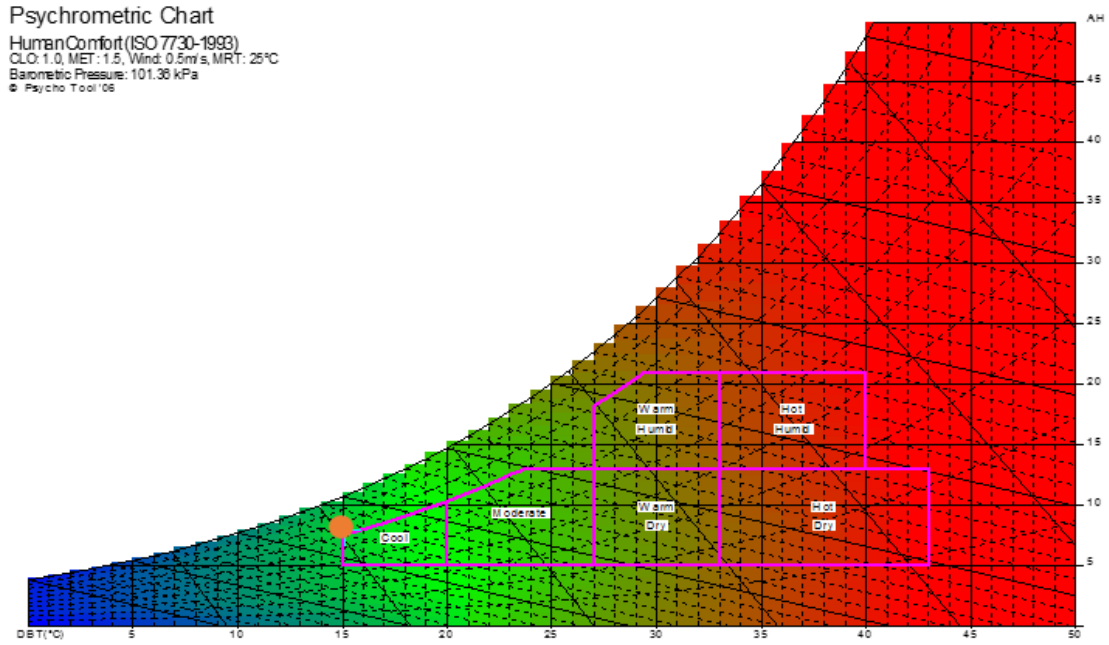


Figura 17. Diagrama Psicométrico para la ciudad de Tulcán.

Fuente: Elaboración propia con Psycho Tool 2006, 2017

## 4.2 Selección caso de estudio

El edificio de caso de estudio es el edificio del Ilustre Municipio de Tulcán, ubicado en el casco central de la misma ciudad, entre las calles Olmedo y 10 de Agosto. Su implantación está dada al perímetro del parque principal denominado Parque de la Independencia, así mismo al perímetro de dicho parque se encuentran implantados edificios tanto públicos y privados importantes de la ciudad. Ver Fotografía 1 y Gráfico 1. En su perímetro inmediato se encuentran lotes baldíos lo que hace que no existan edificaciones que impidan una radiación directa del sol. En cuanto al norte tiene una rotación de 52° hacia el este, respondiendo a la malla urbana existente, como se aprecia en el Gráfico 1.



Fotografía 1. Panorámica de plaza principal de ciudad de Tulcán.

Fuente: (Jhalvico, 2015)



Gráfico 1. Implantación Caso de Estudio.

Fuente: Elaboración propia con base Zoom Earth, 2017

El edificio diseñado en 1975 consta de una planta baja y cuatro pisos altos, en el centro de la edificación existe un atrio que ilumina los corredores centrales del mismo. Sus fachadas principales que tienen una orientación nor-oeste y sur-este, y que son las más largas, poseen una gran cantidad de acristalamiento, lo que permite una mayor ganancia térmica; a diferencia de las fachadas secundarias con orientaciones sur-oeste y nor-este que en casi toda su totalidad presentan gran cantidad de paredes de bloque generando ganancia térmica durante las horas de sol recibidas, como se representa en la Ilustración 2.

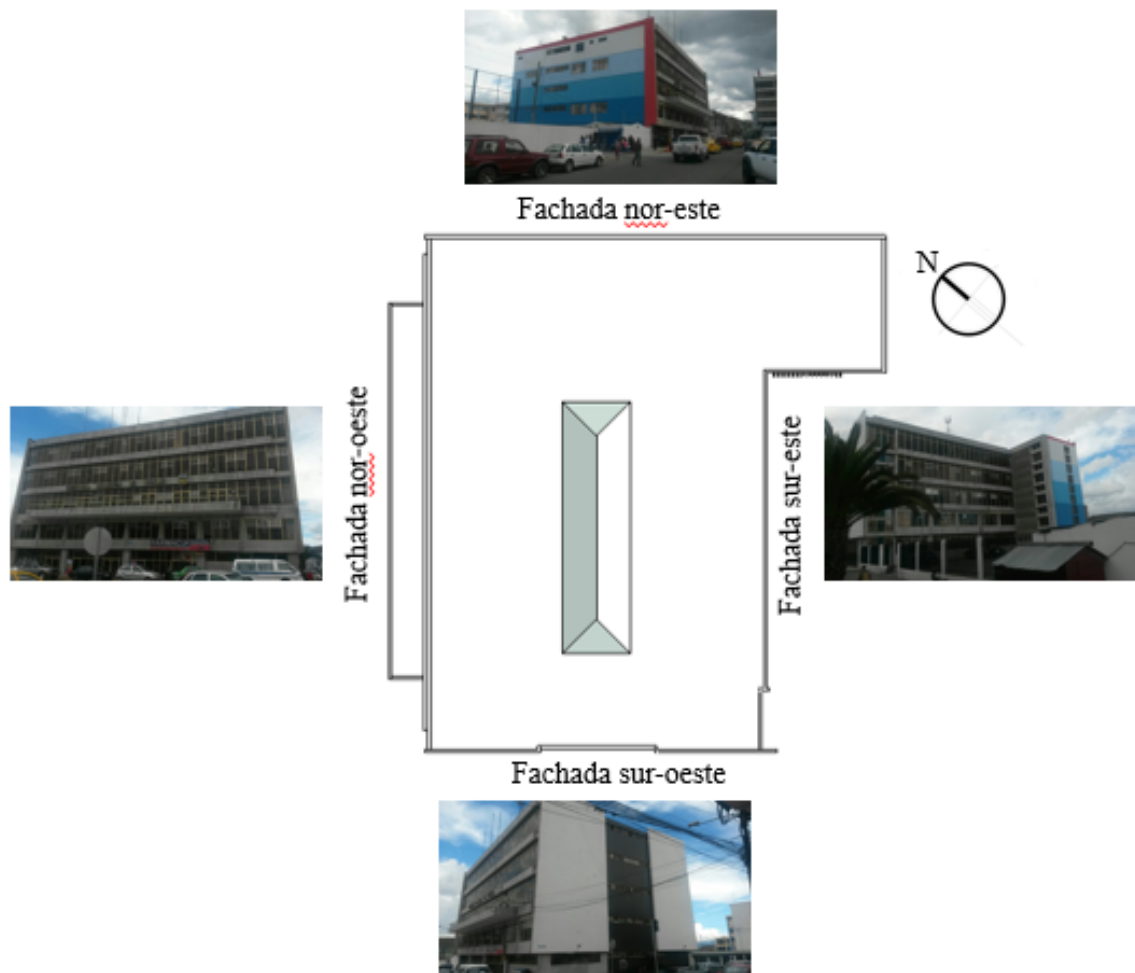


Ilustración 2. Esquema de implantación del edificio de caso de estudio y fachadas

Fuente: Elaboración propia, 2017

#### 4.2.1 Parámetros de análisis para caso de estudio

Para el análisis del edificio de caso de estudio, los parámetros que se toman en cuenta son: entorno construido, temperatura del aire, orientación (radiación solar), cantidad de envolvente, control solar, vientos; todos estos parámetros han sido tomados del autor Víctor Olgyay de su libro *Arquitectura y Clima* (Olgyay, 2010).

### ***Entorno construido***

Al analizar el entorno inmediato construido se puede denotar que al encontrarse ubicado en una zona consolidada de la ciudad, las edificaciones existentes perimetrales no presentan mayores obstrucciones en lo referente al asoleamiento directo que recibe el edificio de caso de estudio al no superar los 15 metros. Adicional el entorno construido no sobrepasa la altura del caso de estudio, convirtiéndose en una ventaja en referencia a no recibir sombras proyectadas por otras construcciones. Por otro lado terrenos aledaños que aún se encuentran sin ningún tipo de edificación son propiedad de la municipalidad y sirven como parqueaderos de la misma. La ventaja principal que se encuentra para el caso de estudio con el entorno edificado inmediato es que este tipo de condiciones presentes no se replican en otro lado de la ciudad, convirtiéndose en una ventaja para esta investigación. Ver Gráfico 2 e Ilustración 3

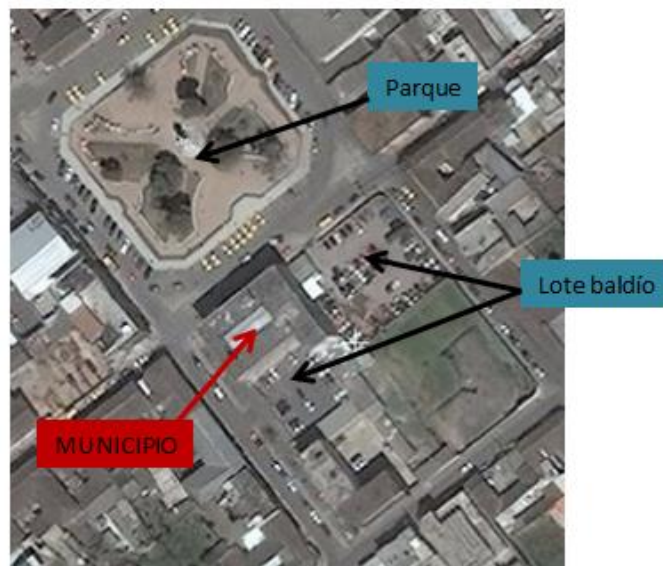


Gráfico 2. Entorno Inmediato.

Fuente: Elaboración propia con base Zoom Earth, 2017

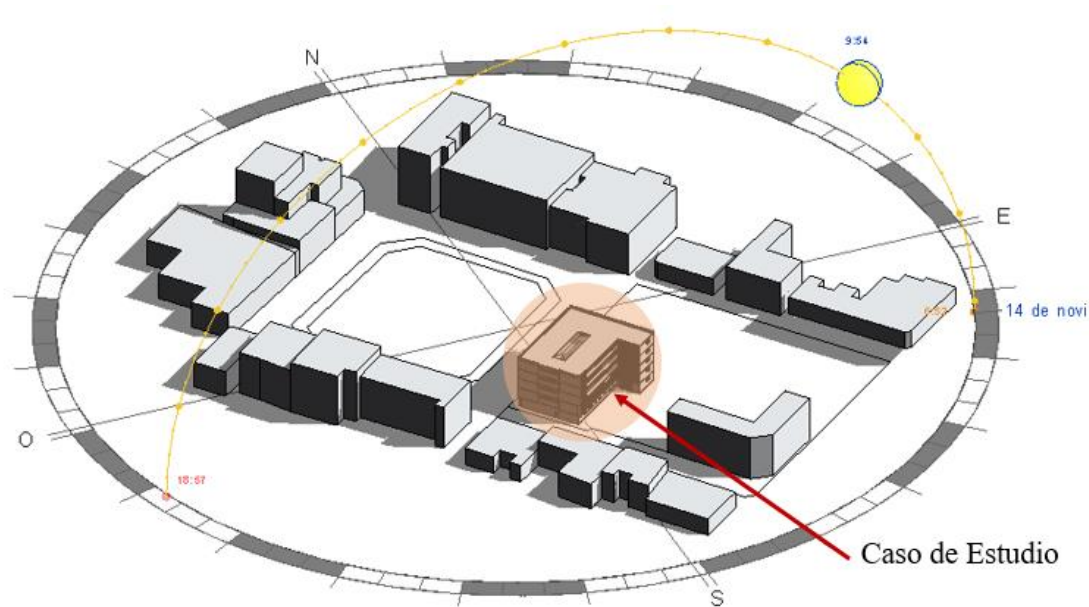


Ilustración 3. Esquema de ubicación de caso de estudio dentro de entorno inmediato.

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

### ***Temperatura del aire***

Los datos de la temperatura del aire fueron obtenidos por los informes meteorológicos aeronáuticos de rutina proporcionados por METAR/Synop Information for SETU; los datos proporcionados son diarios-horarios de los últimos 56 días con un promedio de mediciones de 12 horas diarias, en donde los parámetros que se presentan son: presión barométrica, temperatura del aire, punto de rocío, humedad relativa, velocidad del viento y dirección del viento; parámetros que ya fueron analizados en el Análisis climatológico de la ciudad de caso de estudio, que forma parte de esta investigación.

### ***Orientación, asoleamiento***

La implantación del edificio del caso de estudio, responde al trazado de la malla urbana de la ciudad, por la cual la edificación posee con respecto al Norte una rotación de 52°

hacia el Este, como se muestra en el Gráfico 3, con esta orientación de la edificación en relación al asoleamiento, todas sus fachadas reciben radiación solar durante todo el año.

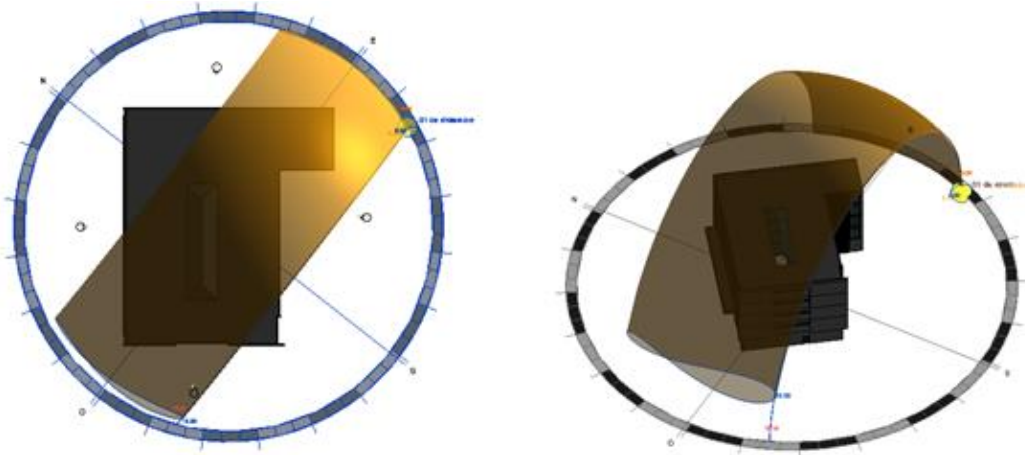


Gráfico 3. Orientación y asoleamiento anual.

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

En la descripción realizada, en el apartado de la Selección caso de estudio, las fachadas que poseen mayor cantidad de acristalamiento y que en relación a toda la edificación son las más preponderantes, son aquellas que reciben una gran cantidad de asoleamiento y por estas condiciones generan en sus espacios interiores una ganancia térmica favorable para el confort térmico. Así se puede ver en el Gráfico 4 y Gráfico 5 la incidencia de la radiación solar sobre las fachadas principales en el edificio de caso de estudio.

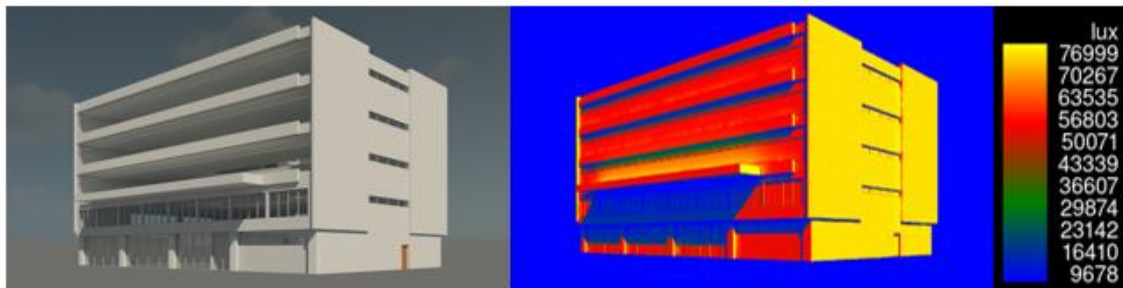


Gráfico 4. Asoleamiento Fachada Principal en el edificio de Caso de Estudio a las 16:00 horas

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017



Gráfico 5. Asoleamiento Fachada Posterior en el edificio de Caso de Estudio a las 9:30 horas

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

Para el análisis del confort térmico en cada uno de los espacios seleccionados de estudio, mas adelante se realiza un analisis de la influencia del asoleamiento dentro de dichos espacios seleccionados, y las ventajas o desventajas que producen en la definición del nivel de confort térmico al cual están expuestos sus ocupantes.

### ***Cantidad de envolvente y control solar***

Como se puede ver en las fotografías de la edificación, en la Fotografía 2, las fachadas principales poseen grandes cantidades de acristalamiento, a la vez que las fachadas secundarias en cambio se muestran en su mayoría con muros sin mayor cantidad de acristalamiento. A su vez en lo referente a control solar, en ninguna de las fachadas del edificio existen elementos exteriores que puedan dar algún tipo de protección o control solar. El único control solar que existe en algunos espacios de la edificación es cortinas o persianas interiores que son manipuladas manualmente por los usuarios dependiendo de su necesidad.



Fotografía 2. Fachadas edificio Caso de Estudio

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2 Selección de los espacios de estudio

En base a los parámetros antes mencionados y analizados, se procede a escoger dos espacios representativos dentro del edificio para realizar los análisis de confort térmico, para dicha selección se escogerá dependencias que se encuentren contrapuestas entre ellas con relación al asoleamiento presente en la edificación. Adicional se tomará en cuenta la cantidad de envolvente en contacto con el exterior, la cantidad de acristalamiento y la cantidad de usuarios que trabajan en el espacio seleccionado. Los espacios seleccionados son: la oficina de la Alcaldía y la Jefatura de Personal. Ver Ilustración 4

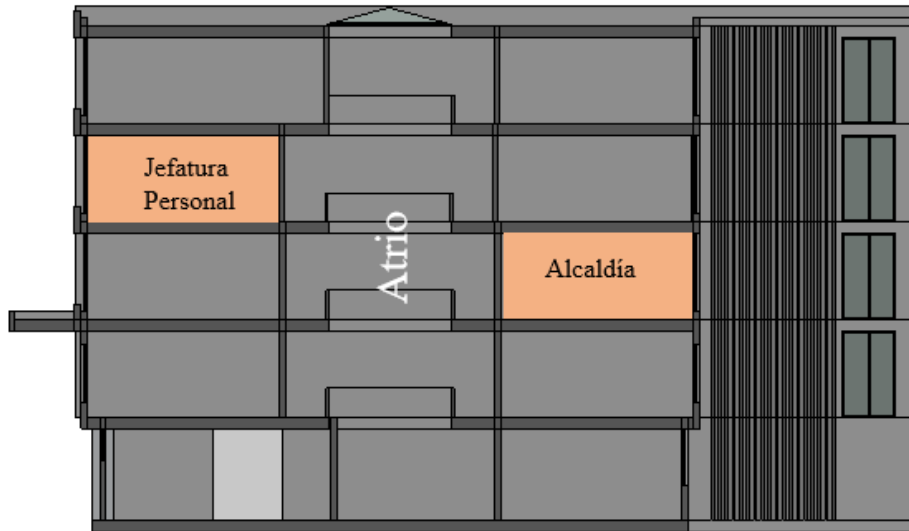


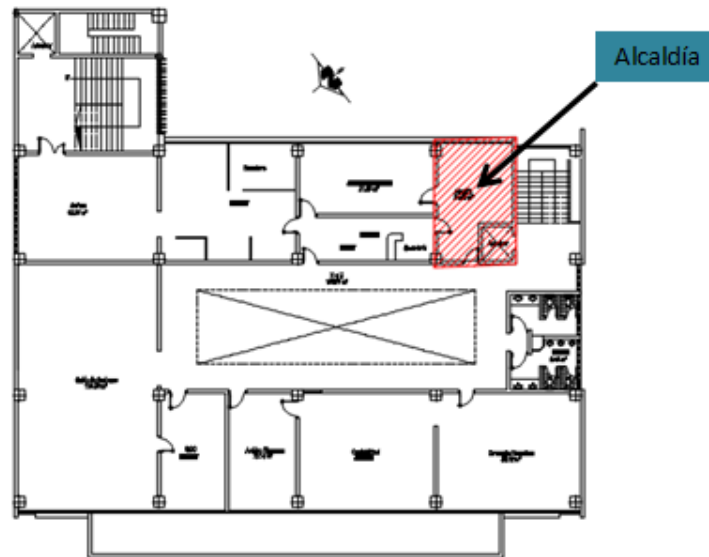
Ilustración 4, Esquema en corte de ubicación de espacios de estudio seleccionados.

Fuente: Elaboración propia, 2017

### *Alcaldía*

La dependencia de la Alcaldía se encuentra ubicada sobre la fachada con orientación sureste (fachada posterior en la edificación), ver Plano 1; y se encuentra ubicada en el segundo piso alto; dentro de su envolvente inmediata posee un solo lado de acristalamiento hacia el exterior de la edificación y los lados restantes con paredes de bloque que colindan con otras dependencias y espacios del edificio de caso de estudio.

Los materiales con los cuales está edificada esta dependencia, al igual que el resto de la edificación es por medio de paredes construidas con bloque de 20cm; enlucidas, pasteadas y pintadas, las losas de entepiso son de hormigón armado con alivianamiento por medio de bloques, con un espesor de 40cm; una altura de entepiso de 3,00m libres. Puertas de madera, el recubrimiento del piso es en madera tipo piso flotante, cielo raso son planchas de yeso, ventanería con vidrio sencillo de 6mm y estructura en aluminio natural. El área aproximada de esta dependencia es de 25.00m<sup>2</sup> en la cual trabajan de forma rotativa tres usuarios.



Plano 1 Ubicación oficina de la Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, AutoCad 2017

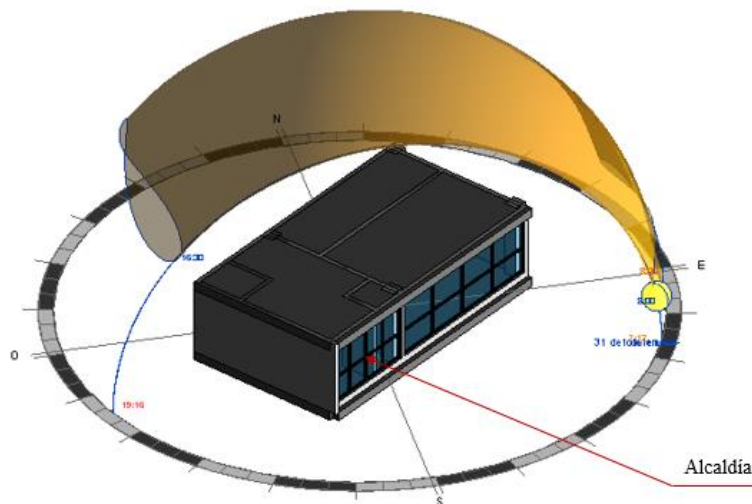


Gráfico 6. Orientación y Asoleamiento Alcaldía

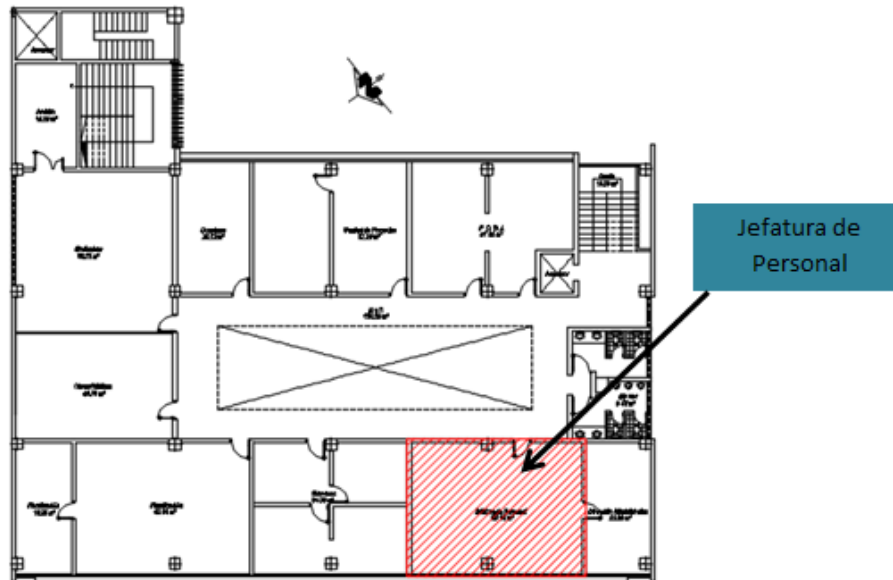
Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

En lo referente al tipo de asoleamiento que se hace presente en esta dependencia, al igual que todas las dependencias ubicadas en la fachada sur-este; recibe sol directo durante las

horas de la mañana hasta el media día; del mismo modo el asoleamiento en esta dependencia no llega de forma perpendicular sino con una dirección este de 38°. Ver Gráfico 6 . Se ha seleccionado el espacio de la Alcaldía como uno espacio representativo de las dependencias y espacios ubicados sobre la fachada sur-este de la edificación del caso de estudio, por su ubicación, tipo de envolvente inmediata, tipo de asoleamiento que recibe; factores que se repiten en varias dependencias de este lado de la edificación, adicional se lo ha seleccionado por la apertura por parte del Alcalde para ser uno de los espacios de estudio de esta investigación.

### ***Jefatura de Personal***

La oficina de esta dependencia se encuentra ubicada en la tercera planta alta y posee una fachada directa con el exterior con una orientación nor-oeste, ver Plano 2. Dicha fachada presenta gran cantidad de acristalamiento, mientras que el resto de su envolvente se presenta en su gran mayoría por mampostería. Por su orientación dentro de la edificación la mayor cantidad de asoleamiento y radiación directa del sol, son recibidas a partir del mediodía hacia la tarde, y es en esta zona horaria en donde esta dependencia tienen mayor ganancia térmica recibida por la radiación solar que en el transcurso del horario de la mañana en donde la radiación recibida es más bien de tipo difusa antes que directa como se presenta en el horario de la tarde, tal como se puede observar en el Gráfico 7. Las especificaciones de los materiales al igual que los acabados son en iguales características que en el espacio de la Alcaldía, con la diferencia que en este espacio no posee ningún tipo de acabado en el cielo raso.



Plano 2 Ubicación Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

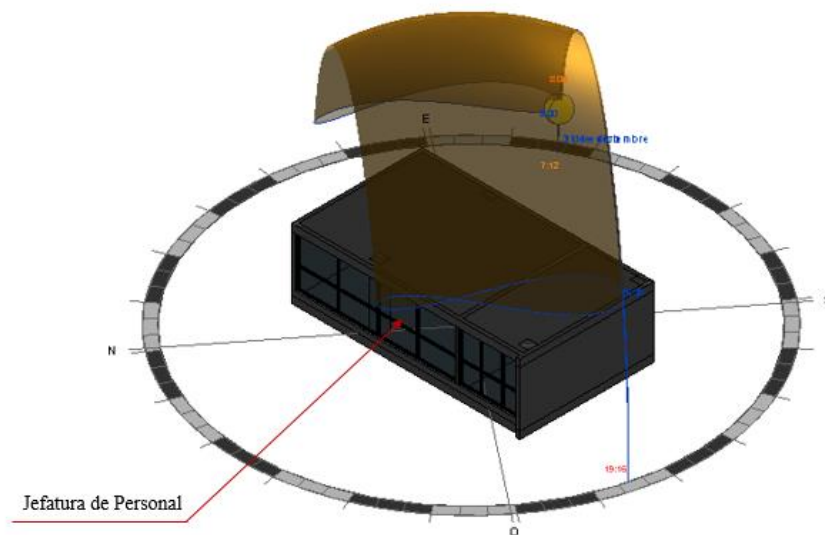


Gráfico 7. Orientación y Asoleamiento Jefatura de Personal

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

El espacio de la Jefatura de Personal, a sido seleccionado por ser un espacio representativo de los lugares de trabajo en donde el asoleamiento y la radiación solar se hace presente pasado el mediodía, con esta característica es definir la influencia que tiene la radiación

solar en la ganancia térmica de los espacios que se encuentran ubicados en este sector de la edificación y como define los niveles de confort térmico al cual están expuestos los ocupantes. Adicionalmente en esta dependencia trabajan alrededor de unas 10 personas en un área de 59,15m<sup>2</sup> con una cantidad igual de computadores que pueden generar ganancia térmica.

Como se ha manifestado en el Capítulo 2, las edificaciones implantadas en climas fríos, se caracterizan por tratar de aislarse del entorno y tratar de captar la mayor cantidad de radiación solar para esta ser acumulada en masas acumuladoras de inercia térmica; es primordial para esta investigación la forma y tipo de asoleamiento que reciben los espacios seleccionados y la incidencia directa que tiene al momento de definir los niveles de confort térmico dentro de dichos espacios. Como se puede ver en la Imagen 1, para la dependencia de la Alcaldía y en la Imagen 2 para la Jefatura de Personal; se ve claramente la incidencia de la radiación solar dentro de los espacios seleccionados de estudio.



Imagen 1 Oficina de la Alcaldía. Modelación Iluminación 13/03/2017; 9:30 am

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

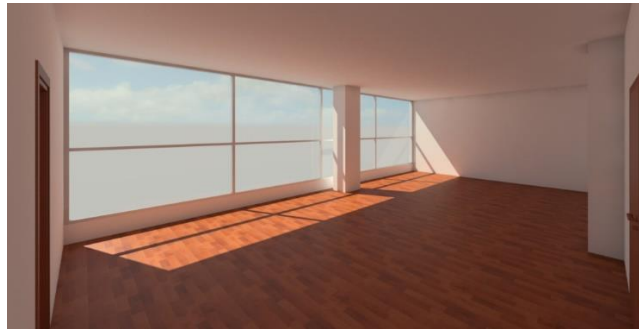


Imagen 2 Jefatura de Personal. Modelación Iluminación 13/03/2017; 15:30 pm

Fuente: Elaboración propia, Revit 2017

### 4.3 Tomas de control

Para el análisis de los niveles de confort térmico de los espacios seleccionados, uno de los procedimientos empleados fue la medición de la temperatura ambiente y la humedad relativa por medio de instrumentos de medición durante un periodo de tiempo determinado; para estos casos de estudio se ocuparon Data Loggers HOBO UX 100-003 y para su procesamiento de los datos recopilados por medio del Software HOBOWare.



Fotografía 3, Hobo Data Logger UX 100-003.

Fuente: (ONSET, 2017)

Así mismo para la correcta recopilación de los datos, la ubicación y altura de los instrumentos se toma como referencia lo indicado por las normas internacionales. ASHRAE 55-2004 y la ISO 7726:1998 que forman parte del Marco Teórico de esta investigación y en las cuales indican: intervalos de medición, exactitud del instrumento, lugar de la toma de la muestra, tiempo de respuesta del instrumento de medición y la hora

de la toma de la muestra, con los datos recopilados de estas normas mencionadas se procede a la elaboración de un protocolo de toma de muestras de los factores ambientales dentro de los espacios seleccionados de estudio de esta investigación, la misma que se indica a continuación en la Tabla 7.

DESCRIPCION	SIMB	U	INTERVALO DE MEDICION	EXACTITUD	LUGAR	TIEMPO DE RESPUESTA	HORA
TEMPERATURA DEL AIRE	$t_a$	°c	10°c a 40°c	Requerida: $\pm 0,5$ °c Deseable: $\pm 0,2$ °c	En el lugar donde la persona sabe que pasa la mayoría de tiempo de trabajo. (ASHRAE 55-2004)  A una altura del piso de 0,10, 0,60 y 1,10 mts para personas que realizan trabajos sentados. (ASHRAE 55-2004)  0,60 m medidos desde el piso. (ASHRAE 55-2004)	Cada cinco minutos o menos durante al menos dos horas para establecer la naturaleza del ciclo de medicion. (ASHRAE 55-2004)	10:00 a 12:00 y de 14:00 a 16:00
VELOCIDAD DEL AIRE	$v_a$	m/s	0,05m/s a 1 m/s	Requerida: $\pm (0,5+0,05 V_a)$ m/s Deseable: $\pm (0,02+0,07V_a)$ m/s		cada 3 minutos. (ASHRAE 55-2004)	
HUMEDAD RELATIVA	$h_r$	%	10% al 90%	1%		Una sola vez, siempre que se pueda demostrar que no hay grandes variaciones en la medicion. (ASHRAE 55-2004)	
TEMPERATURA MEDIA RADIANTE	$t_r$	°c	10°c a 40°c	Requerida: $\pm 2$ °c Deseable: $\pm 0,2$ °c		Cada cinco minutos o menos durante al menos dos horas para establecer la naturaleza del ciclo de medicion. (ASHRAE 55-2004)	
VESTIMENTA		clo			Se determinan por medio de la observación directa y por medio de la encuesta		
ACTIVIDAD		met					

Tabla 7. Protocolos de medición para los instrumentos de medidas.

Fuente: Elaboración propia basado en ISO 7726:1998 y ASHRAE 55-2004

De igual manera para la toma de datos de la temperatura media radiante y la velocidad del viento, se utilizó el equipo Kestrel 4400 con registro manual, los datos se incluyen en la ficha de encuesta a los usuarios descrita en el Anexo C para la validación de los datos

obtenidos también se basa la toma de la muestra según los parámetros descritos en la Tabla 7.



Fotografía 4. Termómetro de globo negro marca KESTREL 4400.

Fuente: (KESTREL, 2017)

Adicional se hace uso de la cámara termográfica para la correlación de resultados entre los métodos empleados para la definición del confort térmico dentro de los espacios de estudio seleccionado. Para esta investigación se utiliza la cámara termográfica modelo FLIR i5 y la interpretación de las imágenes obtenidas por medio del Software FLIR Tools.



Fotografía 5. Cámara termográfica modelo Flir i5.

Fuente: (FLIR, 2017)

#### **4.4 Diseño de encuesta y Tomas de control**

Para la elaboración de la encuesta de esta investigación, se tomó como puntos base los propuestos por la norma ISO 10551:1995 antes expuesta, para determinar la sensación térmica subjetiva del individuo en relación al ambiente analizado, adicional se incluye los dos puntos propuestos por la ASHRAE 55-2004 que identifican la vestimenta y nivel de actividad del entrevistado.

Las encuestas están dirigidas a los trabajadores permanentes de los espacios seleccionados dentro de los horarios de trabajo establecidos. Se propone tomar dos muestras diarias de las encuestas, una en periodos comprendidos en horas de la mañana y la segunda en periodos comprendidos en horas de la tarde.

La encuesta consta de dos páginas en las cuales se desarrollan las diferentes tipos de preguntas a los encuestados; en la primera página se desarrollan las preguntas de rigor, tales como tiempo de permanencia, tiempo de ultima ingesta de alimentos y si se encuentra en condiciones sanas; para validar que el encuestado se encuentra apto para proseguir con la encuesta además de datos personales y del espacio donde se desarrollan las actividades del encuestado. Además en esta primera parte de la encuesta se incluye los datos referentes a la vestimenta y nivel de actividad del encuestado.

En la segunda página se encuentran todas las preguntas referentes a la sensación térmica personal del ambiente, preguntas sobre la preferencia del ambiente térmico y el registro de temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad relativa y velocidad del viento, en el momento de la encuesta.

En el Anexo C se adjunta el tipo de formato de encuesta diseñado para esta investigación, por medio de la cual en base a las escalas planteadas para cada pregunta, según se lo indica en la Tabla 6 en el capítulo del Marco Teórico, determinar de manera subjetiva la sensación térmica percibida por los ocupantes en relación al ambiente térmico en el cual desarrollan sus actividades, para definir el nivel de confort térmico por medio de escala subjetiva y posteriormente realizar una correlación de resultados con los obtenidos en la

valoración del ambiente térmico por medio de equipos especializados en las tomas de control.

Adicional, para la validación de la muestra de datos por medio de la encuesta realizada a los ocupantes, es necesario determinar la cantidad de encuestas a ser realizadas, para lo cual por medio de la aplicación de una fórmula estadística se determina la muestra necesaria para dicha validación. En la Tabla 8 se indica la fórmula empleada y el tamaño de muestra requerida.

MUESTRA CON PROPORCIONES	
Variable	Valor
Población	14
Intervalo de confianza	95%
Z	1,9600
Probabilidad a favor	50%
Probabilidad en contra	50%
Error de estimación %	25%
Tamaño de muestra	8

$$n = \frac{z^2 pqN}{e^2 (N - 1) + z^2 pq}$$

Tabla 8. Cantidad de encuestas diarias por método estadístico para validar la muestra

Fuente: Elaboración propia, 2017

#### 4.5 Calculadora PMV y PPD

Para los cálculos del PMV, según lo indica la norma internacional ISO 7730:2005, pueden ser calculados mediante ordenadores, para los cuales la norma incluye una tabla con ejemplos de salidas para la validación de los programas empleados; además se puede calcular los valores del PMV por medio de tablas que se encuentran incluidas dentro de la norma en donde se incluye diferentes tipos de combinaciones de actividad, vestimenta, temperatura operativa y velocidad relativa del viento; adicional también se puede calcular los valores de PMV por medio de fórmulas las cuales se encuentran descritas; y también por medición directa empleando sensores integradores. (Standarization, 2006). Para el

cálculo del PPD, este se calcula una vez que haya sido determinado el PMV por medio de ecuaciones que se indican dentro de la misma norma.

Para esta investigación se empleara el Software Psycho Tool, en cual se procede a calcular los valores de PMV y PPD; este Software ha sido seleccionado por la facilidad y cantidad de datos que pueden ser incorporados para el cálculo como la temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad del viento, vestimenta y actividad del usuario, mismos parámetros que fueron incluidos por McPherson en 1963 para definir el ambiente térmico. Los valores de cada uno de los parámetros mencionados para el cálculo del PMV y PPD, serán aquellos que resulten de la recopilación y procesamiento por medio de las Tomas de Control indicadas anteriormente en este Capítulo.

Los resultados presentados por el Software, además de los valores de PMV y PPD, es la descripción del ambiente térmico percibido dentro del diagrama psicrométrico, con la posibilidad de la incorporación de clasificación de climas, estrategias de climatización y otros parámetros de análisis de confort térmico para ser expresados dentro del diagrama psicrométrico de forma más gráfica.

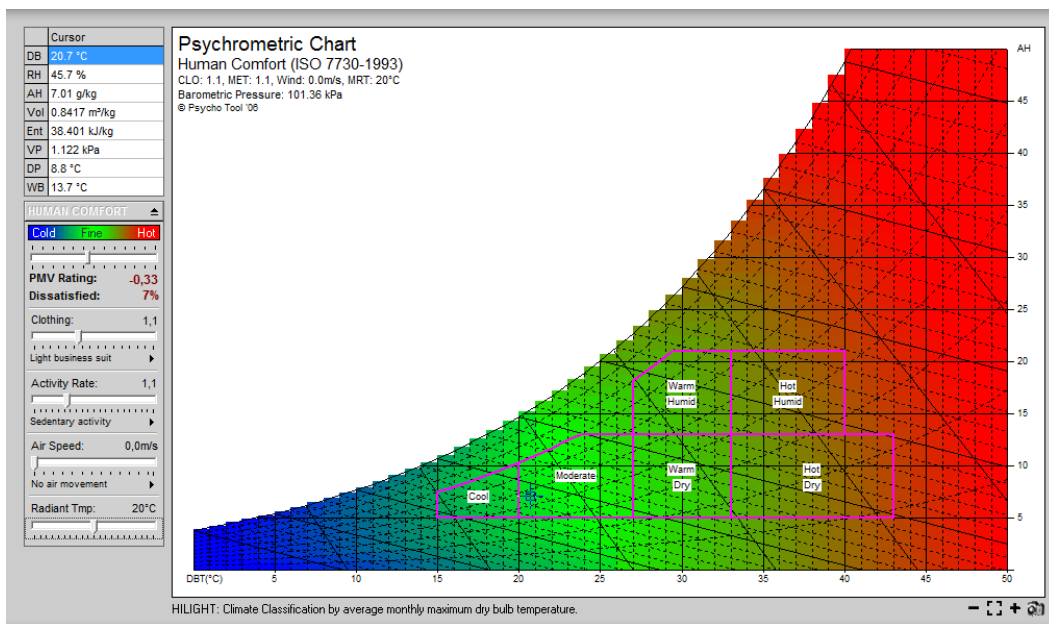


Figura 18, Representación de resultados por medio de Psycho Tool

Fuente: Elaboración propia, 2017

## 5. Resultados

### 5.1 Mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa

Para el correcto registro de la temperatura ambiente y la humedad relativa dentro de los dos espacios seleccionados de estudio, se siguió el protocolo elaborado en base a la normas internacionales indicado dentro de la ASHRAE 55:2004 que indica que los instrumentos de media para análisis de confort térmico en espacios destinados a trabajos de oficina, con un nivel de actividad entre 1.0met y 1.3met, con un nivel de vestimenta entre 0.5clo y 1.0clo, deben ser colocados en alturas de 0.10; 0.60 y 1.10mts medidos desde el piso, esto para usuarios que realizan sus actividades laborables de forma sentada, como se muestra en la Fotografía 6 para la Jefatura de Personal, y en la Fotografía 7 para la Alcaldía.



Fotografía 6. Ubicación de Loggers de la temperatura ambiente y la humedad relativa en Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

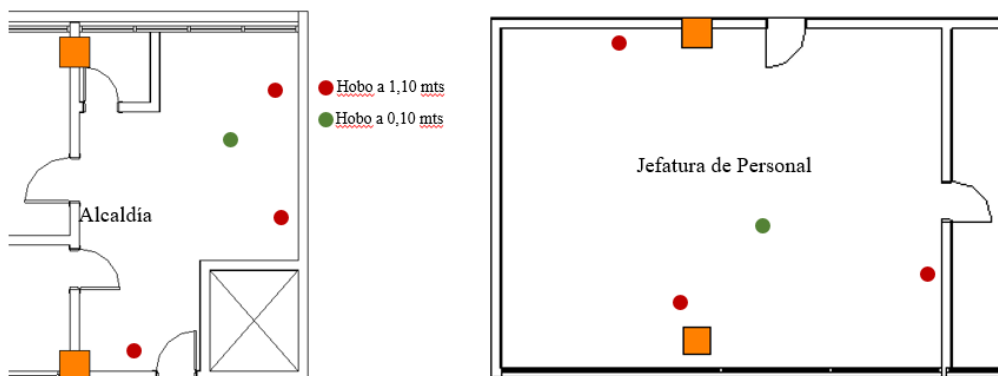


Fotografía 7. Ubicación de Loggers de la temperatura ambiente y la humedad relativa en Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Para los dos espacios de estudio, el tiempo de permanencia dentro de los mismos fue en un periodo de tiempo comprendido desde el 5 de junio al 11 de julio del 2017 correspondiente a seis semanas de medición, con un intervalo de medición de cada 15 minutos tanto para temperatura ambiente como para humedad relativa, esto de acuerdo al protocolo planteado en la Tabla 7.

Para cada caso, se colocaron cuatro Loggers de temperatura ambiente y la humedad relativa ubicados en lugares donde se determina que los usuarios desarrollan sus actividades laborales la mayor parte del tiempo, dentro de la jornada de trabajo; tres de los Loggers se colocaron a alturas de 1.10mts y un Logger a 0.10mts, tal como lo refiere el protocolo de medición elaborado; esto para cada espacio de estudio tal como se indica en el Plano 3 para la Alcaldía y la Jefatura de Personal



Plano 3. Esquema colocación de Loggers de temperatura ambiente y la humedad relativa en Alcaldía y Jefatura de Personal

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2017

De los resultados obtenidos de los Loggers de temperatura ambiente y la humedad relativa durante el periodo de tiempo en las seis semanas de la toma de muestra tanto temperatura ambiente (°c) como para humedad relativa (%); se procede a sacar el promedio entre los Loggers colocados a 1.10mts y se compara los resultados versus el Logger colocado a 0.10mts con el fin de determinar la diferencia de temperatura vertical en los espacios de estudio, mismos resultados que se presentan en la Figura 19 para la Jefatura de Personal, y en la Figura 20 para la Alcaldía.

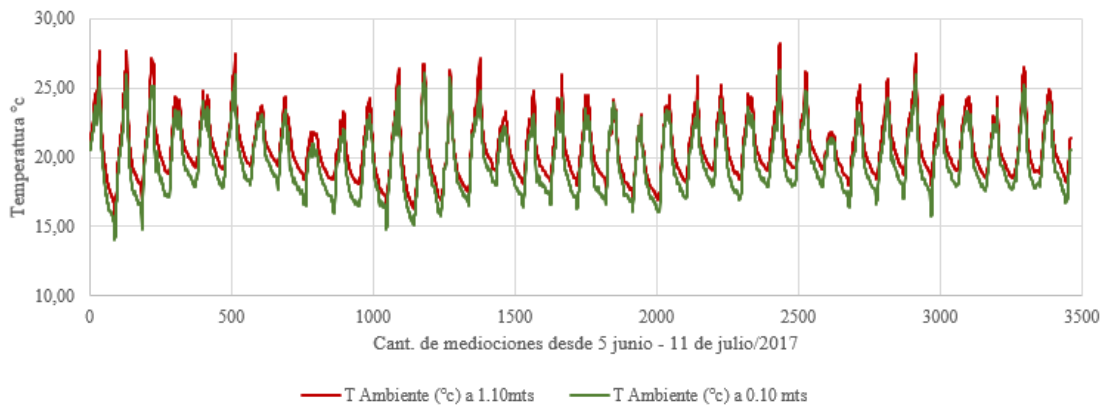


Figura 19, Diferencia de Temp. vertical. Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

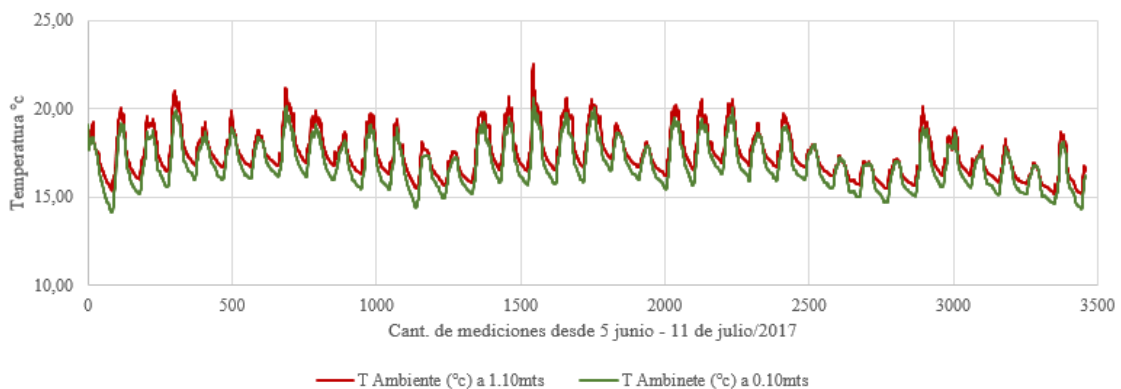


Figura 20, Diferencia de Temp. vertical. Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

La diferencia de temperatura vertical marcada para el caso de la Jefatura de Personal (Ver Figura 19), entre los Logger de Temperatura y Humedad ubicados a 1.10mts y el Logger

a 0.10mts, es de 1.03°C; para la obtención de este valor se calculó el promedio de las mediciones para los dos casos de ubicación de los Loggers. Para el caso de la oficina de la Alcaldía (Ver Figura 20), la diferencia de temperatura vertical marcada es de 0.59°C, resultado obtenido de haber aplicado el mismo cálculo y procedimiento empleado en la Jefatura de Personal.

Con estos resultados de diferencia vertical de temperatura en los dos espacios de estudio, se puede concluir que es mínima y que la temperatura ambiente registrada es constante entre las dos alturas de colocación de los Logger de Temperatura y Humedad, y que de acuerdo con la norma ASHRAE 55:2004 en donde se indica que la diferencia vertical de temperatura debe ser menor a 3°C, los resultados obtenidos están dentro de los parámetros y por ende no existe un discomfort térmico entre la relación cabeza y tobillos.

En base a estos resultados de diferencia vertical de temperatura, se tomara como datos de análisis los resultados promedios de los Loggers ubicados a 1.10mts que corresponden a la altura de la cabeza para un usuario con posición de trabajo sentado. Se analiza la relación que existe entre la temperatura ambiente y la humedad relativa dentro de los espacios seleccionados de estudio que se muestra en la Figura 21 para la Jefatura de Personal y en la Figura 22 para la Alcaldía.

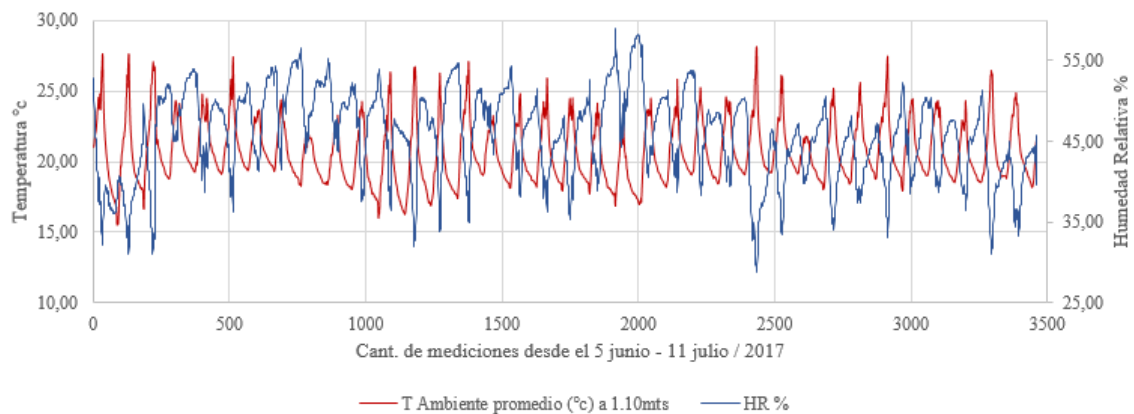


Figura 21. Relación de Temp (°C) y HR (%) Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

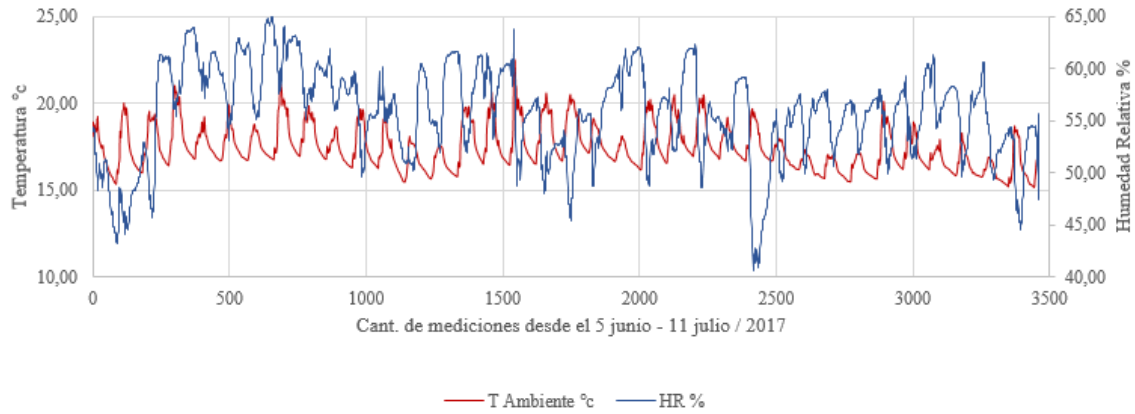


Figura 22. Relación de Temp (°C) y HR (%) Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Con los datos obtenidos de los espacios de estudios, tanto de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%), para la Jefatura de Personal como para la Alcaldía se procede a definir la amplitud térmica como el rango de variación de humedad relativa, durante un periodo de tiempo de seis semanas con registros cada 15 minutos. Los datos se indican en la Tabla 9.

Espacio de estudio	Temp. Ambiente (°C)		Amplitud térmica (°C)	Humedad Relativa (%)		Rango variación (%)
	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima	
Jefatura de Personal	15,54	28,18	12,64	28,88	59,04	30,16
Alcaldía	15,18	22,52	7,34	40,63	65,01	24,38

Tabla 9. Registros mínimos y máximos de Temp Ambiente (°C) y Humedad Relativa (%) para Jefatura de Personal y Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Para determinar el nivel de confort térmico dentro de los espacios de estudio seleccionados, se procede a descartar los registros de los Loggers de Temperatura y Humedad que están por fuera de los horarios de jornada laboral que va desde las 7:30 am hasta las 16:30 pm de lunes a viernes, dando como resultado lo expuesto en la Figura 23 para la Jefatura de Personal y en la Figura 24 para la Alcaldía.

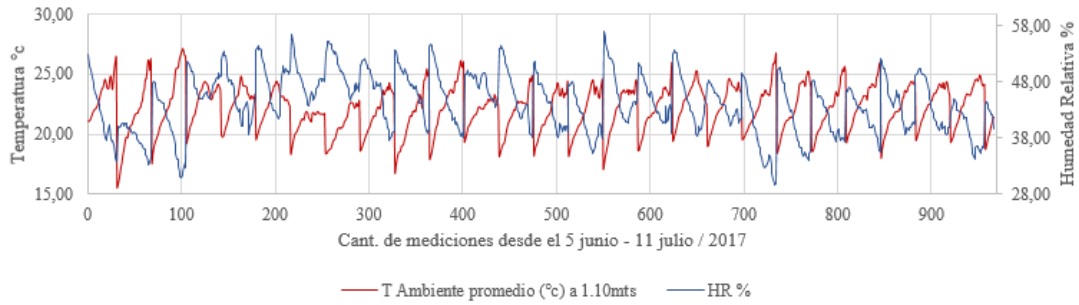


Figura 23. Registros de Temp. (°c) y HR (%) durante jornada laboral, Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

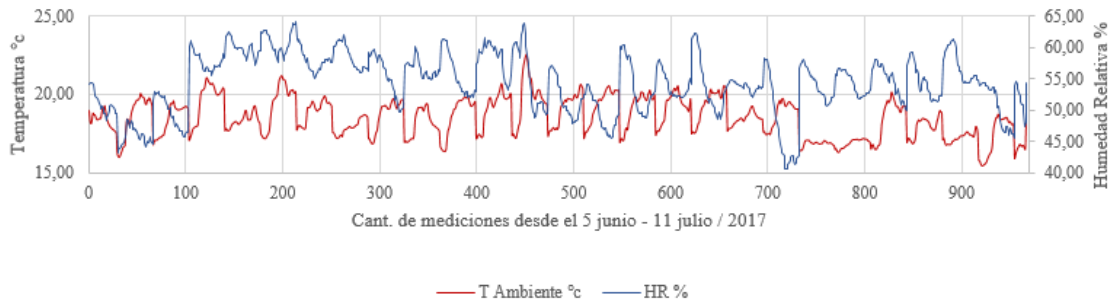


Figura 24. Registros de Temp (°c) y HR (%) durante jornada laboral, Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Con los datos de temperatura ambiente y humedad relativa que se registran únicamente en la jornada laboral, se describe en la

Tabla 10 la amplitud térmica y el rango de variación de humedad relativa para esta condición de tiempo.

Espacio de estudio	Temp. Ambiente (°c)		Amplitud térmica (°c)	Humedad Relativa (%)		Rango variación (%)
	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima	
Jefatura de Personal	15,55	27,09	11,54	29,68	56,96	27,28
Alcaldía	15,42	22,52	7,1	40,63	64,02	23,39

Tabla 10, Registros mínimos y máximos de Temp (°c) y HR (%) durante jornada laboral para Jefatura de Personal y Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Para la validación de los datos obtenidos durante la jornada laboral, y en base a las normas internacionales referidas en el apartado de Normativas de esta investigación, se ha seleccionado la norma internacional del Real Decreto 486/1997, por tener una tolerancia más amplia que las otras normas referidas, en relación al rango de temperatura dentro del cual se considera un ambiente térmico confortable para sus ocupantes; mismo rango que está comprendido entre los 17°C y 27°C.

Los resultados de la validación de los espacios de estudio seleccionados, se muestran en la Figura 25 para la Jefatura de Personal y en la Figura 26 para la Alcaldía; en donde se indican los niveles de temperatura registrados para los dos espacios de estudio dentro de los rangos permitidos por la norma internacional del Real Decreto 486/1997.

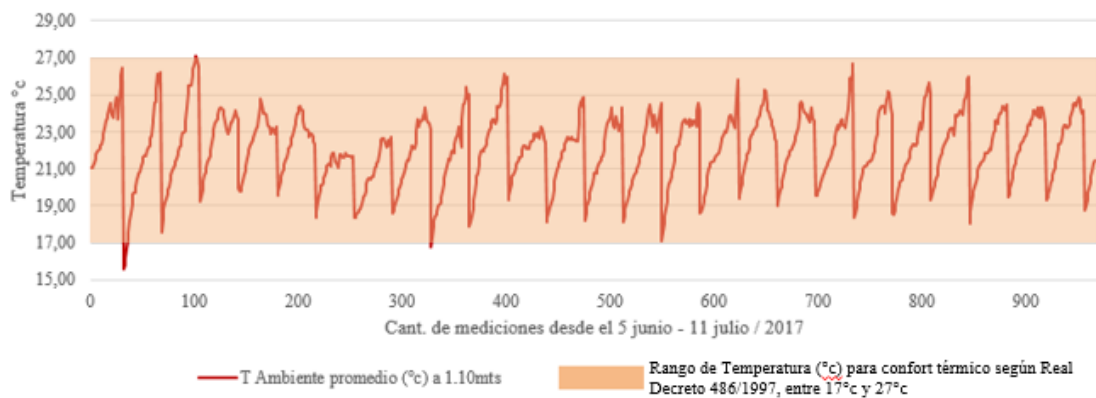


Figura 25. Rango de temperatura según Real Decreto 486/1997 para Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

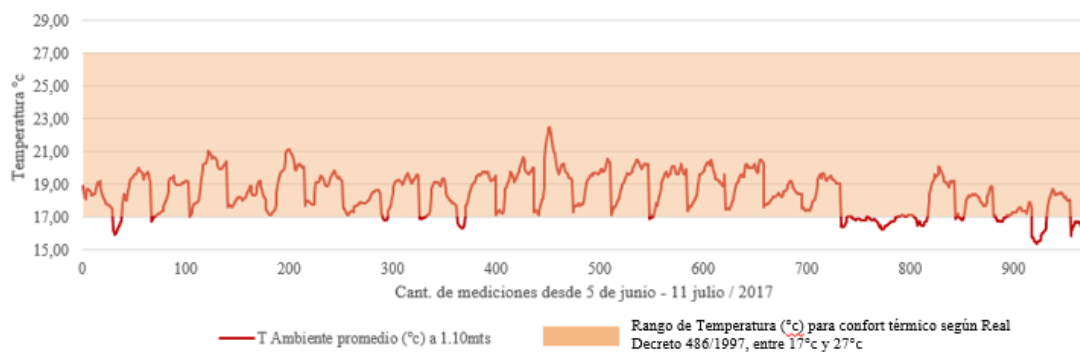


Figura 26. Rango de temperatura según Real Decreto 486/1997 para Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Al revisar los resultados se puede observar que en la Jefatura de Personal la amplitud térmica registrada se encuentra dentro de los rangos de confort térmico que permite el Real Decreto 486/1997, con muy pocas excepciones en donde se encuentra por fuera del rango permitido. A su vez el espacio de la Alcaldía registra una amplitud térmica menor a la de la Jefatura de Personal pero que de igual manera se encuentra dentro de los parámetros de confort con varios picos por fuera del rango. Mismos datos que se pueden revisar en la

Tabla 10

En los dos casos de estudio los picos que se encuentran por fuera del rango de confort tienden a temperaturas más bajas de lo aceptable, para lo cual se debe plantear técnicas de ganancia térmica en el interior para lograr estar dentro de los rangos permitidos. Para los dos casos se requiere una ganancia térmica de 2°C ya que en ambos casos no bajan de los 15°C de temperatura.

Estos picos de temperatura que están por fuera del rango establecido por el Real Decreto 486/1997, y que son eventuales, se los atribuye a la ubicación del espacio seleccionado dentro del edificio de caso de estudio, y específicamente al asoleamiento que reciben cada uno de ellos durante la jornada laboral; pese a estos picos marcados se concluye que el rango de temperatura registrada en dichos espacios cumple con los niveles requeridos para garantizar a los ocupantes un correcto nivel de confort térmico para el correcto desempeño laboral.

### **6.1 Resultados de encuestas a usuarios**

En base a lo propuesto dentro de la metodología de esta investigación, en referencia al diseño de la encuesta y su aplicación, misma que se adjunta en el Anexo C se procede a la toma de la misma a los usuarios de los espacios seleccionados dentro del edificio de

caso de estudio para evaluar la influencia del ambiente térmico por medio del uso de escalas de juicio subjetivo según lo determina la norma internacional ISO 10551:1995. Es importante recalcar que los resultados obtenidos por medio de la encuesta a ser aplicada a los ocupantes de los espacios seleccionados, servirán de apoyo y posterior correlación con los datos obtenidos por medio de los equipos especializados usados en la toma de muestras de los factores ambientales y en ningún caso serán más valederos que estos.

Por su condición de trabajo, los usuarios a ser encuestados en esta investigación pertenecen a trabajadores del sector público, que presentan un nivel de actividad de tipo: “sedentario”, con valores correspondientes a 1.10 met.; así mismo el tipo de vestimenta que portan los encuestados (uniforme) se lo cataloga como “normal” de acuerdo a la ISO 10551:1995, con valores para hombres de 1.20 clo y para mujeres con un valor de 1.11 clo., y con un tiempo de permanencia no menor a 30 minutos.



Fotografía 8. Personal encuestado, tipo de actividad y vestimenta.

Fuente: Elaboración propia, 2017

De igual manera se realizaron las preguntas de descarte para validar la encuesta: si los encuestados no presentan enfermedad de tipo estacionario, si la permanencia en el lugar de trabajo es superior a 30 minutos y si la última ingesta de alimentos o bebidas ha sido mayor a 30 minutos, puntos basados de acuerdo a la metodología planteada para esta investigación basada en ISO 10551:1995. También se procede a la toma de temperatura corporal del encuestado por medio de un termómetro digital marca MOBI, para cerciorar

de que el encuestado se encuentra en condiciones saludables y es apto para proceder con la encuesta.



Fotografía 9. Toma de temperatura corporal a los encuestados.

Fuente: Elaboración propia, 2017

La cantidad de encuestados en los dos espacios seleccionados de estudio es: en la Jefatura de Personal existen trabajando de forma permanente una cantidad de 6 mujeres y 3 hombres; a su vez en la dependencia de la Alcaldía trabajan 3 mujeres y 2 hombres con edades comprendidas entre los 26 a 48 años; a los cuales se les realizó la encuesta en dos franjas horarias en un mismo día, durante la mañana en horarios comprendidos entre las 9:00am y 11:00am, y durante la tarde en horario comprendido entre las 14:00pm y 16:00pm, durante un periodo de tiempo de una semana; recopilando un total de 54 encuestas entre todos los encuestados, superando la cantidad de muestras necesarias para validar la encuesta de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 4: Diseño de encuesta y Tomas de control que forman parte de la metodología de esta investigación.

Del mismo modo, se define en la encuesta una descripción breve del espacio de trabajo de los espacios seleccionados, como es el tipo de espacio (cerrado, semi abierto, abierto); tipo de edificación (tradicional o contemporánea); y si existe un sistema de control climático (calefacción, ventilador, aire acondicionado o ninguno). Los resultados obtenidos después de la realización de la encuesta a los ocupantes de los espacios seleccionados se describen a continuación,

## Jefatura De Personal

### *Sensación térmica personal*

En este apartado las preguntas se basan en la consideración sobre la temperatura que va desde sentir (Jiménez, 2011); (Bojorquez Morales, 2010). los rangos van desde; mucho frio a sentir mucho calor; la humedad en la piel, que va desde sentirse muy húmedo a muy seco; y la cantidad de viento, que va desde percibir mucha ventilación a ninguna ventilación. De igual manera se hacen consideraciones de preferencia sobre la sensación térmica personal de cada encuestado, todos los resultados se muestran resumidos en la Tabla 11, donde se indican la cantidad de votaciones y su respectivo porcentaje.

Pregunta de encuesta	Cantidad de votos y porcentajes por cada parametro consultado							Total encuestas
	Mucho frio	Frio	Algo de frio	Ni calor, ni frio	Algo de calor	Calor	Mucho calor	
¿Cómo se siente usted este momento?								44
	1	5	13	17	8	0	0	
	2,27%	11,36%	29,55%	38,64%	18,18%	0,00%	0,00%	
¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco	44
	0	0	2	41	1	0	0	
	0,00%	0,00%	4,55%	93,18%	2,27%	0,00%	0,00%	
¿Cómo siente la ventilación en este momento?	Mucha ventilación	Mediana ventilación	Ligera ventilación	Ninguna ventilación				44
	1	3	12	28				
	2,27%	6,82%	27,27%	63,64%				
¿Cómo se encuentra usted este momento?	Confortable	Ligeramente incórfortable	Inconfortable	Muy Incórfortable	Extremadamente incórfortable			44
	37	6	1	0	0			
	84,09%	13,64%	2,27%	0,00%	0,00%			
¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación?	Preferiría mas ventilación	Sin cambio	Preferiría menos ventilación					44
	5	34	5					
	11,36%	77,27%	11,36%					
¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?	Mucho mas fresco	Más fresco	Un poco mas fresco	Sin cambio	Con un poco mas de calor	Con mas calor	Mucho mas caluroso	44
	1	4	3	24	12	0	0	
	2,27%	9,09%	6,82%	54,55%	27,27%	0,00%	0,00%	

Tabla 11. Resultados de encuesta sobre sensación térmica personal, Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de sensación térmica personal dentro de esta dependencia y en relación a la primera pregunta de la encuesta realizada que tiene que ver con la sensación percibida de temperatura del ambiente analizado, se determina que no existe un porcentaje absoluto o mayoritario dentro de cualquiera de las categorías definidas para esta pregunta; el porcentaje mayoritario que es del 38.64% de los encuestados se encuentran en un punto neutro, es decir de no sentir ni calor ni frío; el resto de encuestados se encuentra con diferentes porcentajes con una tendencia a sentir más frío que calor; adicional existe una cantidad de encuestados, que es menor, con una leve tendencia a sentir algo de calor. Para esta investigación esta pregunta es una de las más importantes ya que aquí los ocupantes definen su percepción en relación a la temperatura ambiente y es aquí en donde existen más diferencias entre los niveles de valoración propuestos para esta encuesta; así se puede observar en el Gráfico 8 como se dividen los criterios de los encuestados en relación a cada nivel propuesto.

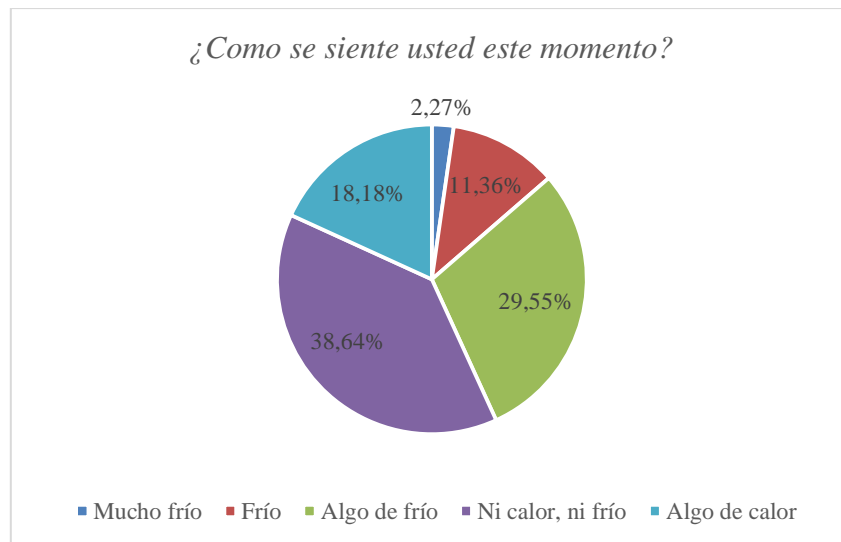


Gráfico 8. Sensación térmica referente a temperatura ambiente en Jefatura de Personal

Fuente: Elaboración propia, 2017

En relación a los resultados obtenidos de las otras preguntas referentes a la percepción térmica del ambiente, los resultados son más homogéneos que en la primera pregunta y los resultados se expresan con porcentajes mayoritarios en cada parámetro consultado, así tenemos que existe una condición de neutralidad en relación a la humedad percibida

por los usuarios con un 93.18% y tendencias con porcentajes bajos a sentirse más húmedo o más seco. En cuanto tiene que ver a la ventilación la mayoría de los encuestados no percibe ningún tipo de ventilación en un 63.64%, a pesar de esta condición los encuestados tampoco presentan una preferencia a tener cambios en cuanto a la ventilación, tal como se ve expresado en la pregunta sobre preferencias en la ventilación y se expresan en un 77.27% a mantenerse en iguales condiciones.

De igual manera los resultados generados en cuanto tiene que ver con la preferencia del ambiente térmico por parte de los encuestados es en un 54.55% de no desear cambio alguno del ambiente en el que se encuentran, con un porcentaje considerable del 27.27% de preferir un ambiente un poco más caliente del que se encuentran en el momento de la encuesta. En el Gráfico 9 se puede observar de mejor manera los porcentajes indicados sobre la percepción del ambiente térmico, a excepción de la primera pregunta de encuesta que ya se inicio en el Gráfico 8

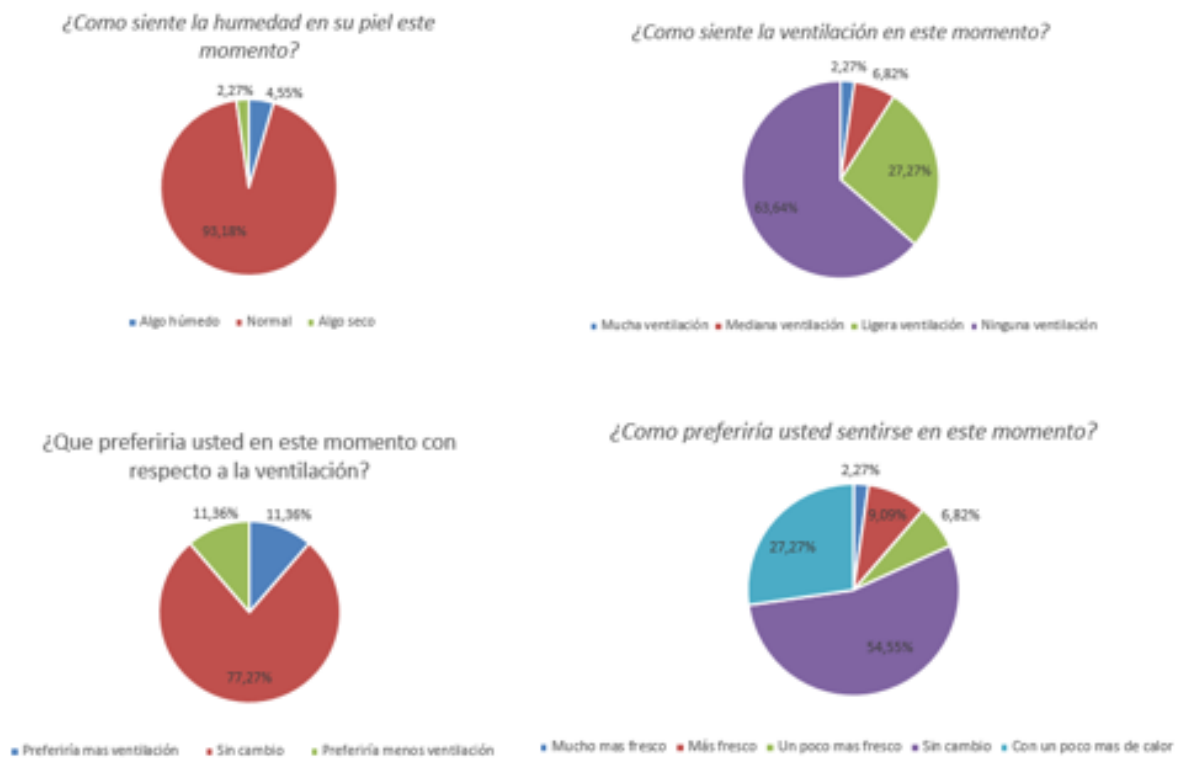


Gráfico 9. Resultados en porcentajes de percepción del ambiente térmico en Jefatura de Personal

Fuente: Elaboración propia, 2017

***Ambiente térmico***

Igualmente en este apartado se presenta una percepción del ambiente térmico del espacio de estudio, en donde se expone una condición de aceptable o de inaceptable, y una valoración de tolerancia que va desde perfectamente tolerable a extremadamente intolerable que puede tener el encuestado en relación al ambiente térmico, los resultados se indican en la Tabla 12 para la dependencia de la Jefatura de Personal.

Pregunta de encuesta	Cantidad de votos y porcentajes por cada parametro consultado					Total encuestas
<i>¿Cómo considera el ambiente en lo personal?</i>	Generalmente aceptable	Generalmente inaceptable				44
	44	0				
	100,00%	0,00%				100,00%
<i>¿Qué tan tolerable le parecen las condiciones del ambiente en este momento?</i>	Perfectamente tolerable	Tolerable	Ligeramente intolerable	Intolerable	Extremadamente intolerable	44
	1	41	2	0	0	
	2,27%	93,18%	4,55%	0,00%	0,00%	100,00%

Tabla 12. Resultados de encuesta sobre el ambiente térmico, Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Los resultados obtenidos en cuanto se refiera a la percepción de los encuestados sobre el ambiente térmico al cual están expuestos, se define con una aceptabilidad del ambiente del 100%; y en relación a la tolerabilidad que pueden llegar a tener los usuarios encuestados, el 93.18% de ellos consideran que es un ambiente tolerable, a pesar que los datos obtenidos en la primera pregunta que valora las condiciones de temperatura, hayan tenido como resultante datos no homogéneos por parte de los ocupantes.

Al realizar un análisis global de todos los datos recopilados en las encuestas realizadas a los ocupantes de la Jefatura de personal, se puede definir que los usuarios se encuentran dentro de parámetros aceptables de confort térmico, con ciertos resultados atípicos que al ser analizados pertenecen a respuestas dadas por los mismos individuos y que se marcan dentro de los porcentajes bajos en cada pregunta de la encuesta. Esto se lo atribuye a las

condiciones de metabolismo de cada individuo que se encuentra dentro de estos resultados atípicos. En el Anexo C, en la Tabla 22 se adjunta el cuadro donde se describen todas las repuestas, con horarios, días de la encuesta, edades, peso, talla, nivel de actividad, nivel de vestimenta realizada a los usuarios en la Jefatura de Personal.

Para contrastar los datos de las encuestas recopiladas en la Jefatura de Personal, se muestra en la Figura 27 los registros de temperatura y humedad relativa de los Loggers ubicados en esta dependencia, denotando que los niveles registrados de temperatura se encuentran en su mayoría dentro de los rangos permitidos para confort térmico, de acuerdo al Real Decreto 486/1997, con ciertos picos de altas y bajas de temperatura registrados. A su vez los registros de humedad relativa fluctúan en base a las temperaturas registradas sin sobrepasar el 60% de humedad relativa dentro del espacio de estudio.

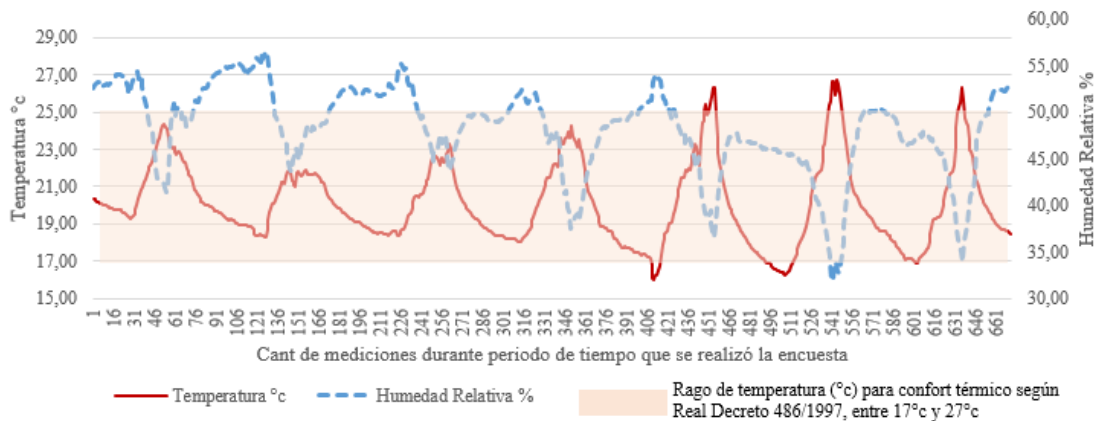


Figura 27. Registro de Temp. (°C) y HR (%) durante período de encuestas, Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia, 2017

### *Alcaldía*

En la dependencia de la Alcaldía se aplicó el mismo procedimiento metodológico de encuesta que se realizó en la dependencia de la Jefatura de Personal, los resultados obtenidos se indican en la Tabla 13 para los datos que se refieren a la sensación térmica

percibida por los encuestados; y en la Tabla 14 para los datos sobre la percepción del ambiente térmico. Mismas tablas que se muestran a continuación:

Pregunta de encuesta	Cantidad de votos y porcentaje por cada parametro consultado							Total encuestas
¿Cómo se siente usted este momento?	Mucho frio	Frio	Algo de frio	Ni calor, ni frio	Algo de calor	Calor	Mucho calor	10
	0	2	5	3	0	0	0	
	0,00%	20,00%	50,00%	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco	10
	0	0	0	9	1	0	0	
	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	100,00%
¿Cómo siente la ventilación en este momento?	Mucha ventilación	Mediana ventilación	Ligera ventilación	Ninguna ventilación				10
	0	0	0	10				
	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%				100,00%
¿Cómo se encuentra usted este momento?	Confortable	Ligeramente incófortable	Inconfortable	Muy Incófortable	Extremadamente incófortable			10
	8	2	0	0	0			
	80,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%			100,00%
¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación?	Preferiría mas ventilación	Sin cambio	Preferiría menos ventilación					10
	5	5	0					
	50,00%	50,00%	0,00%					100,00%
¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?	Mucho mas fresco	Más fresco	Un poco mas fresco	Sin cambio	Con un poco mas de calor	Con mas calor	Mucho mas caluroso	10
	0	0	1	3	6	0	0	
	0,00%	0,00%	10,00%	30,00%	60,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Tabla 13. Resultados de encuesta sobre sensación térmica personal, Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Pregunta de encuesta	Cantidad de votos y porcentaje por cada parametro consultado					Total encuestas	
¿Cómo considera el ambiente en lo personal?	Generalmente aceptable	Generalmente inaceptable				10	
	10	0					
	100,00%	0,00%				100,00%	
¿Qué tan tolerable le parecen las condiciones del ambiente en este momento?	Perfectamente tolerable	Tolerable	Ligeramente intolerable	Intolerable	Extremadamente intolerable		10
	1	9	0	0	0		
	10,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%		100,00%

Tabla 14. Resultados de encuesta sobre el ambiente térmico, Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

En esta dependencia se puede apreciar que los usuarios manifiestan tener una sensación de temperatura con una tendencia mayor por parte de los encuestados a sensaciones de más frío que los resultados obtenidos por parte de los encuestados en la Jefatura de Personal, tal como se puede indicar en el Gráfico 10.

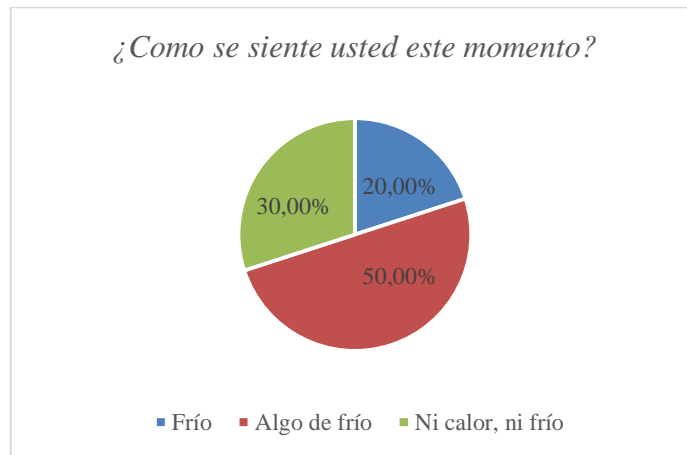


Gráfico 10. Sensación térmica referente a temperatura en Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

En lo referente a los datos obtenidos en los otros parámetros de la encuesta indican que los usuarios de esta dependencia prefieren tener una sensación de sentir más calor, a diferencia de los usuarios de la Jefatura de Personal; estos resultados se indican en el Gráfico 11. A pesar de esta condición de preferir una sensación térmica más vinculada a sentir más calor, los usuarios de esta dependencia consideran al ambiente térmico como aceptable y tolerable, tal como se indicó en los resultados obtenidos en la Tabla 14.

Con los resultados de las encuestas obtenidos en esta dependencia,( Gráfico 11 y en la Tabla 23 en el Anexo C.) se define que los usuarios perciben más frío dentro de las escalas de juicio subjetivo.

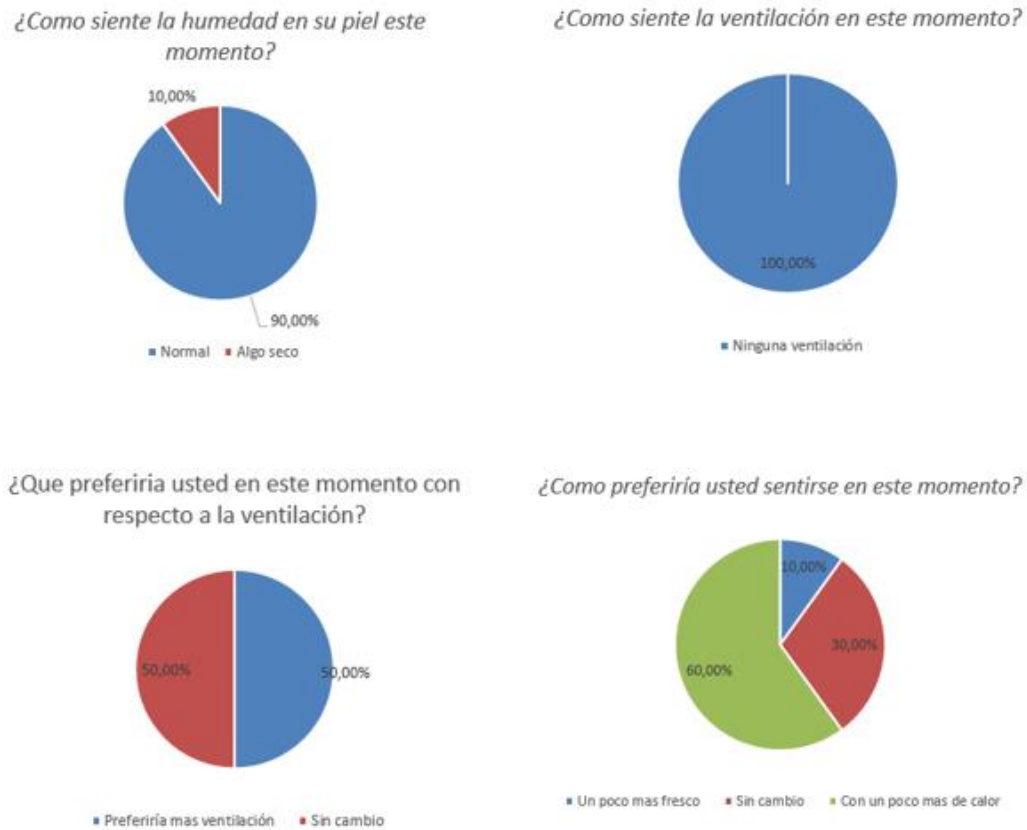


Gráfico 11. Resultados en porcentajes de percepción del ambiente térmico en Alcaldía

Fuente: Elaboración propia, 2017

En esta dependencia no se registran resultados atípicos, estando todos los resultados obtenidos dentro de parámetros más consolidados de entre las escalas de valoración en la encuesta. De igual manera los registros de temperatura ambiente y humedad relativa obtenidos por medio de los Loggers marcan temperaturas más bajas que en la Jefatura de Personal, corroborando los resultados obtenidos de las encuestas, ver Figura 28.

En comparación entre los registros de temperatura y los rangos de confort térmico dados por el Real Decreto 486/1997, se determina que gran parte de las mediciones durante el periodo de tiempo de las encuestas, están ubicados en temperaturas bajas y en un 40% aproximadamente por fuera de los rangos deseados. A su vez los registros marcados de humedad relativa corroboran los registros de la temperatura, considerando que el clima

donde se encuentra ubicado el edificio de estudio tiene condiciones de frío y humedad alta corroborándose la clasificación dada por el INER.

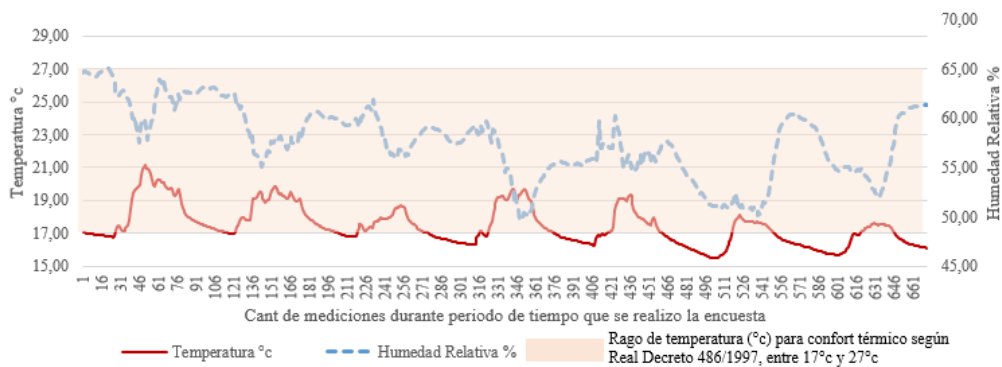


Figura 28. . Registro de Temp. (°c) y HR (%) durante período de encuestas, Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia, 2017

### 7.1 Determinación de PMV y PPD de los espacios seleccionados de estudio

Para la determinación de los valores de PMV y PPD dentro de los espacios de estudio se procede a utilizar el Software Psycho Tool, para el ingreso de los datos para el cálculo de los valores se ocupan los promedios de los valores registrados durante el periodo de tiempo en que fue realizada la encuesta a los usuarios; para así poder validar los resultados obtenidos en los análisis antes descritos en esta investigación, para lo cual se ocupan los siguientes valores indicados en la Tabla 15

	Jefatura de Personal	Alcaldía
Temperatura (°c)	20,09	17,46
Humedad Relativa (%)	48,21	57,64
Temperatura Radiante (°c)	20,50	20,03
Velocidad Viento (m/s)	0,00	0,00
Actividad (met)	1,10	1,10
Vestimenta (clo)	1,11	1,11

Tabla 15. Valores para cálculo de PMV y PPD en espacios de estudio seleccionados.

Fuente: Elaboración propia, 2017

### ***Jefatura de Personal***

Los resultados del cálculo para PMV y PPD de la Jefatura de Personal se indican en la Figura 29 , donde los valores resultantes son: para PMV -0.39 y para PPD 8%, con lo cual corrobora los resultados obtenidos en las encuestas. Como muestra el diagrama psicrométrico, el espacio se encuentra en una zona catalogada como moderada con tendencia al frío que también corrobora el análisis de resultados de las encuestas realizadas a los usuarios.

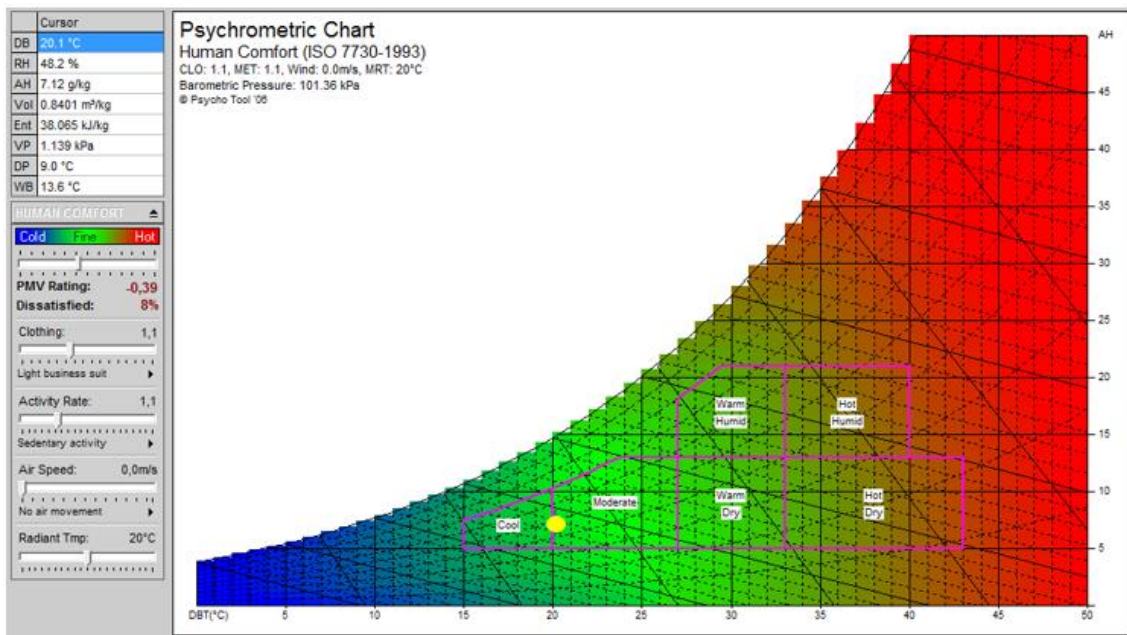


Figura 29. Resultados de PMV y PPD dentro de diagrama psicrométrico. Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia con Psycho Tool, 2017

### ***Alcaldía***

Para esta dependencia los valores para PMV y PPD se expresan en la Figura 30, donde se obtiene valores para PMV de -0.71 y para PPD 15%, de igual forma que en la Jefatura de Personal los resultados del cálculo de PMV y PPD se corroboran con los resultados de las encuestas, en donde la percepción de los usuarios tiende a una sensación térmica de

frio, la misma que dentro del diagrama psicrométrico valida dichos resultados al ubicarse dentro de la clasificación climática de frio.

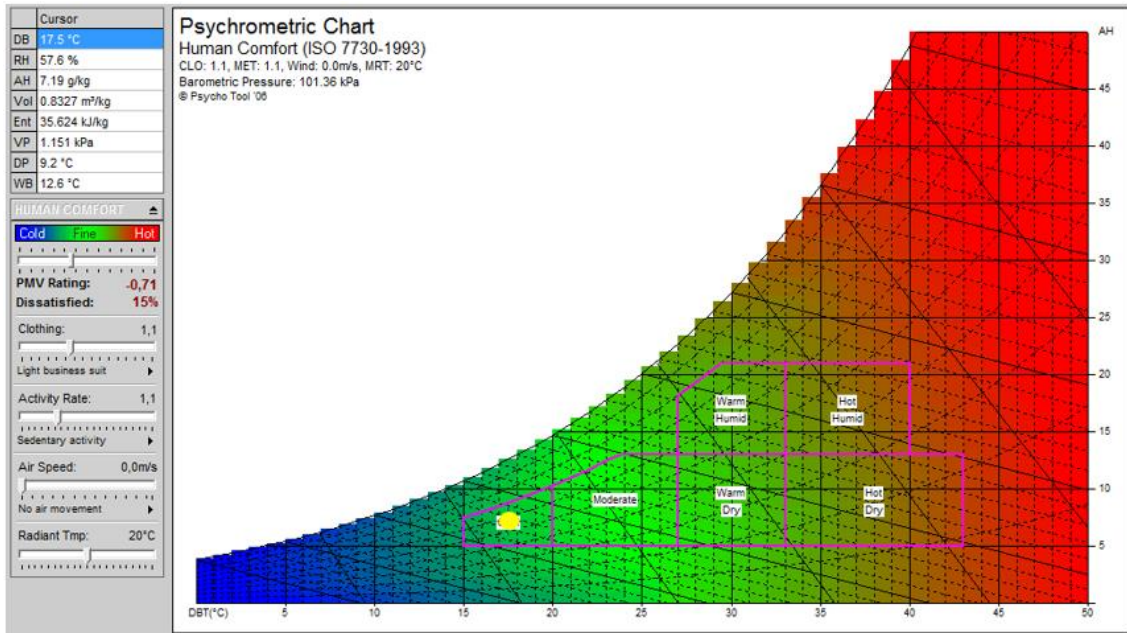


Figura 30. Resultados de PMV y PPD dentro de diagrama psicrométrico. Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia con Psycho Tool, 2017

En base a los resultados obtenidos de los dos espacios de estudio, se puede observar claramente que se requieren estrategias de calentamiento, según los diagramas psicrométricos, con el fin de lograr ubicar los resultados dentro de la clasificación climática moderada, con más prioridad a la dependencia de la Alcaldía que esta por fuera de la zona climática mencionada.

Las mismas estrategias de calentamiento pueden ser aplicadas a la dependencia de Jefatura de Personal, a pesar de encontrarse dentro de la zona considerada como moderada, se encuentra en los límites de la misma con tendencia al frio.

## 8.1 Modelación de los espacios de estudio

Para determinar los niveles de confort térmico que presentan los espacios seleccionados de estudio, se utilizó el programa de modelación DesignBuilder versión 5.0.3.7 que utiliza como motor de cálculo para la modelación EnergyPlus versión 8.5. Dentro del programa se introducen datos propios de la localización, como es archivo climático propio del lugar, orientación, latitud, longitud y altitud del emplazamiento; como se indica en el Gráfico 12

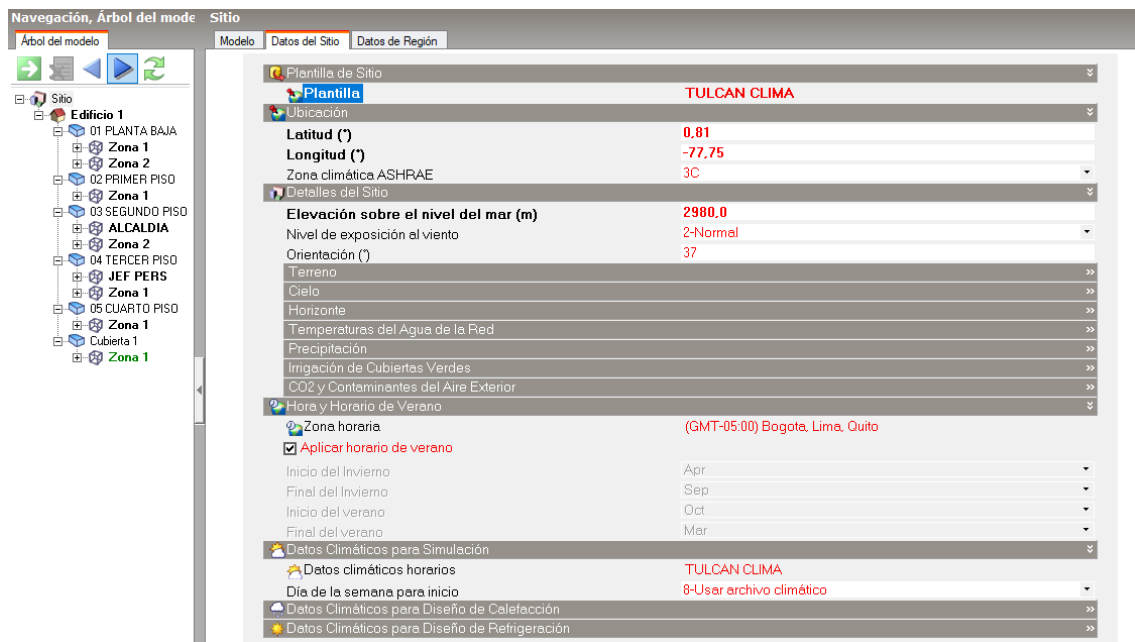


Gráfico 12. Datos de sitio para modelación de edificio del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

De igual manera se generan las plantillas promedio de las cuales se realizaran los cálculos requeridos dentro de la modelación; para el caso de estudio de esta investigación las plantillas necesarias se dividen en los siguientes variables actividad, cerramientos, aberturas e iluminación.

Para la variable actividad, la plantilla seleccionada para la modelación es Generic Office Area, propia de trabajos de oficina, con una densidad para personas de 0.111 personas/m<sup>2</sup>,

adicional para la actividad que desarrollan los ocupantes se ha escogido la plantilla Light office work, con un tipo de vestimenta de valor 1.00 clo. Los datos ingresados para el control ambiental son consignas de temperatura para calefacción de 5°C y para refrigeración de 40°C, con estos valores ingresados aseguramos que en la modelación no se ocupan sistemas de control climático ambiental simulando ser un edificio sin sistemas mecánicos para calefacción o refrigeración. Todos estos valores que se ingresan en la actividad se muestran en el Gráfico 13. De igual forma se crea la plantilla del Horario en base al cual se generara la modelación y se muestra en el Gráfico 14.

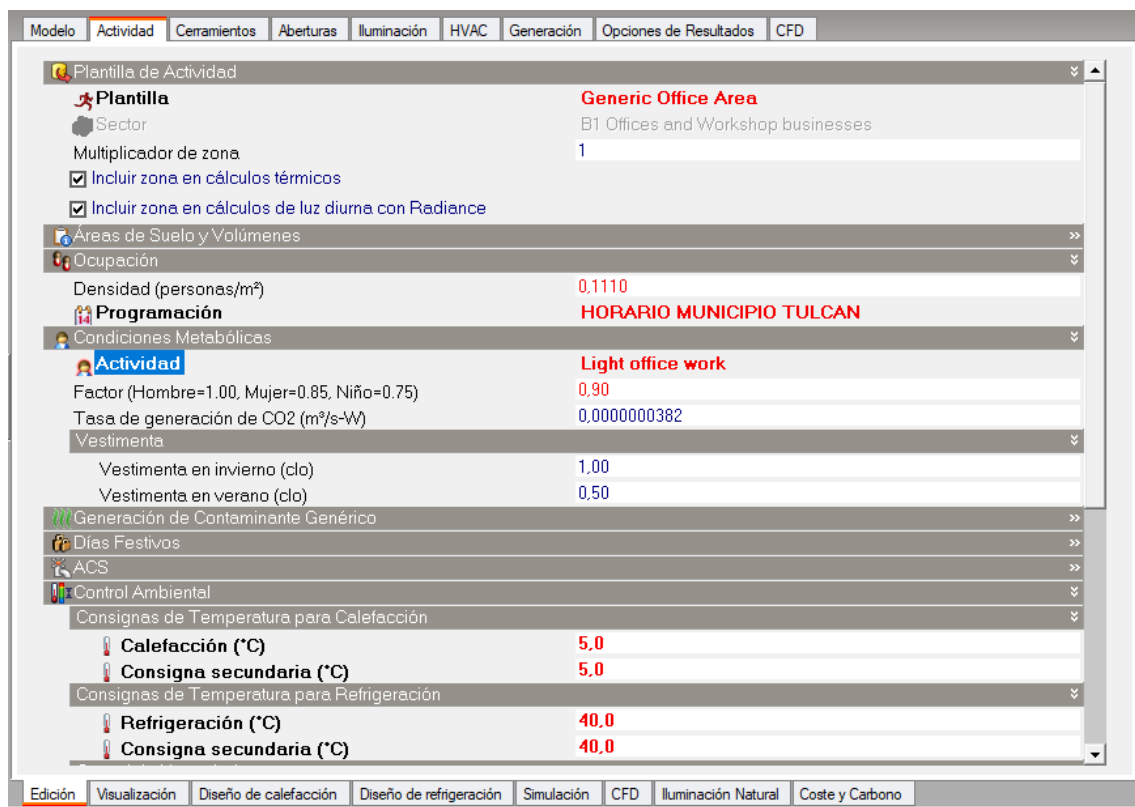


Gráfico 13. Datos ingresados para Actividad de la modelación.

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

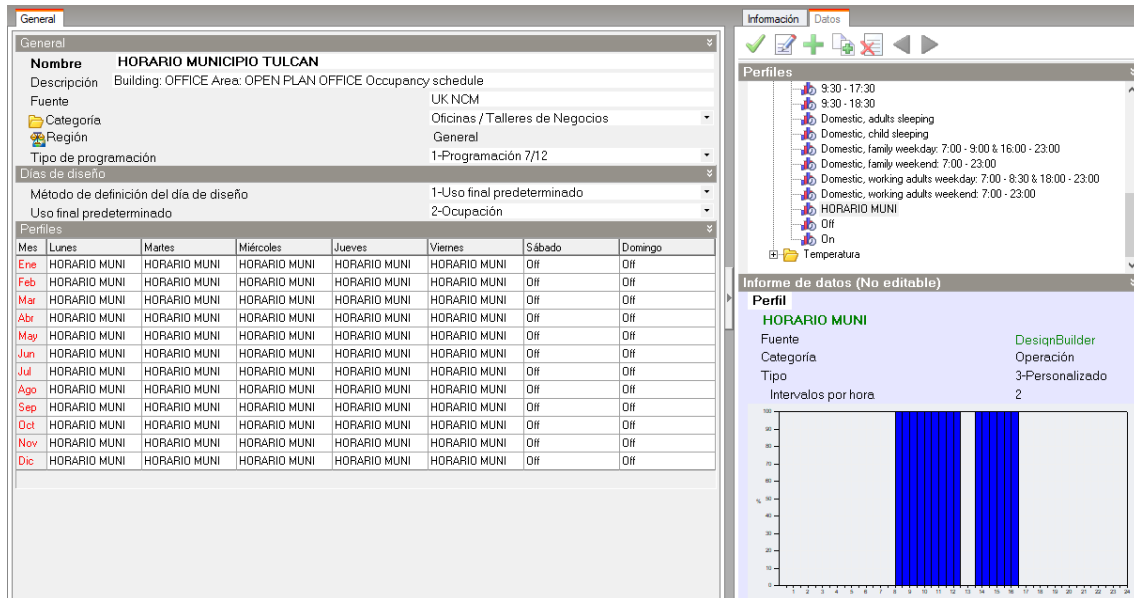


Gráfico 14. Plantilla de Horario para modelación del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

Para los valores a ser ingresados en la variable Cerramientos, se crearon plantillas propias en base a los materiales reales de la edificación del caso de estudio; para el caso de las paredes se ingresaron materiales que conforman las paredes de la edificación y que se muestran en el Gráfico 15. De igual manera los materiales que forman parte del entrepiso se indican en el Gráfico 16. Adicional se ha considerado una renovación de aire dentro de los espacios de 0.700 renov/h.

Capas	
Número de capas	5
Capa más externa	
Material	PINTURA BLANCA
Espesor (m)	0,0010
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 2	
Material	Cement/plaster/mortar - cement screed
Espesor (m)	0,0100
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 3	
Material	Concrete Block (Medium)
Espesor (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 4	
Material	Cement/plaster/mortar - cement screed
Espesor (m)	0,0100
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	PINTURA BLANCA
Espesor (m)	0,0010
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	

Gráfico 15. Materiales que forman las paredes del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

Capas	
Número de capas	4
Capa más externa	
Material	PINTURA BLANCA
Espesor (m)	0,0010
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 2	
Material	Concrete, Reinforced (with 2% steel)
Espesor (m)	0,2000
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 3	
Material	Cement/plaster/mortar - cement mortar
Espesor (m)	0,0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	Wood, 13 mm, 1in (HF-B7)
Espesor (m)	0,0130
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	

Gráfico 16. Materiales ocupados para entresijos del edificio de caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

En relación a la variable Aberturas para la modelación, se ha seleccionado un vidrio claro de 6mm de espesor (Ver Gráfico 17), tal como es la configuración real en la ventanería del edificio de caso de estudio. La plantilla de iluminación ocupada para esta modelación tiene como horario establecido el mismo que en todas las programaciones, las características del tipo de iluminación ocupada se muestra en el Gráfico 18. La variable HVAC, se muestran en el Gráfico 19, con una plantilla basada en ventilación natural y

con el horario establecido para la modelación, adicional el valor para la renovación del aire es de 0.700 renov/h.

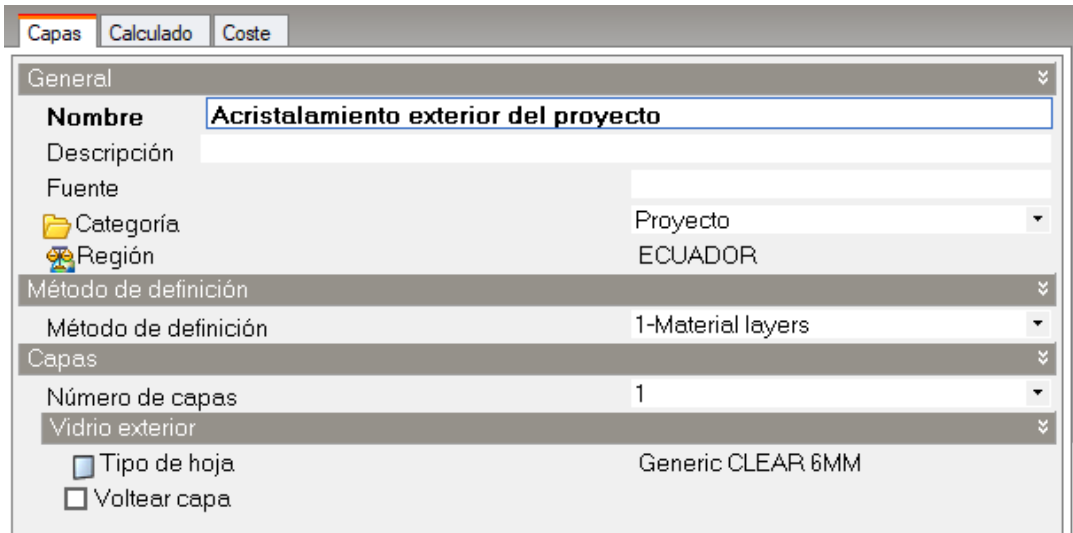


Gráfico 17. Tipo de acristalamiento ocupado para modelación del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017



Gráfico 18. Tipo de iluminación empleada para la modelación del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017



Gráfico 19. Sistema HVAC para modelación del caso de estudio

Fuente: Elaboración propia con DesingBuilder, 2017

La modelación del edificio se lo realizo en base a planos proporcionados por el Ilustre Municipio de Tulcán, para lo cual al modelo elaborado se lo ha simplificado en relación al nivel de detalle, es decir eliminando objetos arquitectónicos como paredes, puertas, divisiones, perfiles, mobiliario, piezas sanitarias, que al momento de su eliminación no están directamente relacionados con los espacios a ser analizados, dicha eliminación de elementos no tiene consecuencias en los resultados que se obtienen en la modelación, sino más bien dicha simplificación ayuda en el momento de realizar los procesos de los cálculos requeridos por el programa empleado. El modelo simplificado del edificio del caso de estudio se muestra en el Gráfico 20.

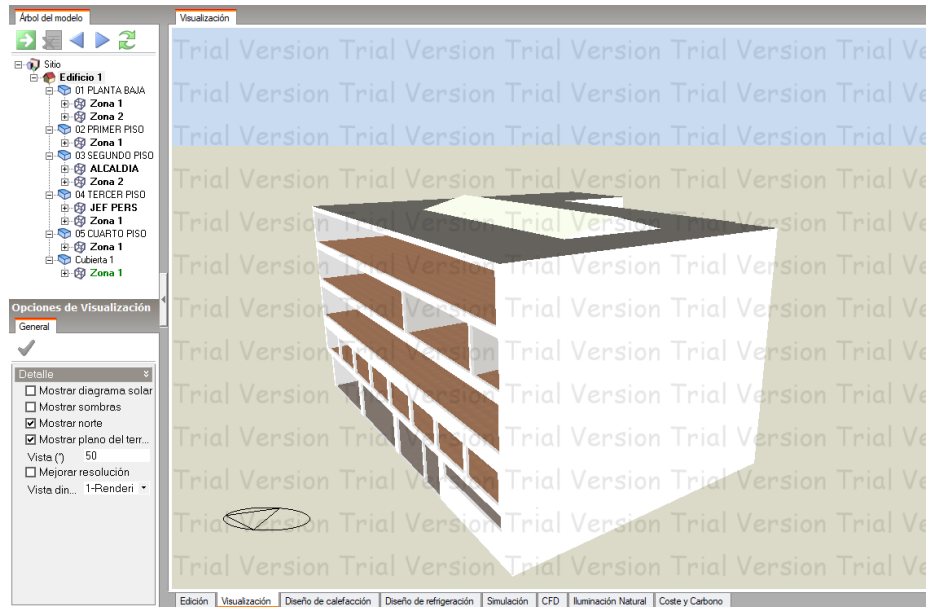


Gráfico 20. Modelo simplificado del edificio de caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

Para la obtención de los resultados de las modelaciones dentro de los espacios seleccionados de estudio, se consideró como tiempo de modelación, el mismo periodo de tiempo que fueron instalados los Loggers de Temperatura y Humedad dentro de los espacios seleccionados que comprende desde el 5 de junio al 11 de julio; con estos datos se pretende corroborar o ver diferencias entre los resultados de la modelación versus los datos de los equipos instalados en sitio. Los resultados obtenidos de temperatura del aire en la Jefatura de Personal por medio de la modelación, han sido comparados con los datos obtenidos mediante los Loggers de Temperatura y Humedad, durante el período de tiempo antes indicado; a la vez los resultados obtenidos mediante estos dos procesos han sido ubicados dentro del rango indicado por el Real Decreto 486/1997 (entre 17°C y 27°C), los resultados se indican en la Figura 31. Con esta comparación de resultados se corrobora los niveles de temperatura al cual están expuestos los ocupantes de la dependencia analizada y se determina que se encuentran por dentro de los niveles requeridos, con ciertos picos eventuales ya sean en crecimiento o decrecimiento de temperatura mismos picos que se los atribuye a días mucho más calurosos para el primer caso o días mucho más fríos para el segundo caso. A la vez se realiza un promedio de las temperaturas del aire obtenidas tanto en las mediciones por medio de los Loggers y los resultados de la modelación, existe una diferencia de 1,69°C correspondiendo al 1,08% de error porcentual

determinando con este porcentaje la variación que existe en la realidad versus la modelación.

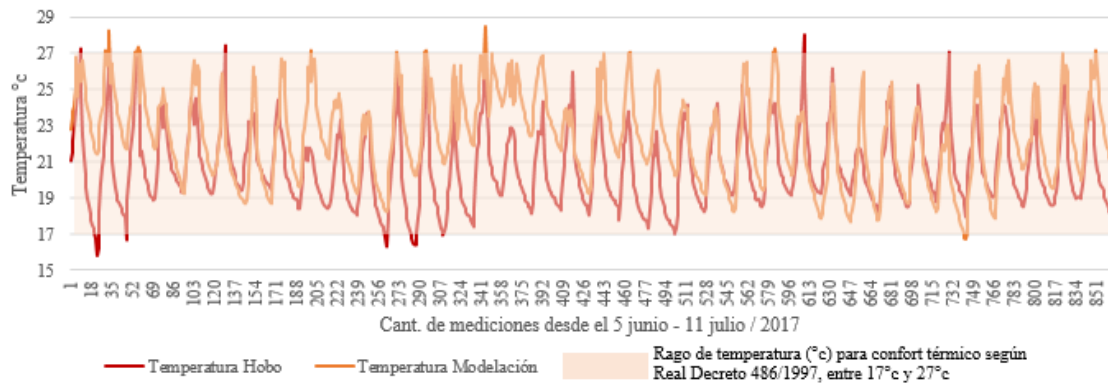


Figura 31. Correlación de datos para temperatura del aire en Jefatura de Personal

Fuente: Elaboración propia, 2017

De igual manera en la Figura 32, se muestran los resultados obtenidos de la modelación del espacio analizado, en relación al parámetro de confort; en dicha figura se muestran los datos referentes a: temperatura del aire, temperatura radiante, temperatura operativa, humedad relativa y PMV, con valores promedios diarios para cada parámetro analizado. De estos datos obtenidos de la modelación se observa que están por dentro del rango establecido a la norma a la cual se hace referencia.

En relación al parámetro del PMV, los valores obtenidos por la modelación se correlacionan con los obtenidos en el apartado de la Determinación de PMV y PPD de los espacios seleccionados de estudio, propia de esta investigación, con resultados en los dos casos, con valores que tienden a sensaciones de frío; con un valor de -0.39 con el uso del Software Psycho Tool, y con un promedio de -0.17 por medio de la modelación. Definiendo que en los dos tipos de análisis se determina de igual manera valores en negativo dentro de la escala térmica, es decir en los dos casos existe una tendencia del PMV a direccionarse a condiciones de frío.

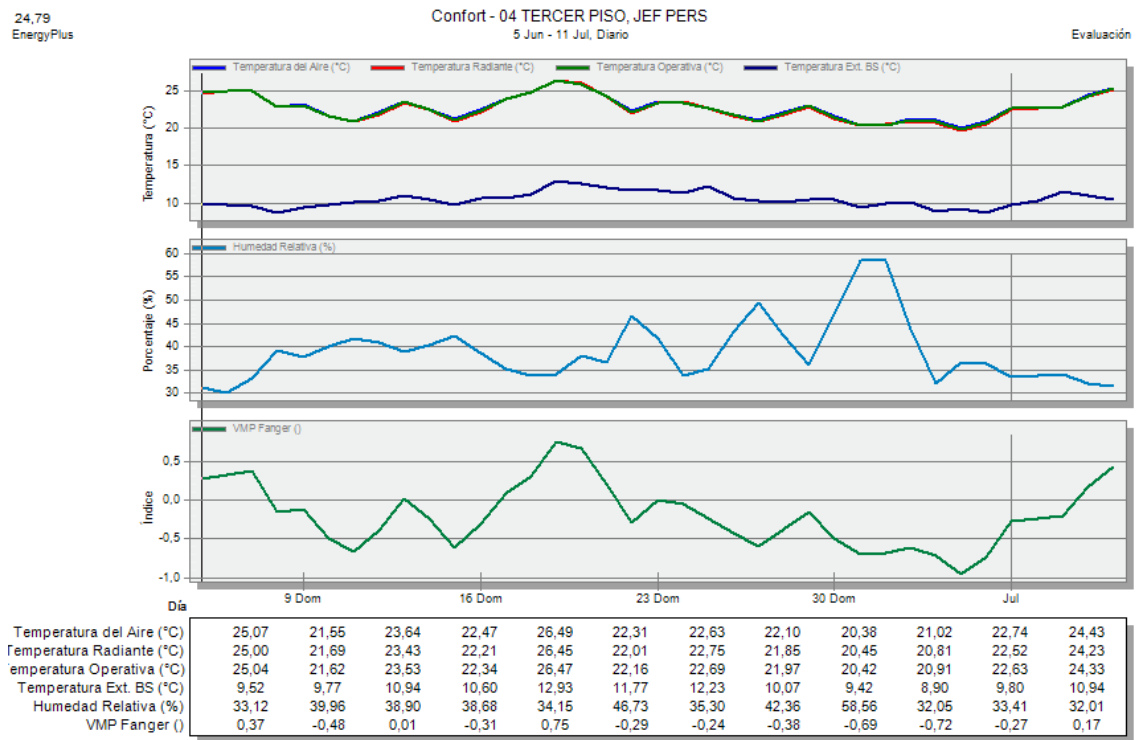


Figura 32. Resultados de modelación en Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

En el caso de la dependencia de la Alcaldía se ha realizado la misma comparación de datos expuesta en la otra dependencia y durante el mismo periodo de tiempo indicado, los datos que se obtienen mediante los dos procesos de investigación son expuestos en la Figura 33; que al igual que en la otra dependencia analizada, los valores obtenidos en relación a la temperatura del aire, se encuentran dentro del rango indicado por el Real Decreto 486/1997. Para esta dependencia existen picos que a diferencia de la Jefatura de Personal tienden a temperaturas más frías atribuyendo este fenómeno a la ubicación de la dependencia de la Alcaldía dentro de la edificación y por ende al tipo de asoleamiento que recibe para lograr tener ganancias o pérdidas térmicas para este espacio analizado. Al igual que en la otra dependencia se calculó la diferencia de los promedios de temperatura del aire medida mediante los Loggers y los datos obtenidos en la modelación y la diferencia es de 3.32°C correspondiendo al 1,18% de error porcentual, determinando la variación que existe entre los dos tipos de mediciones.

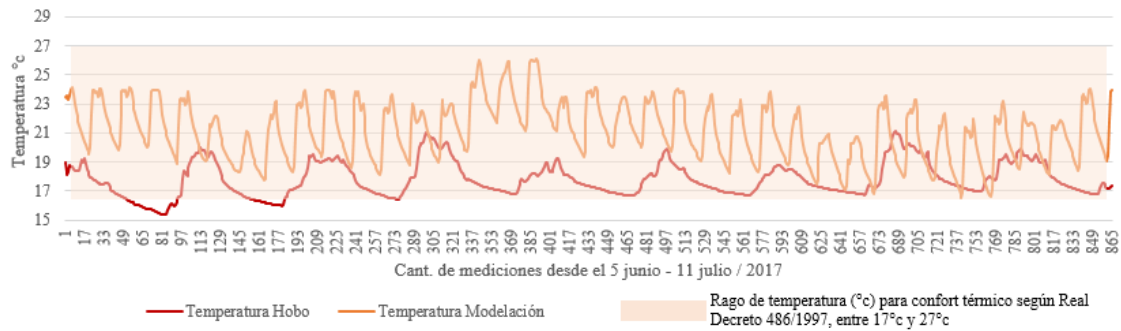


Figura 33. Correlación de datos para temperatura del aire en Alcaldía

Fuente: Elaboración propia, 2017

De acuerdo a la gran variación que se obtiene entre los resultados de los datos de temperatura del aire obtenidos por medio de los Loggers en relación a los obtenidos por medio de la modelación, esta diferencia que existe de  $3,32^{\circ}\text{C}$  en los promedios obtenidos, se la atribuye nuevamente a la ubicación de esta dependencia dentro de la edificación y al asoleamiento presente únicamente durante las horas de la mañana, respondiendo a la pregunta generada en la hipótesis de esta investigación de *¿Cuál es el nivel de confort térmico que puede presentar un espacio de oficina en un clima frío como el de la ciudad de Tulcán?*; para la cual los datos obtenidos por mediciones mediante los Loggers son más acertados que los obtenidos por modelación ya que son datos reales en un tiempo real y demuestran una tendencia más a sentir frío que calor tal como se lo ha representado en la Figura 33.

De igual forma se realizó el análisis por medio de la modelación, en relación a los niveles de confort que se presentan en la Alcaldía, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 34, en donde se puede ver que dichos resultados se encuentran por dentro de los parámetros requeridos en base a la norma antes mencionada.

Los valores de PMV para esta dependencia han sido corroborados al igual que en la dependencia de la Jefatura de personal, dando como resultado valores promedio, de acuerdo a la modelación, de  $-0.60$ ; y valores de  $-0.71$  por medio de la herramienta Psycho

Tool; definiendo que los valores obtenidos mediante los dos procesos se direccionan a tener sensaciones de frío.

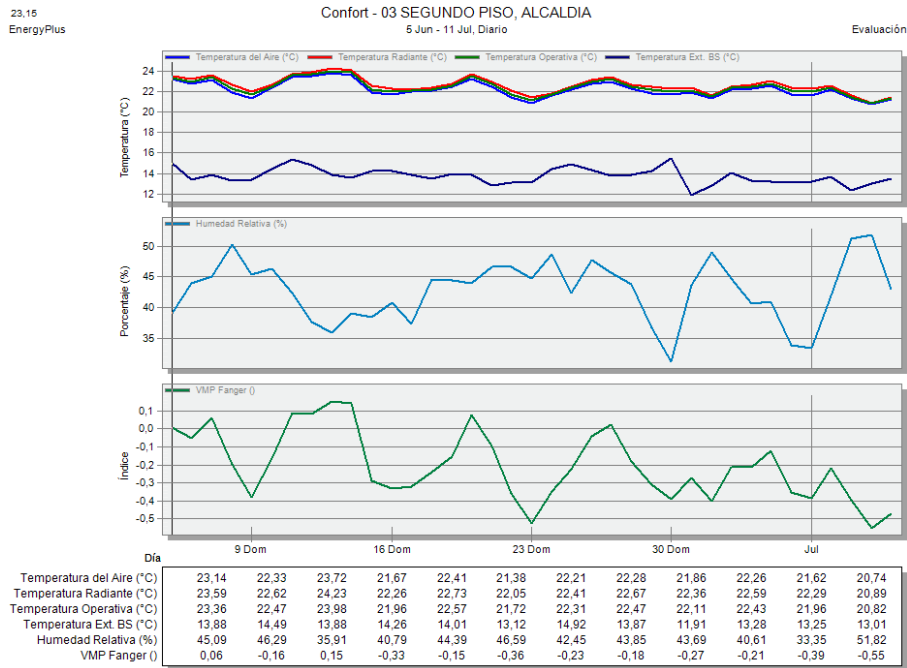


Figura 34. Resultados de modelación en Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

La amplitud térmica que se presenta en las dos dependencias con los datos obtenidos mediante la modelación, correlacionan a los datos obtenidos en sitio que han sido indicados en los resultados de las mediciones con Loggers en donde la amplitud térmica que se registra en la dependencia de la Jefatura de Personal es mayor a la registrada en la dependencia de la Alcaldía, los resultados se exponen en la Figura 35. De igual forma se atribuye a esta diferencia de amplitud térmica entre las dos dependencias por la ubicación que tienen cada una dentro de la edificación y al tipo de asoleamiento que reciben cada una; en donde la dependencia de la Alcaldía recibe el asoleamiento de manera directa durante las horas de la mañana, la dependencia de la Jefatura de Personal recibe el asoleamiento durante las horas de la tarde, esta última tiene mayor oportunidad de almacenar mayores ganancias térmicas acumuladas durante todo el día a diferencia que la Alcaldía únicamente acumula ganancias térmicas en horas de la mañana.

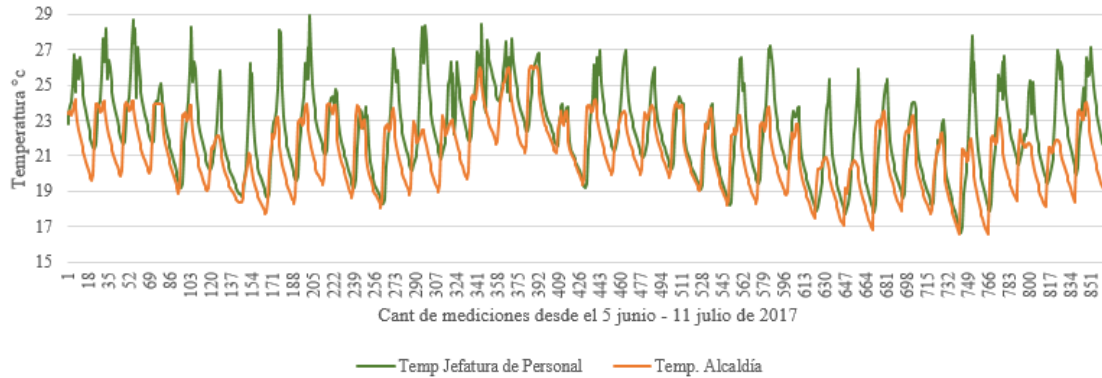


Figura 35. Registro de amplitud térmica por medio de la modelación para las dos dependencias analizadas

Fuente: Elaboración propia, 2017

De acuerdo a los resultados obtenidos en sitio y haciendo una comparación con los resultados de la modelación, se observa una diferencia marcada en cuanto al confort térmico, mientras en la modelación los niveles resultantes están por encima de los 20°C, en los datos obtenidos en sitio los resultados no sobrepasan los 22°C, con un error porcentual del 1,10%.

Con estas diferencias de temperatura registradas, en las dos dependencias analizadas, entre los datos registrados por medio de los Loggers y mediante la modelación se demuestra que los resultados obtenidos por modelación nos dan una idea clara de la tendencia de temperatura que se presenta en las dependencias y nunca va a reemplazar a los datos obtenidos por mediciones en sitio por medio de Loggers, ya que los archivos climáticos usados para las modelaciones utilizan datos de temperatura que no son exactos del sitio analizado sino más bien que indican las tendencias de temperatura que se manejan en el lugar, como es el caso de esta investigación en donde los datos utilizados para crear los archivos climáticos fueron basados en datos obtenidos de la NASA Surface Meteorology and Solar Energy (NASA, 2016), en los cuales se indicaron las tendencias que se registran en el sector de análisis. No por esto se descartan dichos datos obtenidos por modelaciones, sino más bien corroboran a los datos obtenidos por mediciones en sitio por medio de la tendencia marcada.

También dentro de las modelaciones se realizó un análisis de los niveles de confort térmico durante el tiempo que se realizaron las encuestas a los usuarios dando como resultado lo expuesto en la Figura 36 para la Jefatura de Personal y en la Figura 37 para la Alcaldía.

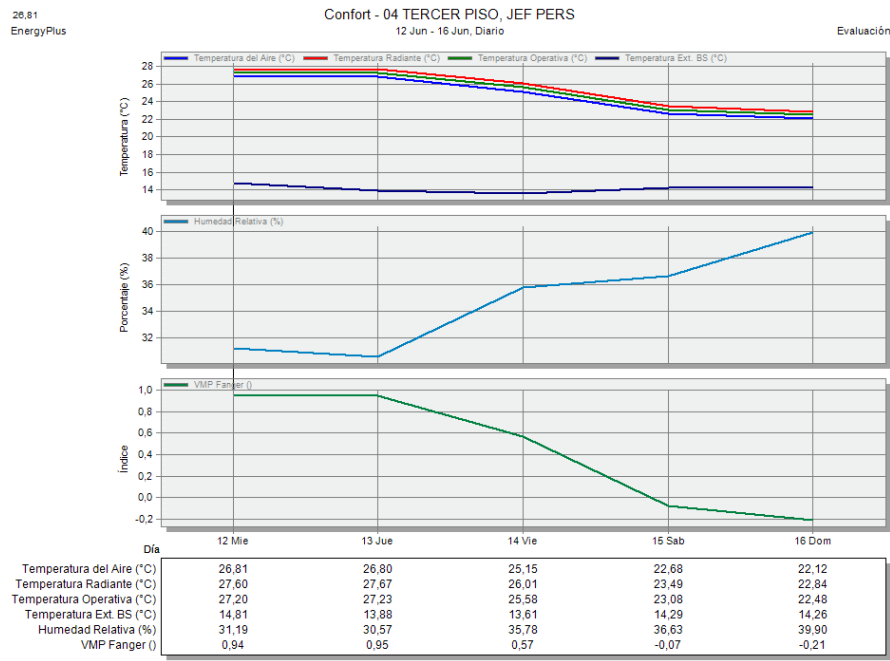


Figura 36. Resultados de modelación durante encuesta para Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

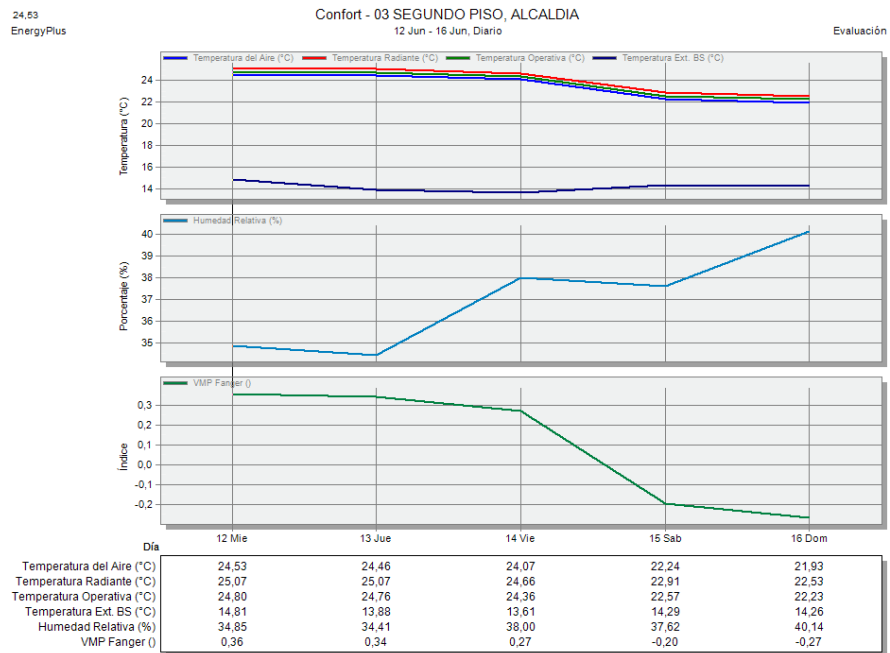


Figura 37. Resultados de modelación durante encuesta para Alcaldía.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

A pesar que no es parte de esta investigación, dentro de los resultados de las modelaciones también se calculó la iluminación natural dentro de los espacios seleccionados de estudio, dando como resultado un deslumbramiento para sus ocupantes y que se puede observar en la Figura 38 para la Jefatura de Personal y en la Figura 39 para la Alcaldía. Tomando en cuenta que los niveles adecuados para trabajos en oficinas de acuerdo a la Norma INEN 1984 es de 300 lux, y los registrados en las dependencias superan dicho nivel, por lo tanto se plantea como futura investigación y complemento de esta investigación, la determinación del factor de iluminancia dentro de las dependencias estudiadas y cuáles serían las estrategias: mecánicas o manuales, fijas o móviles; a ser implementadas para la corrección del deslumbramiento presente, sin afectar los niveles de confort térmico, que son actualmente adecuados, al cual están expuestos los ocupantes.

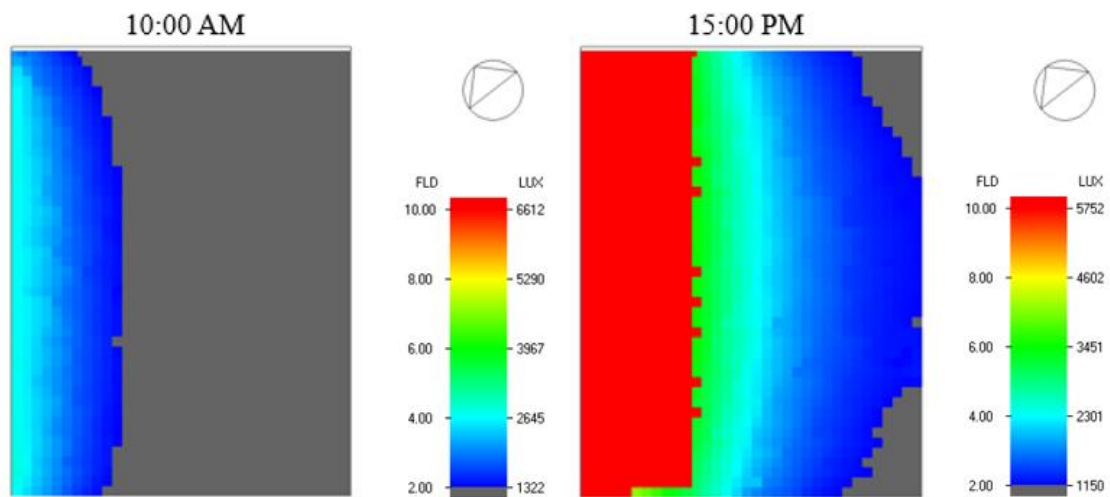


Figura 38. Iluminancia en Jefatura de Personal.

Fuente: Elaboración propia con DesignBuilder, 2017

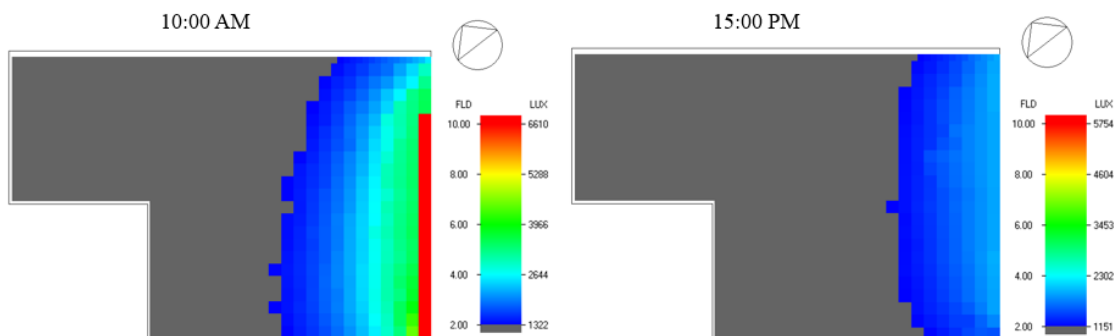


Figura 39. Iluminancia en Alcaldía.

Fuente: elaboración propia con DesignBuilder, 2017

Es así que los resultados promedios obtenidos durante la jornada laboral, en lo referente a temperatura del aire; registrados ya sea por los Loggers de Temperatura y Humedad instalados en sitio, por mediciones al momento de la encuesta y por la modelación se muestran en la Tabla 16; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde se observa la corroboración de datos obtenidos por medio de los tres procesos empleados, además que los resultados se encuentran por dentro de los parámetros para temperatura del aire de 17°C a 27°C según el Real Decreto 486/1997

	LOGGER DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	ENCUESTAS	MODELACION	ERROR PORCENTUAL
Jefatura de Personal	22.12°C	20.09°C	22.38°C	1,08%
Alcaldía	18.50°C	17.46°C	20.13°C	1,18%

Tabla 16. Corroboración de resultados obtenidos de los espacios analizados

Fuente: Elaboración propia, 2017

## 6. Conclusiones

La revisión de las investigaciones enfocadas a determinar el confort térmico en interiores y que son parte del Estado del Arte de esta investigación, permitieron determinar e identificar los principios fundamentales para el desarrollo de esta investigación, adoptados principalmente en la metodología aplicada, normativas internacionales a las cuales se hace referencia y procesos de medición de las variables ambientales para definir el nivel de confort térmico analizado.

La revisión de la normativa local, resulto ser limitada o casi nula en la definición o determinación de los rangos aceptables de temperatura del aire dentro de un espacio; es por tal razón que con la revisión de las normativas internacionales referidas, se seleccionó el Real Decreto 486/1997, el mismo que presenta un rango de amplitud térmica aceptable que va desde los 17°C hasta los 27°C, que es mayor que las otras normas mencionadas, y que para el caso de estudio de esta investigación que se sitúa en un clima frío, resulta ser más beneficioso que las otras normas al ubicar los resultados obtenidos dentro de dicha amplitud térmica.

La metodología aplicada en esta investigación permitió determinar que los ocupantes de los espacios analizados están por dentro de rangos de confort térmico, resultados que se oponen a lo esperado en la hipótesis de esta investigación, en la cual se asumía que por encontrarse el estudio en un clima frío los resultados estarían por fuera de los rangos aceptables de confort.

La aplicación del método adaptativo en esta investigación, resulta ser útil al momento de incorporar los criterios de los ocupantes por medio de las encuestas realizadas; ya que para esta investigación realizada en un clima frío, la tolerancia térmica que desarrollan los individuos es mayor a la que se puede desarrollar en un clima más templado; adicional esta tolerancia se puede ampliar aún más en un medio construido en donde se carece de mecanismos de control ambiental, tal como se analizó en el caso de estudio.

Los resultados obtenidos por medio de las tomas de control, por medio de las encuestas, determinación de PMV y PPD de los espacios seleccionados; y resultados por medio de modelaciones de los espacios; se corroboran entre sí en sus resultados, concluyendo que los espacios seleccionados de estudio presentan niveles de confort térmico adecuados para sus ocupantes y por ende una correcta calidad ambiental interior, lo cual no genera una baja en la productividad laboral de sus ocupantes.

Los adecuados niveles de confort térmico dentro de los espacios analizados se debe: a la correcta orientación del edificio en relación al norte que gracias a su giro de 52° hacia el este, permite que sus fachadas más largas tengan un asoleamiento favorable para la ganancia térmica interna durante las horas laborables, además que dichas fachadas poseen acristalamiento en casi toda su totalidad favoreciendo al asoleamiento. Otro factor fundamental que aporta para la ganancia térmica interna de los espacios analizados, es la carencia de edificaciones aledañas que puedan generar sombras directas a la edificación e impedir el correcto asoleamiento que se hace presente en la misma, y al ser ya un sector de la ciudad consolidado esta característica se mantendrá por los siguientes años.

Con la determinación de los correctos niveles de confort térmico analizados, se propone a la edificación como un posible referente a nivel local y nacional, para otros proyectos en fase de diseño que se ubiquen en climas con similares características, para que sea tomado en cuenta la forma de orientación de la edificación para lograr las correctas ganancias térmicas internas y el uso de grandes acristalamientos en las fachadas que se encuentran orientadas al asoleamiento directo.

Al aporte que se propone con esta investigación es la metodología usada para determinar los niveles de confort térmico al cual están expuestos sus ocupantes, dicha metodología puede ser ocupada para diagnósticos de edificaciones construidas y también en aquellas en fase de diseño; los resultados que se obtengan de futuras investigaciones servirán para mejorar la calidad ambiental interior de edificaciones con similares características. Así como una comparación entre herramientas de modelización comparadas con datos reales

que pueden dar indicios de tendencia, aunque deben ser usados con precaución pues no son mediciones exhaustivas.

A pesar que no es parte de esta investigación, y por lo datos presentados en las modelaciones sobre los niveles de iluminancia, estos están por fuera de los parámetros establecidos, se sugiere como futuros trabajos de investigación para complemento de análisis de este edificio, desarrollar, estrategias para el control adecuado de la iluminancia presente en los espacios analizados garantizando que dichas estrategias no alteren los adecuados niveles de confort térmico presente en los espacios.

## 7. Bibliografía

- Alberich, M. (2003). Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura. *Universidad Autonoma de Chiapas*, 1, 40. Recuperado el 2017, de [http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS\\_BIOCLIMATICAS\\_EN\\_ARQUITECTURA.pdf](http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf)
- Alonso, G. A. (Julio de 2012). Problemas de Confort Térmico en Edificios de Oficinas. Caso Estudio: Torre Colpatria en la Ciudad de Bogotá.
- ASEPEYO. (2005). *Confort Térmico*. Obtenido de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Renovables/info complementaria/Confort Termico 2.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Renovables/info%20complementaria/Confort%20Termico%202.pdf)
- Baixas, J. (2014). Envoltentes: La piel de los edificios. *Arq*, 82, 98-101. doi:10.4067/S0717-69962012000300016
- Bojorquez Morales, G. (Junio de 2010). Universidad de Colima. *Confort Térmico en Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos, en clima cálido seco extremo*, 523. Coquimatlán, Colima, Mexico. Obtenido de [http://www.ucol.mx/interpretos/pdfs/909\\_inpret1009.pdf](http://www.ucol.mx/interpretos/pdfs/909_inpret1009.pdf)
- Boletín Oficial del Estado, (. (1997). Real Decreto 486/1997, Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. 97, 1-14. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Brager, G. S. (1998). Developing an Adaptative Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145-167.
- Camacho, M. L. (2009). Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo. 90.
- Castejón, E. (1983). NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación. *Notas Técnicas de Prevención*, 1-14. Recuperado el 2017, de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp\\_074.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_074.pdf)

- Climate-Data. (s.f.). *CLIMATE-DATA.ORG*. Recuperado el 19 de Enero de 2017, de <https://es.climate-data.org/location/2978/>
- Cortéz, O. (Mayo de 2013). Métodos de diseño ambiental. 1-23.
- Djongyang, N. T. (2010). Thermal Comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2626-2640. doi:10.1016/j.rser.2010.07.040
- Ergonomía, A. E. (2017). *www.ergonomos.es*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort. Analysis and applications in environmental engineering*.
- FLIR. (15 de 6 de 2017). *Flir Instruments*. Obtenido de <http://www.flir.es/instruments/display/?id=65813>
- Godoy Muñoz, A. (Junio de 2012). El confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación en España. 64.
- Hernandez Pezzi, C. (2007). *Un Vitrubio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. España: Gustavo Gili.
- IESS. (03 de Febrero de 1998). Decreto 2393. *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*, 1-92. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de [www.relacioneslaborable.com](http://www.relacioneslaborable.com)
- INEN-ISO-10551. (2014). Ergonomía del Ambiente Térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo (ISO 10551:1995, IDT). 5-25.
- INER. (2016). *Estrategias para mejorar las condiciones de Habitabilidad y el consumo de energía en viviendas*. Quito.
- ISO:7726, I.-S. (1998). Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. *Second edition*, 1-50.
- Jiménez, S. (2011). Confort Higrotermico, estandares y aplicación en el medio construido. Hygrothermal comfort, standards and applications in the built enviroment. 1-25.

- KESTREL. (14 de 6 de 2017). *Kestrel Instruments*. Obtenido de <http://www.nkhome.com/kestrel-products/kestrel-4400-heat-stress-tracker>
- Kuchen, E. F. (2009). Predicción del índice de disconformidad térmica en espacios de oficina considerando el diagnóstico de usuarios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 15-22.
- METAR. (21 de Abril de 2017). [www.weather.gladstonefamily.net/site/SETU](http://www.weather.gladstonefamily.net/site/SETU). Obtenido de <http://weather.gladstonefamily.net/site/SETU>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2000). El Fenómeno del Niño en Ecuador. 175-230. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 2017
- Mondelo, P. G. (1999). *Ergonomía 2 Confort y Estrés Térmico* (Tercera ed.). Barcelona: UPC. Obtenido de [http://www.cosaslibres.com/libro/ergonomia-confort-y-estres-termico\\_11207.html#](http://www.cosaslibres.com/libro/ergonomia-confort-y-estres-termico_11207.html#)
- NASA. (12 de Abril de 2016). *POWER Surface meteorology and Solar Energy (SSE)*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de <https://asdc-arcgis.larc.nasa.gov/sse/>
- Olgyay, V. (2010). *Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas* (1era ed.). Barcelona: G.G.
- ONSET. (16 de 06 de 2017). *ONSET*. Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ux100-003>
- Prieto, A. (2012). La Apertura del Espacio de Trabajo. *ARQ (Santiago)*, 108-111. doi:10.4067/S0717-69962012000300018
- Refrigerating and Air-conditioning Engineers, I. A. (January de 2004). 250406990-ANSI-ASHRAE-Standard - 55-2004- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta.
- Ruiz Ruiz, L. &. (2010). *Calidad del Ambiente Interior*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo, España. Obtenido de [http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Calidad del ambiente interior/CalidadambinteriorDTECAI.pdf](http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Calidad%20del%20ambiente%20interior/CalidadambinteriorDTECAI.pdf)

Standarization, I. O. (2006). UNE-EN ISO 7730: Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. AENOR.

## 8. Anexo A

### REAL DECRETO 486/1997

#### ANEXO III

##### Condiciones ambientales de los lugares de trabajo

1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.

2. Asimismo, y en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores. A tal efecto, deberán evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados.

3. En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:

a) La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.

b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100.

c) Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:

1. Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.

2. Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.

3. Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.”

10. Anexo B

Tablas datos climatológicos.

DATOS INTERANUALES DE TEMPERATURA DESDE 1983 - 2005																	
Lat	Lon	Parameter	Units	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1983	20,1	22,1	20,5	21	20,1	20	19,3	18,7	20	20	20,6	19,3	20,1
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1984	19,9	18,2	20,5	21	20,1	18	18,1	18,2	19,5	21	19,3	19,2	19,4
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1985	19,4	18,9	18,3	18	18,1	16	17,6	19,1	20,1	21	18,8	18,6	18,7
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1986	17,7	18,3	17,7	18	18,1	17	17,3	19	20,4	21	19,6	18,2	18,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1987	17,6	17,9	19,1	19	18,7	18	18,7	18,7	19	20,6	21	18,6	18,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1988	17,8	18	18	19	17,6	18	17,8	20,1	20,1	20	19,1	17,8	18,6
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1989	17,8	17,4	18,4	18	17,3	18	18	19,3	20,8	19	19,5	18,7	18,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1990	18,1	18,7	18,3	19	18,7	18	18,4	19	20,2	22	20,6	18,1	19,1
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1991	17,9	18,2	18,9	18	18,6	17	17,5	17,7	19,5	20	19,1	18,4	18,4
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1992	18,1	18,7	18,2	18	17,9	17	16,7	18,1	19,5	20	19	18	18,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1993	18,2	18,2	17,9	18	18,2	17	17,3	18,2	20,1	19	18,4	17,8	18,2
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1994	17,6	17,3	17,6	17	17,5	17	17,8	19,6	20,3	20	19,1	18,2	18,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1995	17,9	18,8	18,5	17	17,6	19	18,7	19,8	19,6	20	18,3	18	18,6
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1996	17,4	16,9	18,1	17	17,8	17	17,3	18,6	19,8	20	18,6	17,1	18
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1997	17,9	17	18,1	18	16,9	18	18,5	19,3	21,4	21	18,7	18,3	18,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1998	18,6	19,1	19,3	19	17,6	17	17,7	19,6	19,9	19	18,4	17,9	18,6
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1999	17,7	17,7	17,9	17	17,1	17	16	17,7	17,8	17	17,6	17,2	17,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2000	17,5	17,8	17,8	18	17,2	17	16,4	17	17,9	18	17,9	18	17,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2001	17,8	17,9	18	18	18	16	16,8	18,2	18,2	19	18,4	18,2	17,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2002	18,1	18,5	18,3	18	17,8	17	16,6	17,3	18,3	19	17,9	18,5	17,9
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2003	18,3	18,1	18,1	18	17,6	18	16,4	17,4	18,4	18	18,6	18,2	17,9
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2004	18	18,3	18,6	18	17,5	16	16,9	17	17,6	19	18,3	18,3	17,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2005	18,5	18	18,4	18	18,1	17	16,1	17,1	18,2	18	17,6	17,5	17,7
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1983 - 2005	18,2	18,3	18,5	18	18	17	17,5	18,5	19,5	20	18,8	18,1	18,4
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	Min Dif	-0,8	-1,4	-0,8	-1,1	-1,2	-1,6	-1,5	-1,5	-1,9	-2,2	-1,2	-1,1	-1,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	Max Dif	1,9	3,85	2,03	2,6	2,1	2,4	1,85	1,62	1,9	2,5	1,85	1,17	2,15

Tabla 17 Datos interanuales de temperatura entre 1983-2005.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos de NASA Surface Meteorology and Solar Energy

DATOS INTERANUALES DE HUMEDAD RELATIVA DESDE 1983 - 2005																	
Lat	Lon	Parameter	Units	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1983	62,9	51,1	73,7	68	64	47	44,1	46,2	43,1	46	49,3	61,2	54,7
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1984	57,1	66,7	57,4	53	48,7	61	52,3	51,4	49	48	64,5	66,7	56,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1985	63,8	65	85,5	83	71,1	70	54,9	49	43,1	48	69,4	72,6	64,6
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1986	79,8	78,9	84,3	86	77,6	76	58,6	52,8	45,2	54	61,2	76,3	69,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1987	81,1	77,8	70,6	68	63,8	60	54,2	46,4	44,7	58	79,3	81,6	65,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1988	84	90,5	80,2	75	76,5	57	50,1	40,7	54,8	61	75,8	86	69,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1989	84,1	89,2	79,8	80	74,3	65	46,5	48,8	43,7	61	68,5	81,1	68,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1990	83	84	84,3	79	65	62	47,3	45,1	42,2	45	58,2	87,8	65,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1991	87,9	86,7	81,5	79	74,6	81	56,1	52,8	51,2	53	69,7	83,8	71,4
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1992	82,1	80	86,5	89	74,7	73	58,8	52,4	52,2	51	74,1	83,8	71,4
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1993	77	79,8	76	84	70,4	71	63,2	52,8	48,1	64	79,3	89,4	71,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1994	90,3	88,6	81,6	85	78,6	77	60,4	45,6	54,1	60	73	88,4	73,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1995	86	77,3	84,2	88	75,2	62	55,6	43,9	52,9	56	84,4	86,7	71
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1996	88,9	89,9	86,9	85	74,9	66	51,1	52	46,4	62	74,1	91,4	72,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1997	90,1	91,7	88,4	85	85,9	71	56,3	52	47,4	63	82,7	87	75
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1998	88,4	87,8	83,3	89	86,4	83	70,9	57,8	64,2	85	88,2	88,3	81,1
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1999	89,9	91,5	88	90	88,1	87	84,7	62,5	81,4	85	86,5	88,9	85,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2000	86,6	87,3	89,1	90	89,9	89	88,2	84,5	81,6	77	81,7	86,7	85,9
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2001	87,2	87,1	87,2	88	87,3	88	84,8	67,9	82,2	80	86,4	91,4	84,8
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2002	88,3	89,6	88,1	90	89	89	88,7	78,7	75,2	77	88,7	90,2	86,1
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2003	88,2	89,3	88,7	90	88,7	86	87,4	82	76	87	87,3	88,5	86,6
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2004	89,4	89,6	89,3	90	89,5	90	88,3	81,9	82	84	89,2	90,2	87,7
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	2005	89,9	92	89,7	91	89,9	91	89,9	81,6	72,5	86	88,5	90,9	87,8
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	1983 - 2005	82,9	83,1	82,8	83	77,6	74	64,9	57,8	58	65	76,5	84,3	74,1
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	Min Dif	-26	-32	-25	-30	-29	-27	-21	-17	-16	-20	-27	-23	-24
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 M	(%)	Max Dif	7,47	8,93	6,91	8,6	12,4	17	25	26,7	24,2	22	12,7	7,12	14,9

Tabla 18 Datos interanuales de Humedad Relativa entre 1983-2005.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos de NASA Surface Meteorology and Solar Energy

DATOS INTERANUALES DE TEMPERATURA DESDE 1983 - 2005																	
Lat	Lon	Parameter	Units	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1984	19,9	18,2	20,5	21	20,1	18	18,1	18,2	19,5	21	19,3	19,2	19,4
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1985	19,4	18,9	18,3	18	18,1	16	17,6	19,1	20,1	21	18,8	18,6	18,7
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1986	17,7	18,3	17,7	18	18,1	17	17,3	19	20,4	21	19,6	18,2	18,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1987	17,6	17,9	19,1	19	18,7	18	18,7	19	20,6	21	18,6	18	18,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1988	17,8	18	18	19	17,6	18	17,8	20,1	20,1	20	19,1	17,8	18,6
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1989	17,8	17,4	18,4	18	17,3	18	18	19,3	20,8	19	19,5	18,7	18,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1990	18,1	18,7	18,3	19	18,7	18	18,4	19	20,2	22	20,6	18,1	19,1
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1991	17,9	18,2	18,9	18	18,6	17	17,5	17,7	19,5	20	19,1	18,4	18,4
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1993	18,2	18,2	17,9	18	18,2	17	17,3	18,2	20,1	19	18,4	17,8	18,2
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1994	17,6	17,3	17,6	17	17,5	17	17,8	19,6	20,3	20	19,1	18,2	18,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1995	17,9	18,8	18,5	17	17,6	19	18,7	19,8	19,6	20	18,3	18	18,6
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1996	17,4	16,9	18,1	17	17,8	17	17,3	18,6	19,8	20	18,6	17,1	18
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	1999	17,7	17,7	17,9	17	17,1	17	16	17,7	17,8	17	17,6	17,2	17,3
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2000	17,5	17,8	17,8	18	17,2	17	16,4	17	17,9	18	17,9	18	17,5
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2001	17,8	17,9	18	18	18	16	16,8	18,2	18,2	19	18,4	18,2	17,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2003	18,3	18,1	18,1	18	17,6	18	16,4	17,4	18,4	18	18,6	18,2	17,9
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2004	18	18,3	18,6	18	17,5	16	16,9	17	17,6	19	18,3	18,3	17,8
0,81146	-77,7171	Temperature at 10 Meters	(°C)	2005	18,5	18	18,4	18	18,1	17	16,1	17,1	18,2	18	17,6	17,5	17,7

Tabla 19 Datos interanuales de temperatura descartada Fenómeno del Niño.

Fuente: Elaboración propia





DATOS INTERANUALES DE HUMEDAD RELATIVA DESDE 1983 - 2005																	
Lat	Lon	Parameter	Units	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1984	57,1	66,7	57,4	53	48,7	61	52,3	51,4	49	48	64,5	66,7	56,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1985	63,8	65	85,5	83	71,1	70	54,9	49	43,1	48	69,4	72,6	64,6
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1986	79,8	78,9	84,3	86	77,6	76	58,6	52,8	45,2	54	61,2	76,3	69,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1987	81,1	77,8	70,6	68	63,8	60	54,2	46,4	44,7	58	79,3	81,6	65,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1988	84	90,5	80,2	75	76,5	57	50,1	40,7	54,8	61	75,8	86	69,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1989	84,1	89,2	79,8	80	74,3	65	46,5	48,8	43,7	61	68,5	81,1	68,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1990	83	84	84,3	79	65	62	47,3	45,1	42,2	45	58,2	87,8	65,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1991	87,9	86,7	81,5	79	74,6	81	56,1	52,8	51,2	53	69,7	83,8	71,4
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1993	77	79,8	76	84	70,4	71	63,2	52,8	48,1	64	79,3	89,4	71,2
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1994	90,3	88,6	81,6	85	78,6	77	60,4	45,6	54,1	60	73	88,4	73,5
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1995	86	77,3	84,2	88	75,2	62	55,6	43,9	52,9	56	84,4	86,7	71
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1996	88,9	89,9	86,9	85	74,9	66	51,1	52	46,4	62	74,1	91,4	72,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	1999	89,9	91,5	88	90	88,1	87	84,7	62,5	81,4	85	86,5	88,9	85,3
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	2000	86,6	87,3	89,1	90	89,9	89	88,2	84,5	81,6	77	81,7	86,7	85,9
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	2001	87,2	87,1	87,2	88	87,3	88	84,8	67,9	82,2	80	86,4	91,4	84,8
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	2003	88,2	89,3	88,7	90	88,7	86	87,4	82	76	87	87,3	88,5	86,6
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	2004	89,4	89,6	89,3	90	89,5	90	88,3	81,9	82	84	89,2	90,2	87,7
0,81146	-77,7171	Relative Humidity at 10 Meters	(%)	2005	89,9	92	89,7	91	89,9	91	89,9	81,6	72,5	86	88,5	90,9	87,8

Tabla 20 Datos interanuales de Humedad Relativa descartado Fenómeno del Niño.

Fuente Elaboración propia

### 11. Anexo C

#### Modelo de encuesta

DATOS GENERALES							
Folio:		Fecha:		Hora Inicio:		Hora Fin:	
Nombre del Encuestado:							
DATOS PERSONALES							
Sexo:	M	( )	Edad:		Peso:	kg	Temp. Corporal
	F	( )			Estatura:	m	°C
CARACTERISTICAS DE ESPACIO							
TIPO DE ESPACIO	( )	Cerrado (espacio definido por muros perimetrales, unicamente ventilado e iluminado por vanos)					
	( )	Semi Abierto (conectado con corredores, terrazas, balcones)					
	( )	Abierto (unicamente con cubierta sin muros al perimetro)					
TIPO DE EDIFICACION	( )	Tradicional					
	( )	Contemporaneo					
SISTEMA DE CONTROL CLIMATICO	( )	Calefacción					
	( )	Ventilador (techo, pedestal o pared)					
	( )	Aire acondicionado (techo o pared)					
	( )	Ninguno					
ACTIVIDAD DEL ENCUESTADO							
<b>Tiempo de permanencia en el espacio:</b>							
Menos de 1/2 hora: Se descarta la encuesta		( )	Mas de 1/2 hora: Se acepta la encuesta		( )		
<b>Ingesta de alimentos:</b>							
Menos de 1/2 hora: Se descarta la encuesta		( )	Mas de 1/2 hora: Se acepta la encuesta		( )		
<b>Nivel de actividad:</b>							
Sentado, leyendo o escribiendo	( )	1,0 met	Exponer de pie	( )	1,4 met		
Tipeando (computador)	( )	1,1met	Caminando alrededor	( )	1,7 met		
Exponer, sentado	( )	1,2 met	Levantando, embalando	( )	2,1 met		
TIPO DE VESTIMENTA DEL ENCUESTADO							
Ligera	( )	Normal	( )	Abrigada	( )	Muy Abrigada	( )
							

PERCEPCION DEL INDIVIDUO SOBRE EL AMBIENTE TERMICO							
<b>Sensacion térmica personal</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
¿Cómo se siente usted este momento?	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni calor, ni frío	Algo de calor	Calor	Mucho calor
	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco
	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
¿Cómo siente la ventilación en este momento?	Mucha ventilación	Mediana ventilación	Ligera ventilación	Ninguna ventilación			
	( )	( )	( )	( )			
¿Cómo se encuentra usted este momento?	Confortable	Ligeramente incófortable	Inconfortable	Muy incófortable	Extremadamente incófortable		
	( )	( )	( )	( )	( )		
¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación?	Preferiría mas ventilación	Sin cambio	Preferiría menos ventilación				
	( )	( )	( )				
¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?	Mucho mas fresco	Más fresco	Un poco mas fresco	Sin cambio	Con un poco mas de calor	Con mas calor	Mucho mas caluroso
	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
<b>Ambiente térmico</b>							
¿Cómo considera el ambiente en lo personal?	Generalmente aceptable	Generalmente inaceptable					
	( )	( )					
¿Qué tan tolerable le parecen las condiciones del ambiente en este momento?	Perfectamente tolerable	Tolerable	Ligeramente intolerable	Intolerable	Extremadamente intolerable		
	( )	( )	( )	( )	( )		
<b>RECOLECCION DE DATOS DE MONITOREO DEL AMBIENTE</b>							
Temperatura del aire (°c)	Temperatura media radiante (°c)		Humedad Relativa (%)		Velocidad del viento (m/s)		

Ilustración 5. Diseño de encuesta.

Fuente: Elaboración propia con base en ISO 10551:1995 y ASHRAE 55:2004

Protocolo para toma de muestras

DESCRIPCION	SIMBOLO	UNIDAD	INTERVALO DE MEDICION	EXACTITUD	LUGAR	TIEMPO DE RESPUESTA	FECHA	TOLERANCIA
TEMPERATURA DEL AIRE	$t_a$	°c	10°c a 40°c	Requerida: ±0,5 °c Deseable: ± 0,2°c	En el lugar donde la persona sabe que pasa la mayoría de tiempo de trabajo. (ASHRAE 55-2004)	Cada cinco minutos o menos durante al menos dos horas para establecer la naturaleza del ciclo de medición. (ASHRAE 55-2004)	10:00 a 12:00 y de 14:00 a 16:00	
VELOCIDAD DEL AIRE	$V_a$	m/s	0,05m/s a 1 m/s	Requerida: ± (0,5+0,05 V <sub>a</sub> )m/s Deseable: ± (0,02+0,07V <sub>a</sub> )m/s		A una altura del piso de 0,10, 0,60 y 1,10 mts para personas que realizan trabajos sentados. (ASHRAE 55-2004)		cada 3 minutos. (ASHRAE 55-2004)
HUMEDAD RELATIVA	$h_r$	%	10% al 90%	1%		Una sola vez, siempre que se pueda demostrar que no hay grandes variaciones en la medición. (ASHRAE 55-2004)		
TEMPERATURA MEDIA RADIANTE	$t_r$	°c	10°c a 40°c	Requerida: ± 2 °c Deseable: ± 0,2°c		Cada cinco minutos o menos durante al menos dos horas para establecer la naturaleza del ciclo de medición. (ASHRAE 55-2004)		
VESTIMENTA		clo			Se determinan por medio de la observación directa y por medio de la encuesta			
ACTIVIDAD		met						

Tabla 21 Protocolo para la toma de muestras.

Fuente: Elaboración propia



