



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Optimización energética de edificaciones tipo anfiteatro por medio  
de la implementación de estrategias pasivas en zonas templadas  
del Ecuador**

**Esteban Andrés Chemali Arellano**

**Paúl Remache, MES, Director de Tesis**

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero  
Mecánico

Quito, mayo de 2015

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Optimización energética de edificaciones tipo anfiteatro por medio  
de la implementación de estrategias pasivas en zonas templadas  
del Ecuador**

**Esteban Andrés Chemali Arellano**

Paúl Remache, MES.,  
Director de Tesis

---

David Escudero, PhD.,

---

Gabriel Gaona, Ing.,

---

Alfredo Valarezo, PhD.,  
Director del programa

---

Ximena Córdova, PhD.,  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

---

**Quito, mayo de 2015**

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: Esteban Andrés Chemali Arellano

C. I.: 1713763488

Fecha: Quito, mayo de 2015

## **DEDICATORIA**

DEDICO ESTA TESIS A TODAS LAS PERSONAS QUE HAN ESTADO A MI LADO ESTOS AÑOS, A MI FAMILIA, A LOS PROFESORES QUE ME HAN COMPARTIDO SUS CONOCIMIENTOS Y A TODA LA GENTE QUE ME HA APOYADO DURANTE MI PROCESO DE FORMACIÓN UNIVERSITARIA.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a mi familia por su permanente apoyo, a mi director de tesis Paul Remache, a la arquitecta Isabel Miño por su ayuda, a Gabriel Gaona por su guía, al instituto nacional de eficiencia energética y energías renovables INER, al instituto climático de la Universidad San Francisco de quito a Martin Grijalva y Ana Paula Viteri por su ayuda arquitectónica, a Carlos Gudiño y Jeison Sosa por su impulso y a todos los profesores que han estado ahí para ayudarme.

## RESUMEN

La presente tesis se fundamenta en el rediseño de la envolvente y en la realización de un análisis de eficiencia energética del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito. El coliseo se encuentra ubicado en Cumbayá, provincia de Pichincha – Ecuador, que se considera una zona climática templada. El objetivo del proyecto es mejorar el nivel de confort térmico del coliseo y reducir el consumo de energía de los sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Para lograr esto se utilizó un modelo energético desarrollado y optimizado en DesignBuilder, con el que se realizó un modelo 3D del coliseo actual al que denominamos “caso base”, donde posteriormente se optimizó y se rediseñó su envolvente. El caso base consiste en simular la edificación con los materiales y las condiciones que presenta actualmente. La optimización del caso base radica en mejorar las estrategias de climatización pasivas. El rediseño de la envolvente consiste en cambiar los materiales del coliseo. Posteriormente se comparan los resultados de las simulaciones y se analiza las mejoras realizadas.

Para realizar el modelo energético se consideraron las normas ANSI/ASHRAE 55 (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineer) y la norma ISO 7730 que establecen los lineamientos para la definición del rango de confort térmico en espacios interiores, teniendo en cuenta factores como cargas metabólicas, vestimenta, densidad ocupacional, equipos electrónicos e iluminación. Se utilizaron datos de la estación meteorológica de Tumbaco los cuales permitieron realizar análisis acorde a las condiciones climáticas de la ubicación del coliseo.

## ABSTRACT

This thesis is based on the redesign of the Universidad San Francisco de Quito coliseum envelope and an energy efficiency analysis. The coliseum is located in Cumbaya, Pichincha – Ecuador, considered as a temperate climatic zone. The principal objective of this project is to enhance the thermal comfort levels and to reduce HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) energy consumption. In order to achieve this, an energetic model was developed and optimized with DesignBuilder software where we designed a “base case”, from which the envelope was redesigned and optimized. “Base Case” optimization was focused in improving all the acclimatization strategies the building use now a days. Surrounding improving consisted in changing the construction materials of the coliseum. Later the results of both simulations where compared.

For designing the energetic model two international standards were considered, the ANSI/ASHRAE 55 (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineer) standard and the ISO 7730 standard, which establish the process to define the temperature range allowed for thermal comfort for indoor spaces, having into account important facts like metabolism, clothing, occupancy, electronic devices and artificial lighting. Data from Tumbaco weather station was used to obtain simulation results according to real weather conditions of the location of the coliseum.



## Contenido

RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
Capítulo 1: Introducción.....	14
1.1 Antecedentes .....	14
1.2 Justificación y motivación del proyecto.....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos .....	16
1.4 Descripción general del proyecto.....	17
Capítulo 2: Marco teórico .....	18
2.1 Estrategias y Sistemas de ventilación.....	18
2.1.1 Sistemas de ventilación pasiva .....	18
2.1.2 Sistemas de ventilación artificial .....	22
2.2 Confort térmico.....	22
2.3 Design Builder y Energy Plus .....	24
Capítulo 3: Metodología .....	26
3.1 Simulación del caso base.....	27
3.1.1 Definición del caso base.....	27
3.1.2 Configuración del modelo energético en DesignBuilder .....	30
3.1.3 Modelado 3D de la edificación .....	43
3.1.4 Simulación y análisis de resultados.....	50
3.2 Rediseño pasivo del sistema .....	52
3.2.1 Selección de las estrategias a utilizar .....	52
3.2.1 Simulación y análisis de resultados.....	56
3.3 Definición y Simulación del caso extremo y caso extremo optimizado.....	59
Capítulo 4: Resultados y Discusión.....	60
Conclusiones y recomendaciones .....	71
5.1 Conclusiones.....	71
5.2 Recomendaciones.....	73
Bibliografías.....	75
Anexos: .....	77

## Índice de imágenes

Figura 1. Ejemplo de Ventilación natural (Vassigh S,2013) .....	19
Figura 2. Materiales con cambio de Fase (Vassigh S,2013) .....	21
Figura 3 Sistema de doble techo (Straughn Trout Architects, 2015) .....	22
Figura 4. Modelado DesignBuilder (Republic, 2015) .....	25
Figura 5. Esquema metodología .....	26
Figura 6. Diagrama de procesos de la investigación de campo .....	28
Figura 7. Posición del sol (Hora-Fecha), resultado del archivo climático generado .....	43
Figura 8. Coliseo USFQ 3D.....	44
Figura 9. Zonas Primer piso coliseo USFQ.....	45
Figura 10. Zonas segundo piso coliseo USFQ.....	45
Figura 11. Proceso de simulaciones simultáneas .....	51
Figura 12. Estrategias de optimización energética.....	53
Figura 13. Ejemplo de nodos para el método de transferencia de calor por conducción utilizando el modelo de diferencias finitas (EnergyPlus, 2014) .....	56
Figura 14. Sistema de ventilación cruzada.....	58
Figura 15. Coliseo de la Universidad San Francisco de Quito en .....	60
Figura 16. Coliseo de la Universidad San Francisco de Quito .....	61
Figura 17. Temperatura mensual durante un año caso base .....	64
Figura 18. Temperatura mensual durante un año caso optimizado .....	65

Figura 19. Perfil de distribución de temperatura diario durante la semana del 4 al 11 de Junio (Caso Base).....	67
Figura 20. Perfil de distribución de temperatura diario durante la semana del 4 al 11 de Junio (Caso Optimizado).....	67
Figura 21. Perfiles de temperatura diarios a lo largo del año .....	69
Figura 22. Perfil horario de temperatura.....	70
Figura 23. Perfil horario de temperatura.....	70

## Índice de Tablas

Tabla 1 Categorías de ambientes térmicos.....	35
Tabla 2 Pasos para armar archivo climático.....	36
Tabla 3 Valores de factores de peso para cada parámetro climático.....	41
Tabla 4 Valores de factores de peso para los parámetros climáticos generales...	42
Tabla 5 Materiales del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito .....	46
Tabla 6: Actividades, densidad ocupacional, iluminación y tasa de renovación de aire por zona .....	50
Tabla 7 Estrategias de optimización energética detallada .....	54
Tabla 8 Optimización de materiales .....	57
Tabla 9 Horarios de ocupación y densidad ocupacional cancha principal .....	62
Tabla 10 Densidad ocupacional, actividades, iluminación y tasa de renovación de aire por zona de la edificación.....	63

## Capítulo 1: Introducción

---

### 1.1 Antecedentes

La eficiencia energética en edificaciones es un tema que cada vez llama más la atención de los constructores y de la gente en general (CDS, 2008). Esto se da ya que la conciencia sobre el uso y optimización de los recursos ha aumentado (Newton, 2009). Países como Chile, México y España tienen diferentes normas que establecen ciertos requerimientos sobre eficiencia energética al momento de construir, esto para asegurarse que no exista un abuso sobre el consumo innecesario de energía por un mal diseño en edificaciones (Wolfgang, 2015). En el Ecuador el término eficiencia energética es un término relativamente nuevo, pues no fue hasta el año 2010 que se comenzó a hablar de construcciones con alta eficiencia energética o también llamadas construcciones verdes (Arellano, 2015). A pesar del conocimiento sobre eficiencia energética en el país su aplicación se ha visto muy limitada ya que a la mayoría de constructoras no les interesa utilizar materiales de mejor calidad o realizar diseños que sean altamente eficientes porque tienen costos elevados comparados a las edificaciones normales (Boswell, 2004). Sin embargo se espera que en los próximos años el gobierno implemente normas que van a exigir a las constructoras a cumplir ciertos requisitos en las edificaciones de tal manera que se mejore su eficiencia energética (Silva, 2015).

## 1.2 Justificación y motivación del proyecto

Climatizar el espacio interno de una edificación ocupa alrededor del 40% de su consumo energético, sin embargo este porcentaje se puede minimizar por medio de distintas estrategias que se encargan de lograr una mayor eficiencia en la utilización de recursos (Byrne, J. 2011). El principal problema es que la inversión inicial de construcciones energéticamente eficientes es más alta que la inversión de construcciones ordinarias (Clauser, 1997), por lo que la mayor parte de las empresas constructoras prefieren realizar edificaciones que generen mayores ingresos económicos sobre construcciones que optimicen recursos (Andrade, 2015). Una edificación altamente eficiente no solo representa un menor consumo energético, sino que también brinda mejores condiciones de confort térmico para las personas que la utilizan (Natasa Djuric, 2007). Esto sucede gracias al análisis de factores como ubicación, geografía, materiales, niveles de aislamiento térmico, que se hacen al momento de diseñar edificaciones energéticamente eficientes para poder aprovechar maximizar los métodos de climatización naturales. El coliseo de la Universidad San Francisco de Quito es un claro ejemplo de una edificación tipo anfiteatro que no fue diseñada en base a sus necesidades energéticas. La densidad ocupacional que tiene esta edificación combinada con las actividades que se realizan dentro y con su baja eficiencia energética crean altas horas de discomfort térmico para sus ocupantes (Vassigh, Ozer, & Spiegelhater, 2013), por lo que es necesario solucionar este problema.

### **1.3 Objetivos**

En base a los antecedentes, justificación y motivación del proyecto, estos son los objetivos principales y específicos.

#### **1.3.1 Objetivo general**

Mejorar el confort térmico y la eficiencia energética del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito por medio del rediseño de su envolvente.

---

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Modelar y realizar la simulación energética del caso base con el software DesignBuilder
- Establecer los rangos de confort térmico en base a normativas internacionales y a la simulación del caso base.
- Determinar los principales problemas de diseño en el coliseo de la USFQ (Universidad San Francisco de Quito).
- Aplicar diferentes estrategias sobre el diseño eficiente de construcciones para mejorar la envolvente del Coliseo de la USFQ.
- Incrementar el número de horas de confort térmico del coliseo de la USFQ.

#### **1.4 Descripción general del proyecto**

La mayoría de construcciones en el Ecuador no son diseñadas para cumplir los requerimientos de confort térmico de las personas que las utilicen y son energéticamente ineficientes (Andrade, 2015). En el caso del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito se nota un problema de eficiencia energética y de confort térmico. Esto se evidencia en la fatiga y sensación de calor producidas en los ocupantes del coliseo durante los días con altos niveles de radiación solar (Arguello 2015). La edificación cuenta con grandes ventiladores para mejorar la circulación del aire y lograr el confort requerido, pero estos no cumplen su función. Al ser una edificación con una alta densidad ocupacional y un alto índice de utilización es necesario proporcionar una solución que brinde un ambiente más confortable para sus ocupantes.

## **Capítulo 2: Marco teórico**

Este capítulo se enfoca en la presentación de los más importantes conceptos sobre los sistemas de ventilación y las diferentes estrategias que se utilizan junto a sus principios físicos. A demás cuenta con una descripción de las normativas internacionales que se utilizan para definir el rango de confort térmico, seguido por una breve explicación sobre las simulaciones energéticas y sobre los softwares que se utilizan para realizarlas.

### **2.1 Estrategias y Sistemas de ventilación**

A los sistemas de ventilación se los va a dividir en dos subtipos principales donde los primeros son los sistemas de ventilación pasiva y los segundos son los sistemas de ventilación activa. En ambos casos se presentan los sistemas que sean más aplicables a la edificación que se está analizando, ya que existen una infinidad de sistemas diferentes en el mercado.

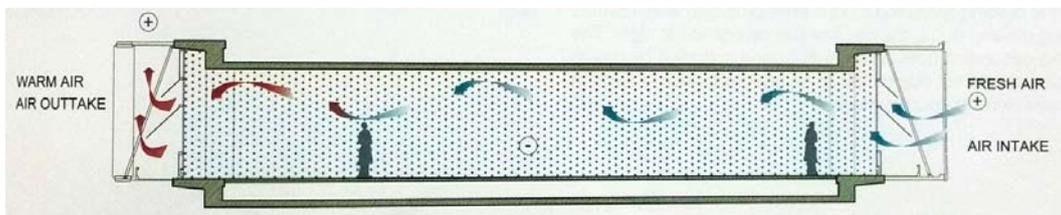
#### **2.1.1 Sistemas de ventilación pasiva**

Los sistemas de ventilación pasiva o de ventilación natural son una parte clave del diseño de la edificación, ya que un buen funcionamiento de los mismos reduce los requerimientos energéticos de sistemas de ventilación mecánica y de sistemas de aire acondicionado. Para lograr una alta eficiencia en los sistemas de ventilación natural es importante seguir ciertos parámetros que están directamente relacionados con la zona donde se esté construyendo. Estos sistemas utilizan estrategias de climatización pasiva que se basan en maximizar la utilización de la

energía solar y el flujo de aire del viento. Para lograr esto utilizan materiales que aprovechen sus propiedades físicas y químicas eliminando pérdidas innecesarias de energía, también utilizan métodos de construcción sustentables para minimizar daños al ambiente y tecnologías avanzadas como simulaciones de eficiencia energética y análisis CFD (Vassigh, Ozer, & Spiegelhater, 2013).

### **2.1.1.1 Ventilación cruzada**

La ventilación cruzada natural es un método que consiste en que el viento o diferencias de presiones y humedad mueven aire fresco a través de la edificación extrayendo el aire caliente. La cantidad de ventilación va a depender del tamaño y de la ubicación de las aperturas o ventanas en la edificación. La Figura 1 ilustra el paso del aire desde la entrada hasta la salida. En azul se representa el aire fresco y en rojo el aire caliente.



*Figura 1. Ejemplo de Ventilación natural (Vassigh S,2013)*

### **2.1.1.2 Enfriamiento nocturno con masa térmica**

El enfriamiento nocturno mediante masas térmicas es una estrategia utilizada en lugares donde la diferencia de temperatura durante el día y la noche es significativa. Este método consiste en dejar que la edificación admita la mayor

cantidad de aire frío durante la y de esta manera refresque la edificación eliminando todo el aire caliente generado durante el día. Esta técnica es utilizada normalmente en espacios con áreas grandes.

### **2.1.1.3 *Materiales con cambio de fase***

Los materiales con cambio de fase o también llamados Phase Changing Materials (PCM) son relativamente nuevos para la industria de la construcción, estos materiales funcionan cambiando sus propiedades físicas frente a situaciones referentes al calor como por ejemplo si la temperatura aumenta el material cambia su fase de sólido a líquido y absorbe calor, o si la temperatura disminuye el material se convierte en sólido y libera calor al resto de la edificación (Figura 2).

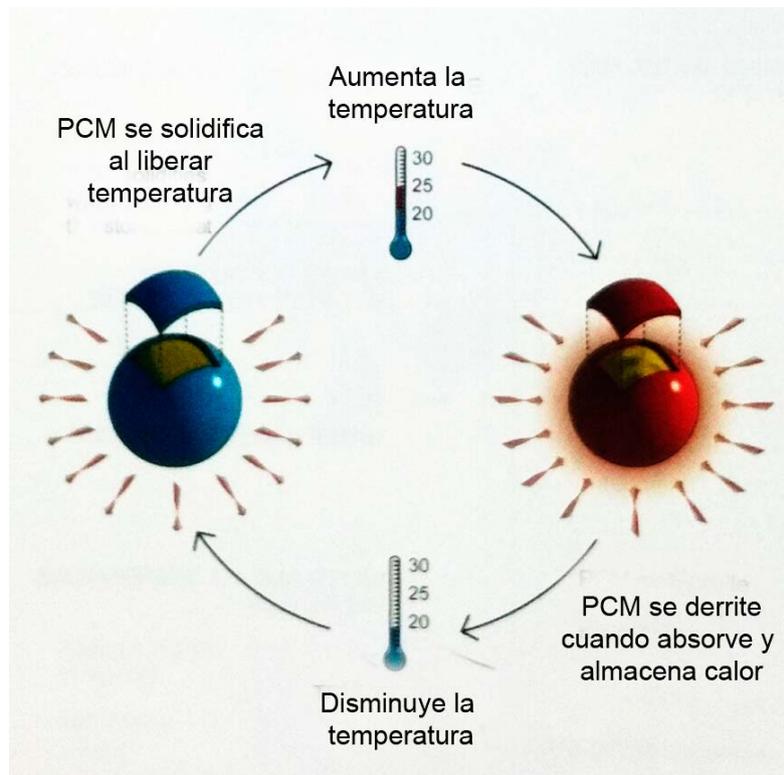


Figura 2. Materiales con cambio de Fase (Vassigh S, 2013)

#### 2.1.1.4 Doble techo

El sistema de doble techo está compuesto por dos o más capas que están separadas por una cavidad de aire que funciona como aislante para el calor obtenido por radiación solar (Figura 3). Además de aire se puede adicionar otro tipo de material como aislante por ejemplo fibra de vidrio, esponja o incluso materiales PCM (materiales de cambio de fase). Los sistemas de doble techo funcionan como base para techos verdes.



*Figura 3. Sistema de doble techo (Straughn Trout Architects, 2015)*

### **2.1.2 Sistemas de ventilación artificial**

Los sistemas de ventilación artificial son utilizados para controlar la temperatura, humedad, ventilación, filtración y movimiento del aire en espacios ocupados. Estos sistemas se aplican idealmente después de aplicar técnicas y sistemas de ventilación natural, para reducir las necesidades que el sistema debe abarcar (Vassigh, Ozer, & Spiegelhater, 2013). Adicionalmente los sistemas de ventilación artificial son una parte importante al momento de establecer los costos de consumo energético en las edificaciones, ya que consumen una alta cantidad de energía (Carter, 2011). Ya que en el presente proyecto no se van a utilizar sistemas de ventilación artificial no se va a describir ningún sistema en específico.

## **2.2 Confort térmico**

Para definir el nivel de confort térmico se considera la norma ASHRAE 55 y la norma ISO7730. Según la ASHRAE 55 se define al confort térmico como la

condición que expresa satisfacción con la temperatura del ambiente y que puede ser evaluada subjetivamente (ANSI/ASHRAE, 1994). También especifica que al existir grandes variaciones tanto psicológicas como físicas entre cada persona, es muy difícil satisfacer a todos por lo que es necesario establecer un rango de confort térmico que maximice el porcentaje de personas satisfechas.

Factores necesarios para poder definir el confort térmico:

- Tasa metabólica
- Aislamiento de la ropa
- Temperatura del aire
- Temperatura radiante
- Velocidad del aire
- Humedad

Para proporcionar un confort térmico adecuado es necesario tomar en cuenta todos los factores mencionados anteriormente. En el siguiente estudio el aislamiento de la ropa y la tasa metabólica se determinó utilizando el ANEXO 1 basado en las actividades que se realizan en el coliseo. Por otro lado la temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad se determinaron con los archivos climáticos de la estación meteorológica de Tumbaco.

### 2.3 Design Builder y Energy Plus

DesignBuilder es un software que combina la simulación energética más avanzada con un sistema de modelado de estructuras muy amigable que permite maximizar los diseños de distintas construcciones para lograr la máxima eficiencia energética y confort térmico. Esta herramienta presenta opciones de análisis únicas ya que se utilizan datos climáticos reales que varían dependiendo la día/hora logrando resultados muy precisos. Además de análisis energéticos DesignBuilder presenta varias opciones como modelar flujos de aire, realizar análisis de costos, simular ambientes con luz natural entre otras (Art, 2015). En la Figura 4 se puede ver el coliseo de la Universidad San Francisco modelado en 3D en DesignBuilder. Es importante destacar que DesignBuilder utiliza como plataforma de cálculo la plataforma de Energyplus.

EnergyPlus es un programa que permite realizar simulaciones de energía y de utilización de agua en edificaciones. Este software realiza las mismas simulaciones que DesignBuilder, con la diferencia de que cuenta con una plataforma menos amigable que dificulta el modelado. Este software incluye distintos programas de libre acceso, como Weather Statistics and Conversions, que permite convertir archivos climáticos de Excel a .epw (energy, 2015).

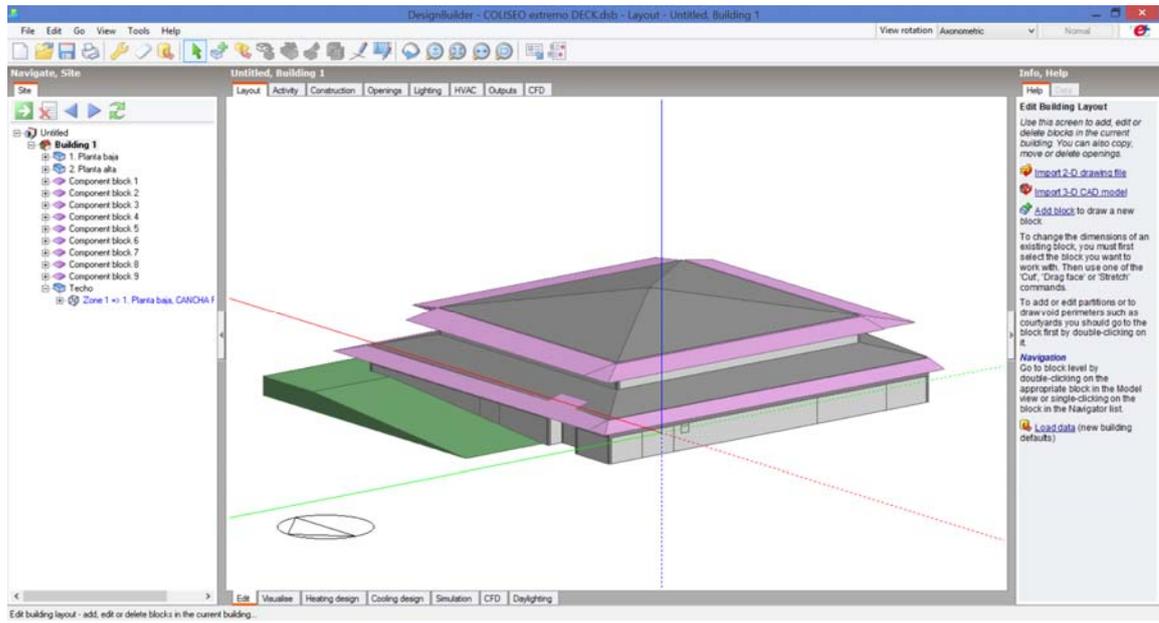


Figura 4. Modelado DesignBuilder (Republic, 2015)

### Capítulo 3: Metodología

La metodología se basó en la comparación del caso base del coliseo de la Universidad San Francisco con un caso optimizado utilizando estrategias pasivas previamente seleccionadas Figura 5. Además se realizó la simulación de la edificación funcionando en un caso extremo y se la comparó con un caso extremo optimizado. Todo esto se realizó utilizando el software DesignBuilder.

La metodología siguió las siguientes etapas:

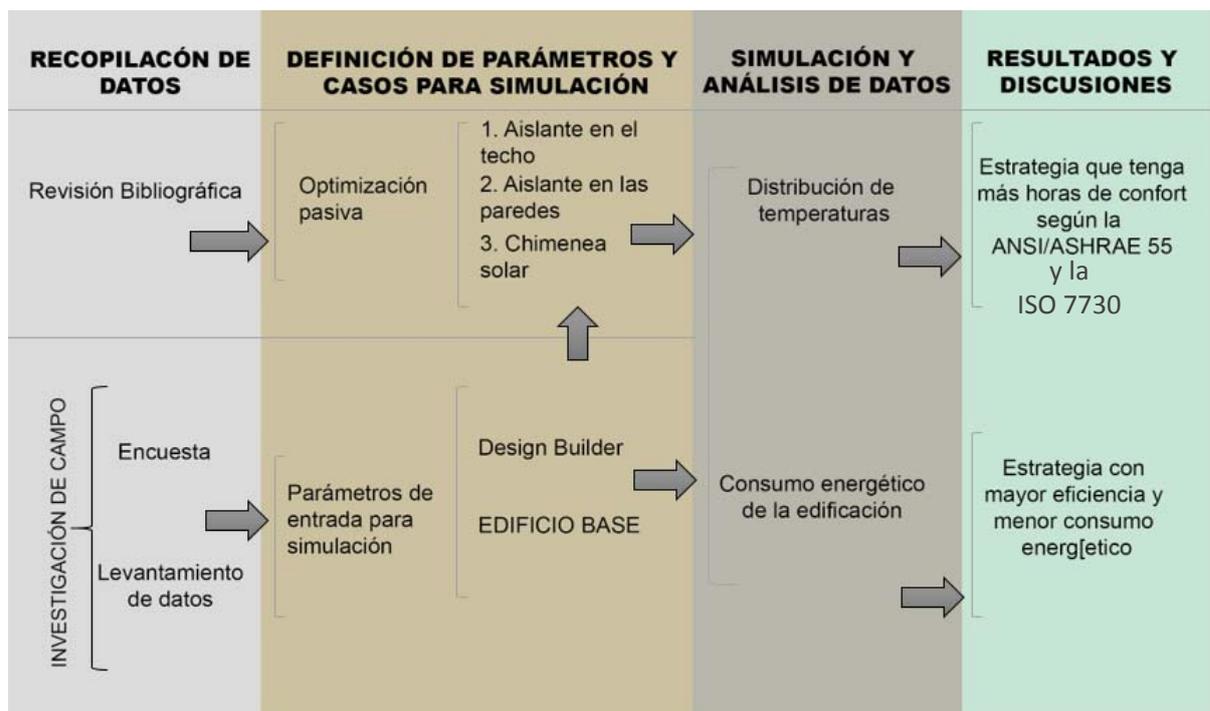


Figura 5. Esquema metodología

### **3.1 Simulación del caso base**

#### **3.1.1 Definición del caso base**

El caso base es la representación digital del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito con sus características físicas, horarios y densidad de ocupación; consumo energético, actividades y condiciones climáticas actuales. La recolección y análisis de datos de la edificación actual se hizo a través de investigación de campo y de revisiones bibliográficas. La investigación de campo fue fundamental para establecer los parámetros adecuados para realizar el modelado y levantamiento 3D de la edificación, donde la precisión de los datos es necesaria para obtener resultados acertados en las diferentes simulaciones. Adicional a esto se realizó una encuesta a las personas que utilizan diariamente la edificación con el objetivo de definir el confort térmico de los espacios ocupados. Por otro lado con la revisión bibliográfica se identificaron las diferentes estrategias de ventilación y materiales para implementar en la optimización del coliseo.

##### **3.1.1.1 Investigación de Campo**

En la investigación de campo se encontraron los datos necesarios para el levantamiento de la edificación, representados en la Figura 6:



*Figura 6. Diagrama de procesos de la investigación de campo*

Se obtuvo la ubicación geográfica de la edificación y las diferentes edificaciones o masas térmicas que lo rodean, esto se realizó utilizando un GPS para obtener las coordenadas exactas. También adquirieron detalles constructivos del coliseo como ventanas y sistemas actuales de calefacción.

### *Encuesta*

Los datos de la encuesta se establecieron a partir del apéndice E de la norma ANSI/ASHRAE 55. Estos sirven como referencia para establecer si el rango de

confort térmico teórico es aplicable a la realidad. En la encuesta se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Género
- Cantidad de nubes en el cielo
- Actividad
- Sensación de confort térmico
- Cantidad de aire
- Olor
- Temperatura externa a la edificación
- Temperatura interna de la edificación
- Zona
- CLO

Datos como la temperatura externa a la edificación, temperatura interna a la edificación y CLO no pueden contestar los encuestados por lo que esta información fue llenada por el encuestador quien utilizó sensores de temperatura y las tablas del anexo 1 para contestarlos. La encuesta realizada se encuentra en el Anexo 2.

### **3.1.1.2 Revisión Bibliográfica**

Por medio de revisión bibliográfica se obtuvo los métodos para realizar la optimización del caso base. Además se pudo adquirir datos claves para la simulación, como:

- Información climática del sector. Cumbayá tiene un clima subtropical y está ubicado en una zona templada. (Proaño, 2006)
- Diferentes parámetros y normas existentes sobre el confort térmico.
- Detalles físicos de los materiales del coliseo, consumos energéticos de los sistemas de ventilación, entre otros.

Adicional a esto se encontró información sobre los métodos de ventilación que se pueden utilizar en la edificación que se mencionan en las secciones siguientes.

También se obtuvo información necesaria sobre los distintos materiales con sus propiedades físicas que se planean utilizar para mejorar el diseño y la envolvente del coliseo.

### **3.1.2 Configuración del modelo energético en DesignBuilder**

Para realizar la configuración del modelo energético en DesignBuilder es necesario determinar los datos que se van a utilizar en la construcción del caso base y en la optimización del mismo. La primera condición de simulación fue determinar la latitud y la longitud donde se encuentra el coliseo, que son fundamentales para realizar el análisis energético y la construcción del archivo de clima. Se encuentra ubicado en:

- Latitud -0.19
- Longitud -78.43

Con estos datos, con la información del instituto meteorológico de la Universidad San Francisco de Quito y con los datos de la estación meteorológica de Tumbaco se procedió a construir el archivo de clima.

La siguiente condición necesaria para realizar la simulación fue determinar la densidad ocupacional, los horarios de utilización y las actividades realizadas en cada una de las zonas del coliseo. Todo esto se realizó mediante investigación de campo y la información de los registros de materias que se desarrollan en el coliseo de la Universidad.

La tercera condición necesaria fue determinar el rango de confort térmico que se utilizará en la simulación, esta es una parte clave del proyecto ya que el objetivo principal es mejorar las condiciones de confort térmico del mismo.

El siguiente paso fue determinar los materiales y las cargas térmicas que presentan los equipos de oficina y las luminarias del coliseo. Para realizar esto se contó el número de equipos y de lámparas que presenta el coliseo mediante investigación de campo y de igual manera se observaron los diferentes materiales.

### ***a) Determinación del rango de confort térmico***

El rango de confort térmico fue determinado utilizando la norma ISO 7730 de manera analítica. No se utilizaron los métodos analíticos que presenta la norma ASHRAE 55 porque estos no son aplicables a condiciones extremas como las que presenta el coliseo.

A partir de esta norma se obtuvieron las ecuaciones mencionadas a continuación:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0.303 * EXP(-0.036 * M) + 0.028] \\
 & * \{(M - W) - 3.05E(-3) * [5733 - 6.99 * (M - W) - p_a] \\
 & - 0.42 * [(M - W) - 58.15] - 1.7^{-5} * M * (5867 - p_a) \\
 & - 0.0014 * M * (34 - t_a) - 3.96^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4] - f_{cl} \\
 & * h_c * (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35.7 - 0.028 * (M - W) - I_{cl} * \{3.96^{-8} * f_{cl} \\
 & * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_t + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

Ecuación 2

$$h_c = \begin{cases} 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{para } 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

Ecuación 3

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0.078(m^2K/W) \\ 1.005 + 0.645I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0.078(m^2K/W) \end{cases}$$

Ecuación 4

El PMV es el Predicted Mean Vote o voto medio predicho, el cual se encarga de obtener el valor medio promedio de la parte a) de la encuesta que se encuentra en el Anexo 2, que indica la sensación de calor de la gente.

Donde:

$M$  es la tasa metabólica

$W$  es el trabajo mecánico

$I_{cl}$  es el aislamiento de la ropa

$f_{cl}$  es el factor de superficie de la ropa

$t_a$  es la temperatura del aire

$\bar{t}_t$  es la media de la temperatura radiante

$v_{ar}$  es la velocidad relativa del aire

$p_a$  es la presión parcial del agua

$h_c$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección

$$PPD = 100 - 95^{-0.3353*PMV^4 - 0.2179*PMV^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$DR = (34 - t_{al})(\bar{V}_{a,l} - 0.05)^{0.62} (0.37 * \bar{V}_{a,l} * T_u + 3.14) \quad \text{Ecuación 6}$$

El PPD es el Predicted percentage dissatisfied ó porcentaje predicho de molestia, este valor establece una predicción cuantitativa del porcentaje de gente que se siente con mucho calor o mucho frío.

DR se refiere a Draught, lo cual es el disconfort específico en alguna parte del cuerpo.

$$PD = \frac{100}{1 + 10^{5.76 - 0.856 * \Delta t_{a,v}}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$PD = 100 - 94^{-1.37 + 0.118 * t_f - 0.0025 * t_f^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$PD = \frac{100}{1 + 10^{2.84 - 0.174 * \Delta t_{pr}}} - 5.5 \quad \text{para } \Delta t_{pr} < 23^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$PD = \frac{100}{1 + 10^{6.61 - 0.345 * \Delta t_{pr}}} \quad \text{para } \Delta t_{pr} < 15^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$PD = \frac{100}{1 + 10^{9.93 - 0.5 * \Delta t_{pr}}} \quad \text{para } \Delta t_{pr} < 15^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$PD = \frac{100}{1 + 10^{3.72 - 0.052 * \Delta t_{pr}}} - 3.5 \quad \text{para } \Delta t_{pr} < 23^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 12}$$

PD es el porcentaje de gente no satisfecha por cambios de temperatura en diferentes partes del cuerpo y puede ser causada por tres factores, el primer factor que se describe en la Ecuación 7 es la temperatura vertical del aire, que es la diferencia que existe entre la temperatura de los pies y la cabeza, cuando hay una diferencia significativa puede ser motivo de disconfort térmico. El segundo factor representado por la Ecuación 8 es la temperatura del piso, ya que si el piso se

encuentra muy frío o muy caliente los ocupantes pueden sentirse incómodos debido a la temperatura de sus pies. El tercer factor es la temperatura radiante que es causada por cualquiera de estos cuatro factores:

- temperatura de un techo caliente (ecuación 9)
- temperatura de una pared fría (ecuación 10)
- temperatura de un techo frío (ecuación 11)
- temperatura de una pared caliente (ecuación 12)

Los resultados de las ecuaciones 1 a la 12 permiten establecer a cuál de las tres categorías presentadas en la tabla 1 pertenece el rango de confort térmico de la edificación. Establecer la categoría es necesario ya que a partir de ese resultado se utilizan las gráficas presentadas en el Anexo 3. Estas gráficas varían la temperatura, la escala de los datos de ingreso y el porcentaje de error en el rango de confort térmico que va a ser definido dependiendo de la categoría a la que pertenezca la edificación.

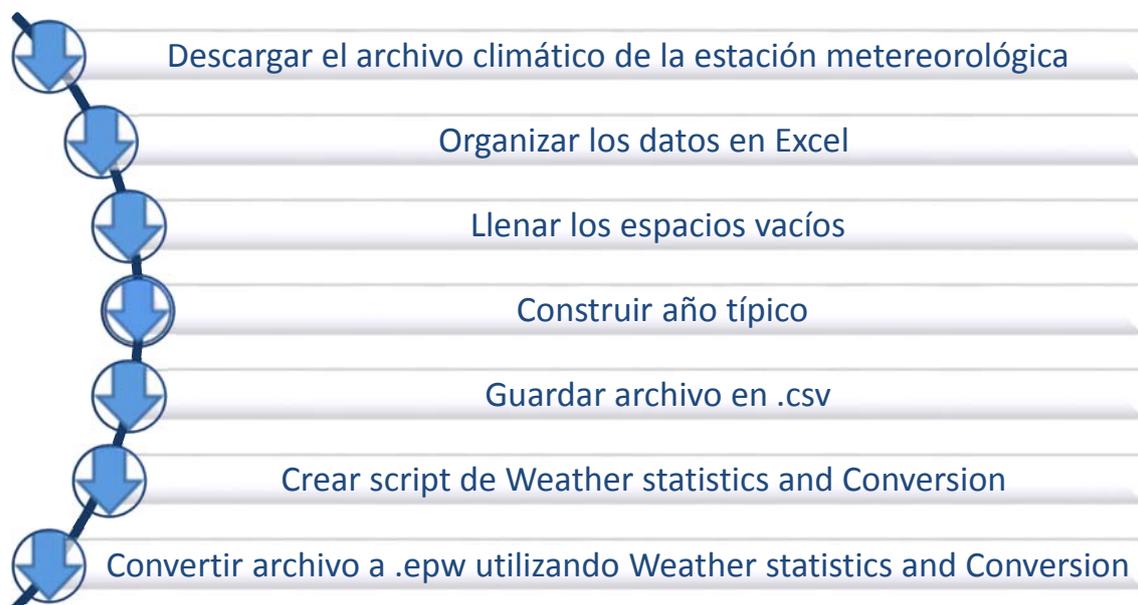
Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	vertical air temperature difference	PD % caused by warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

**Tabla 1. Categorías de ambientes térmicos**

### **b) Archivo climático para realizar los análisis energéticos**

Si bien el software DesignBuilder cuenta con archivos climáticos de diferentes ciudades del mundo, para tener un análisis preciso es necesario construir un archivo de clima del lugar donde se encuentra o donde va a ser construida la edificación. Los archivos climáticos son necesarios para la simulación energética ya que establecen las condiciones de simulación. Estos archivos tienen que estar en formato EPW (Energy Plus Weather) para que sean compatibles con el software DesignBuilder.

Los pasos para crear un archivo .EPW se encuentran en la Tabla 2:



*Tabla 2. Pasos para armar archivo climático*

Gracias a la estación de mediciones atmosféricas de la Universidad San Francisco de Quito y a la estación meteorológica de Tumbaco se pudo conocer los diferentes datos que se necesitan para construir un archivo de clima. Hay que destacar la importancia de obtener datos de la mayor cantidad de años posible para realizar un archivo climático que proporcione información más acertada. Para el caso de este proyecto se utilizaron los archivos de clima de los últimos 8 años ya que no se pudo encontrar más información meteorológica de este sector, sin embargo es preferible utilizar archivos de por lo menos 10 años. Los datos que se incluyen en el archivo de clima son los siguientes:

- Temperatura del aire
- Velocidad del viento
- Radiación
- Dirección del viento
- Humedad relativa
- Presión atmosférica

Una vez organizados los datos en Excel se procedió a llenar los espacios vacíos que existen en el archivo que proporcionan las diferentes estaciones meteorológicas. En estos archivos normalmente existe un faltante de ciertos datos que puede significar que la estación meteorológica estuvo en mantenimiento de la que hubo algún problema con los sensores. Para llenar los espacios de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica se realizó una media móvil ponderada (Ecuación 13).

$$\bar{X} = \frac{1}{2t} \cdot \sum_{i=1}^{t=3} \left( X_{i \pm t} \cdot \frac{1}{|i \pm t|} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Para completar los datos de radiación solar se realizó una estimación lineal que varía en función de la hora del día (Ecuación 14). Para las horas de noche se estableció cero como valor constante.

$$R_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n=5} (\beta_n \cdot X_i^{6-n}) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$R_i$  : Radiación en el punto de interés

$\beta_0$  : Intercepto del modelo lineal

$\beta_n$  : Coeficientes de estimación lineal

$X_i$  : Hora del día elevado a la potencia del orden del polinomio

$n$  : Orden del polinomio

Para la velocidad y dirección del viento se utilizó las ecuaciones 15 y 16 con las que se determina el valor del viento predominante a lo largo de un periodo de tiempo.

$$\bar{U} = \frac{1}{t} \cdot \sum_i^t -\dot{V} \cdot \sin_i \quad \text{y} \quad \bar{V} = \frac{1}{t} \cdot \sum_i^t -\bar{V} \cdot \cos_i$$

Ecuación 15

$$V_p = \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2}$$

Ecuación 16

### *Año típico*

El proceso para elaborar el año típico se obtiene por el método de Pissimanis modificado (López, 2011), puesto que este presenta menor dificultad analítica (Ogoloma & C.O.C, 2011). Este método consiste en elegir cada uno de los 12 meses del año a través de comparaciones estadísticas entre cada uno de los meses de los diferentes años presentados en el archivo climático (Por ejemplo comparar Junio del 2003 con los meses de junio en el resto de años), para lograr esto se siguió el siguiente proceso:

1. A partir de datos horarios de cada año, se determinó para todos los días los siguientes parámetros: la temperatura máxima, mínima y media, la humedad relativa máxima, mínima y media, la velocidad del viento máxima y media; y la irradiación diaria de la superficie.
2. El siguiente paso fue generar un año medio calculando los valores promedios diarios a partir de los valores diarios de cada año.
3. A cada valor diario de cada año (incluido el año medio) se calcula el valor de distribución de frecuencia acumulada (CDF). Para ello se

requiere ordenar todos los valores de manera ascendente y se calcula las probabilidades para cada parámetro por separado (Ecuación 17).

$$CDF_n(x) = \begin{cases} 0 & X < X_1 \\ \frac{k-5}{n} & X_k \leq X \leq X_{k+1} \\ 1 & X \geq X_n \end{cases} \quad \text{Ecuación 17}$$

4. El próximo paso es determinar el factor estadístico de Finkelstein-Schafer (FS) para cada parámetro meteorológico. El FS es el promedio mensual de la suma de diferencias entre valores de CDF de cada año menos el valor de CDF del año promedio (Ogoloma & C.O.C, 2011). En la Ecuación 18, N es el número de meses.

$$FS_x(a, m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CDF_m(x_i) - CDF_{a,m}(x_i)| \quad \text{Ecuación 18}$$

5. El siguiente paso es determinar para cada parámetro la suma ponderada de los factores FS para todos los meses de cada año en particular por medio de la Ecuación 19. Los valores de ponderación  $W_j$  fueron proporcionados por el Instituto nacional de eficiencia energética y energía renovable (*Tabla 3*).

$$WS(a, m) = \sum_{j=1}^9 w_j \times FS_j \quad \text{Ecuación 19}$$

Tmax	Tmin	Tm	HRmax	HRmin	HRm	Vmax	Vmin	Irrad global
5/100	5/100	30/100	2.5/100	2.5/100	5/100	5/100	5/100	40/100

*Tabla 3. Valores de factores de peso para cada parámetro climático*

6. Luego de obtener la suma ponderada de FS de cada mes, se elige los tres valores WS más bajos de entre todos los años, pero del mismo mes. Esto se realiza para cada uno de los 12 meses del año. Es importante conservar la información de a qué año pertenecen los valores WS seleccionados.
7. Se calcula la desviación cuadrática horaria media (RMSD) para cada mes seleccionado dentro del grupo de tres valores WS seleccionados (Ecuación 20). La RMSD se calcula para cada grupo de parámetros de las variables: temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y radiación global. A partir de los resultados de RMSD se calcula el factor  $S_x$  para cada variable, empleando la Ecuación 21.

$$RMSD_x(a, m) = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^H (x_{kh} - x_{mh})^2}{H}} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$S_x(a, m) = \frac{\min_{i=1,2,\dots,NAD} (RMSD_x(i, m))}{RMSD_x(a, m)}$$

Ecuación 21

$$WSS(a, m) = \sum_{i=1}^4 ws_i \cdot Si(a, m)$$

Ecuación 22

8. El siguiente paso es calcular la suma ponderada de los factores  $S_x$  (WSS) para cada mes dentro del grupo de tres meses seleccionados. Los factores de ponderación son los mismos del paso 5, pero consolidados como la suma por cada variable Tabla 4. usados en el paso 7 utilizando la Ecuación 22.

Temp	HR	V	Irrad
40/100	10/100	10/100	40/100

*Tabla 4. Valores de factores de peso para los parámetros climáticos generales*

9. Seguido, de entre cada grupo de tres meses seleccionados se elige el mes con WSS más bajo, para cada uno de los meses del año. Aquí debe identificarse el año al que corresponde el mes seleccionado. Pues la construcción de la tabla de datos del año meteorológico típico se realizará concatenando los valores originales de cada mes seleccionado.

10. Las series resultantes deben ser corregidas para reducir el efecto de saltos de media en el punto de cambio entre meses. Es decir, entre el final de cada mes y el inicio del siguiente debe considerarse un posible cambio brusco en la pendiente de la línea de tendencia de la serie temporal. Para reducir este efecto se procedió a suavizar la curva mediante una media aritmética ponderada con  $t = \pm 5$ . La tabla final para el mes de enero se puede encontrar en el Anexo 6.

### 3.1.3 Modelado 3D de la edificación

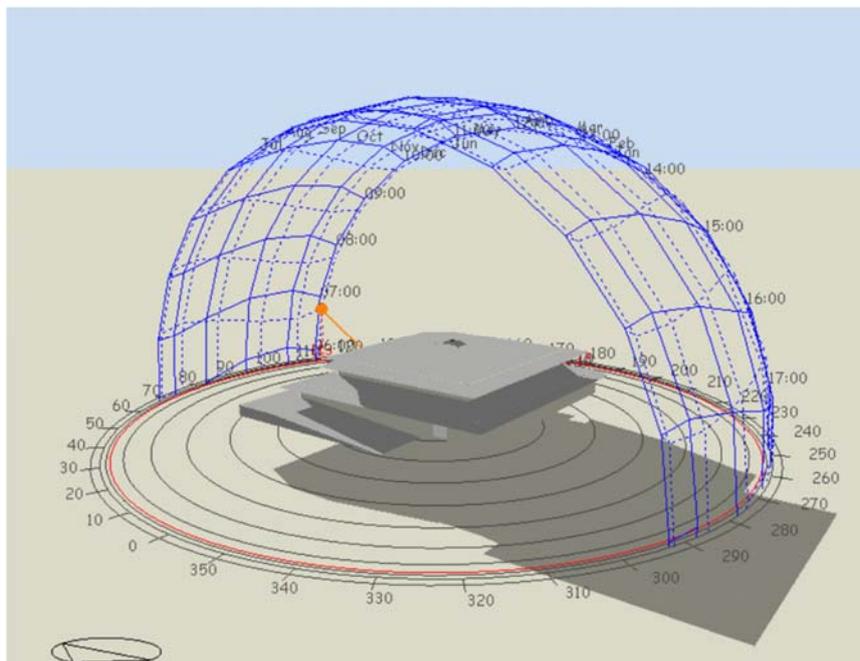
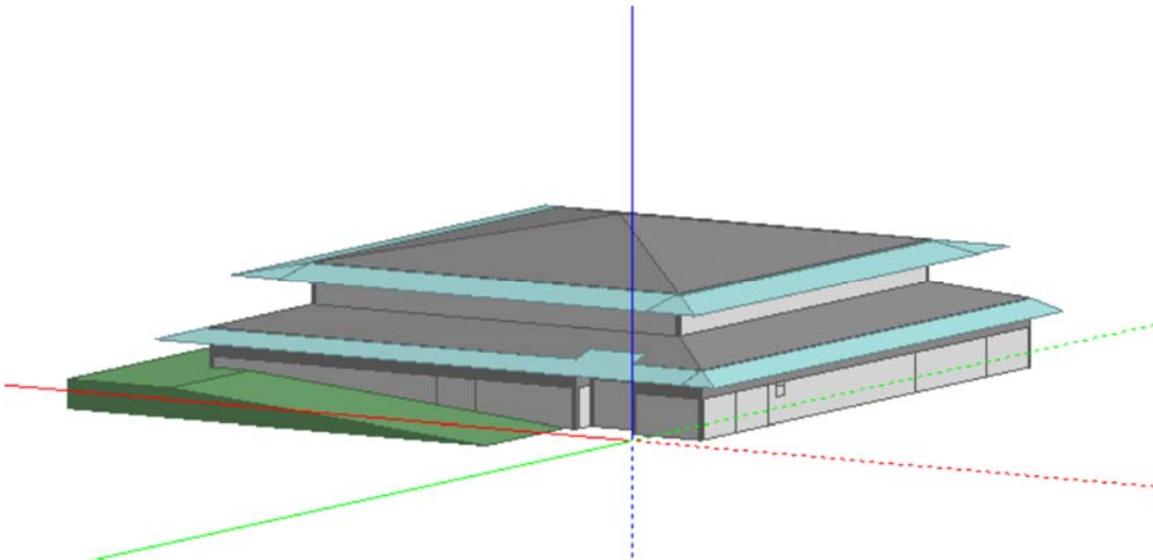


Figura 7. Posición del sol (Hora-Fecha), resultado del archivo climático generado



*Figura 8. Coliseo USFQ 3D*

Para la simulación del caso base se utilizan todos los datos obtenidos anteriormente. El primer paso es realizar el modelo 3D (Figura 7, Figura 8), donde se tiene que dividir la edificación en sus distintas zonas (Figura 9, Figura 10) y además deben identificarse los distintos materiales, como se muestra en la Tabla 5. Es importante utilizar los materiales reales, ya que las propiedades de los mismos son elementos clave en el momento de realizar la simulación energética.

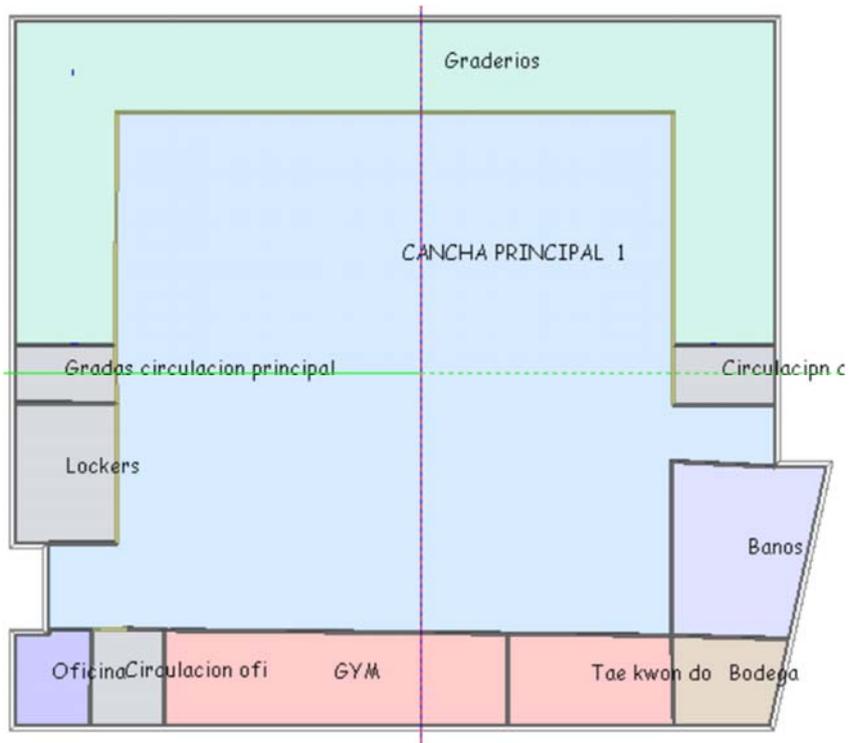


Figura 9. Zonas Primer piso coliseo USFQ

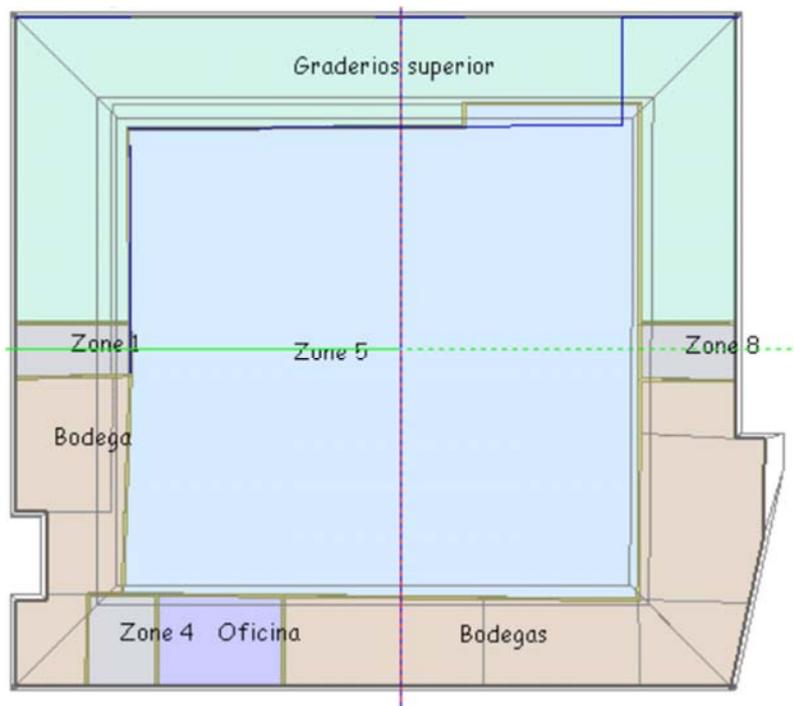


Figura 10. Zonas segundo piso coliseo USFQ

Los materiales utilizados en la simulación se encuentran en la tabla 3:

Material	Detalle	Información	Coefficiente de convección (W/m <sup>2</sup> *k)
Techo	Techo galvanizado verde	0.44mm espesor	11.54
Pared exterior	Enlozado-Bloque-Enlozado	15cm Bloque	19.87
Pared interior	Enlozado-Bloque-Enlozado	15cm Bloque	5.54
Recubrimiento pared	Bloque - Enlozado	20cm Bloque	5.54
Piso	Hormigón-Alfombra	25cm espesor	0.342
Ventanas	Vidrio	Vidrio 3mm	5.894

*Tabla 5. Materiales del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito*

El siguiente paso es definir las actividades que se realizan en cada zona del edificio ya que cada una tiene un diferente aporte metabólico. Las actividades que se realizan en el coliseo se pueden ver en la Tabla 6.

Estas actividades se basan en los estándares de la norma ANSI/ASHRAE-55. Para definir las actividades, DesignBuilder permite crear una plantilla en la que se inserta la siguiente información:

- Perfiles de ocupación (personas/m<sup>2</sup>)
- Ganancias energéticas (W/m<sup>2</sup>)
- Taza metabólica
- Tiempos de utilización
- Intercambios de calor por consumo de agua caliente
- Ganancias adicionales

El siguiente paso es establecer la capacidad ocupacional del edificio. El coliseo de la universidad San Francisco está diseñado para deportes y para recibir eventos que ocupan su 100% de capacidad. Para simplificación de la simulación se ha realizado un promedio para determinar el número de personas que utilizan el coliseo. Adicional a esto es importante dividir los tiempos de ocupación en 3 periodos. El primer periodo es durante el semestre, donde se tienen actividades regulares y actividades especiales como ceremonias, fiestas y eventos. El segundo periodo es durante las clases de verano, donde se realizan las mismas actividades que se tienen durante el semestre pero con menos cantidad de gente. El tercer periodo es en época de vacaciones, donde se tienen solo actividades especiales.

Para el primer periodo se define que:

- La capacidad máxima del coliseo es de 1200 personas.
- El número de personas que utilizan el coliseo de lunes a viernes en días regulares de clases es de 100 personas. Es decir el 8.3% de su capacidad máxima.
- El número de personas que utilizan el coliseo los fines de semana en días ordinarios es de 150 personas. Es decir el 12.5% de su capacidad máxima.
- En actividades especiales se define el número de personas en porcentaje, considerando que 1200 personas es el 100%.

Para el segundo periodo se define que:

- La capacidad máxima del coliseo es de 1200 personas.

- El número de personas que utilizan el coliseo de lunes a viernes en días regulares de clases es de 60 personas. Es decir el 5% de su capacidad máxima.
- El número de personas que utilizan el coliseo los fines de semana en días ordinarios es de 100 personas. Es decir el 8.3% de su capacidad máxima.
- En actividades especiales se define el número de personas en porcentaje, considerando que 1200 personas es el 100%.

Para el tercer periodo se define que:

- La capacidad máxima del coliseo es de 1200 personas.
- El número de personas que utilizan el coliseo de lunes a viernes en días regulares de clases es de 30 personas. Es decir el 2.5% de su capacidad máxima.
- El número de personas que utilizan el coliseo los fines de semana en días ordinarios es de 60 personas. Es decir el 5% de su capacidad máxima.
- En actividades especiales se define el número de personas en porcentaje, considerando que 1200 personas es el 100%.

El siguiente paso es determinar la cantidad de iluminación y la tasa mínima de renovación de aire por cada zona. Para determinar la tasa mínima de renovación de aire se utilizó la norma NTE INEN 1126 que se basa en la Ecuación 23 (NTE INEN 1126, 1984):

$$Q = q \frac{100}{P - 0.04}$$

Ecuación 23

Donde:

Q= caudal de volumen de aire fresco necesario

q=caudal de volumen de CO producido por persona.

En la tabla 4 se pueden ver las diferentes tasas de renovación para cada zona.

Zona	Descripción	Densidad ocupacional (personas/m <sup>2</sup> )	Actividades	Iluminación(lux)	Minimum Fresh air(l/s-person)
Primera planta	Baños	0.27	Parados/caminando	200	12
Primera planta	Bodega	0	Bodega/vacío	50	10
Primera planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10
Primera planta	Circulación oficina	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Circulación lateral	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Graderios	3	Sentados	200	10
Primera planta	Gym	0.1	Ejercicio/deporte	300	10
Primera planta	Lockers	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Oficina	0.103	Sentado/Oficina	300	10
Primera planta	Tae kwon do	0.1	Ejercicio/deporte	300	10
Segunda planta	Bodega 1	0	Bodega/vacío	50	10
Segunda planta	Bodega 2	0	Bodega/vacío	50	10
Segunda planta	Graderios superiores	1	Sentados	200	10
Segunda planta	Oficina	0.103	Sentado/Oficina	300	10

Segunda planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Segunda planta	Circulación oficina	0.11	Circulación	100	10
Segunda planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10
Segunda planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Tercera planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10

*Tabla 6. Actividades, densidad ocupacional, iluminación y tasa de renovación de aire por zona*

### 3.1.4 Simulación y análisis de resultados

Con todos los parámetros definidos anteriormente se procedió a simular la edificación para un tiempo de un año, de esta manera se puede analizar su comportamiento frente a los cambios de temperatura de diferentes meses. Con los resultados de esta simulación se puede determinar el mes y día más crítico que va a servir como punto de partida para hacer la simulación del coliseo funcionando en su capacidad máxima.

Como se menciona anteriormente para realizar las simulaciones y análisis energéticos DesignBuilder utiliza a Energyplus como motor de cálculo. Al tener tantas variables y condiciones de simulación el software crea lo que se conoce como simulaciones integradas, esto significa que resuelve los diferentes grupos de incógnitas al mismo tiempo. En el caso de DesignBuilder y Energyplus existen tres grupos de incógnitas que se encuentran representadas en la Figura 11 y analíticamente en la Ecuación 24 y en la Ecuación 25.

La Ecuación 24 es el planteamiento de un balance de flujo de aire en las diferentes zonas basado en ecuaciones diferenciales lo cual es fundamental ya que representa un dato clave para los diferentes cálculos que realiza el programa, mientras que la Ecuación 25 describe una solución analítica general del problema para determinar las cargas calóricas y las diferentes temperaturas que se van a utilizar.

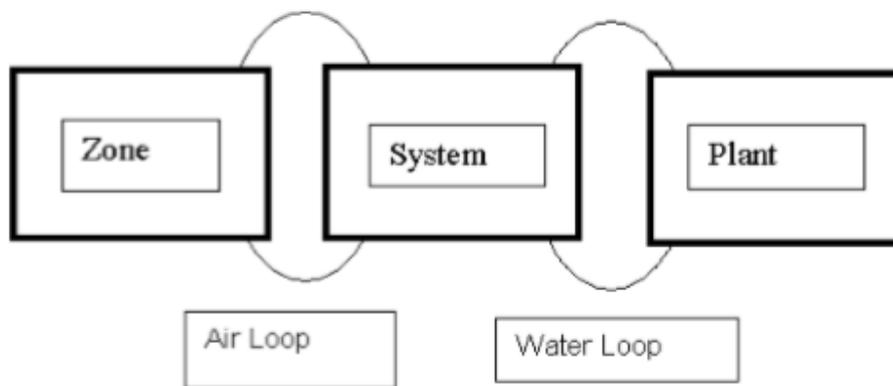


Figura 11. Proceso de simulaciones simultáneas

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$T_z^t = \left( T_z^{t-st} - \frac{\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \right) * \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\exp \left( - \frac{\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p}{C_z} \delta t \right) +$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i = \text{suma de las carga internas de convección}$$

$\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{Si} - T_z) =$  transferencia de calor por convección de las superficies de las zonas

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) =$  transferencia de calor dada por las infiltraciones del aire externo

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) =$  transferencia de calor dada por la mezcla de aire de diferentes zonas

$\dot{Q}_{sys} =$  salida de sistemas de aire

$C_z \frac{dT_z}{dt} =$  energía almacenada en zonas de aire

$$C_z = \rho_{air} C_p C_T$$

$\rho_{air} =$  zona de densidad de aire

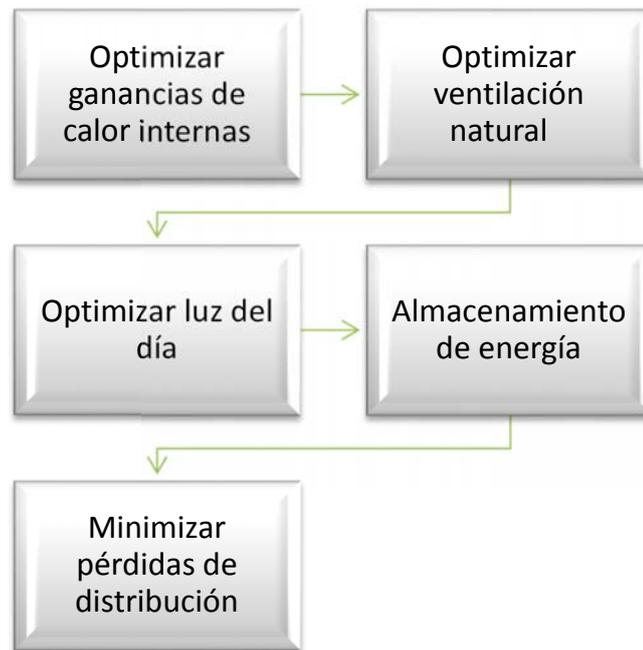
$C_p =$  zona de calor específico de aire

$C_T =$  multiplicador de capacidad de calor

## 3.2 Rediseño pasivo del sistema

### 3.2.1 Selección de las estrategias a utilizar

Para el rediseño de la edificación se utilizaron los datos obtenidos en la revisión bibliográfica. Donde se aplicaron las estrategias de optimización de la Figura 12.



*Figura 12. Estrategias de optimización energética*

En la tabla 5 se presentan los problemas generales de las distintas estrategias de optimización energética y se indican cuales aplican a la edificación que se está analizando. Los recuadros resaltados en amarillo son las estrategias que son aplicables a la edificación. Debido a que este estudio se concentra en un rediseño pasivo de la envolvente no se tomaran en cuenta estrategias que incluyan sistemas activos por los siguientes motivos:

- No se puede cambiar la forma de la edificación.
- El coliseo no cuenta con sistemas de climatización artificiales.
- No hay espacio físico para incrementar el ingreso de luz natural.

Estrategia de optimización energética	Problemas comunes	Aplicabilidad
Optimizar ganancias de calor internas	Área excesiva de ventanas	N/A
	Iluminación ineficiente	N/A
	Mal manejo de iluminación	N/A
	Ganancias de calor innecesarias	N/A
Optimizar ventilación natural	Mejorar el diseño de ventanas o de aperturas	APLICA
	Utilizar aperturas en el techo	APLICA
	Almacenar calor durante el día y removerlo de noche	N/A
	Sistema híbrido de ventilación	N/A
Optimizar luz del día	Control de luces artificiales	N/A
	Alto reflejo de luz natural	N/A
	Distribución de luz natural	N/A
Almacenamiento de energía	Capacidad térmica	N/A
	Respuesta térmica	N/A
	Niveles de aislamiento térmico	APLICA
	Control automático	N/A
Minimizar pérdidas de distribución	Forma de la edificación	N/A
	Número de zonas	N/A

*Tabla 7. Estrategias de optimización energética detallada*

### *Niveles de aislamiento térmico*

Este es el elemento más importante para la optimización de caso base. El primer paso es realizar el rediseño del techo de la edificación probando diferentes materiales que reflejen la radiación del sol y eviten la transferencia de calor hacia el interior de la construcción. Además se realiza un estudio sobre el rediseño de las paredes que se consideran para poder calcular el nivel de aislamiento térmico de la edificación.

*Ecuaciones que gobiernan el modelo para calcular el nivel de aislamiento térmico*

Las ecuaciones utilizadas en el modelo de DesignBuilder para poder calcular el nivel de aislamiento térmico son:

$$q''_{ki}(t) = -z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} \Phi_j q''_{kit-j\delta}$$

Ecuación 26

Donde  $Y_j$  es el Coeficiente de flujo lateral,  $Z_j$  el Coeficiente de flujo interno,  $\Phi_j$  el Coeficiente de flujo,  $T_j$  la Temperatura interna y  $q''_k$  el flujo de calor por conducción interno.

$$C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left[ \left( k_w \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} + k_E \frac{T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} \right) + \left( k_w \frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{\Delta x} + k_E \frac{T_{i-1}^j - T_i^j}{\Delta x} \right) \right]$$

Ecuación 27

Donde T es la temperatura del nodo,  $i + 1$  es el nodo en el interior de la construcción,  $i - 1$  es el nodo en el exterior de la construcción,  $j + 1$  es un nuevo

paso de tiempo,  $\Delta x$  es el ancho de la diferencia finita,  $C_p$  es el calor específico del material y  $\rho$  es la densidad del material.

La Ecuación 26 es la fórmula básica para determinar la transferencia de calor por conducción, mientras que la Ecuación 27 es la fórmula general del método que utiliza el software DesignBuilder y EnergyPlus a través de diferencias finitas para determinar la transferencia de calor de los diferentes materiales. Como se puede ver en la Figura 13, esta ecuación varía dependiendo del número de nodos y de materiales que estén juntos.

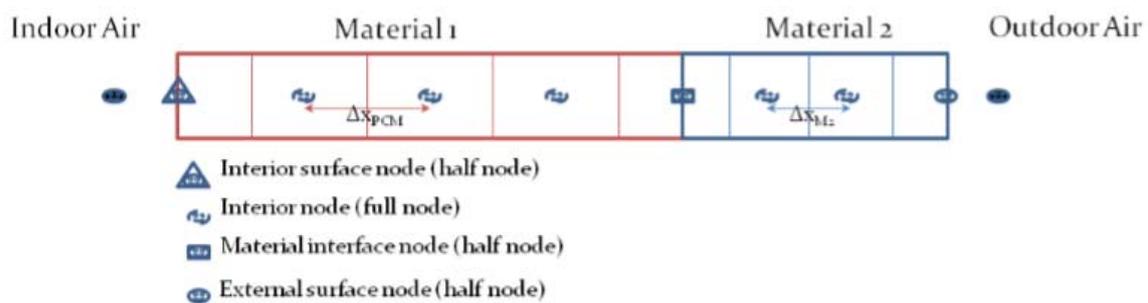


Figura 13. Ejemplo de nodos para el método de transferencia de calor por conducción utilizando el modelo de diferencias finitas (EnergyPlus, 2014)

### 3.2.1 Simulación y análisis de resultados

Con la ayuda del software DesignBuilder, que utiliza las ecuaciones descritas previamente, se realizaron varias pruebas para optimizar los materiales de la edificación. Los resultados se observan en la Tabla 8, donde se muestran las características de los materiales utilizados en el caso base y en el caso optimizado.

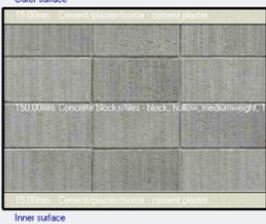
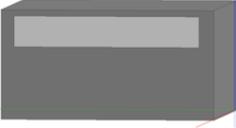
Zona	Material caso base	Descripción	Material caso optimizado	Descripción
Techo		Techo metálico 0.44mm		Techo metálico 0.44mm Aislamiento Techo metálico 0.44mm
Paredes		Cemento 1.2cm Bloque 15 cm Cemento 1.2cm		Cemento 1.2cm Bloque 15 cm Aire 50 mm Gypsum 1.2cm
Ventanas		Ventana en la parte superior del edificio		Ventana en la parte superior e inferior del edificio

Tabla 8. Optimización de materiales

#### Techo:

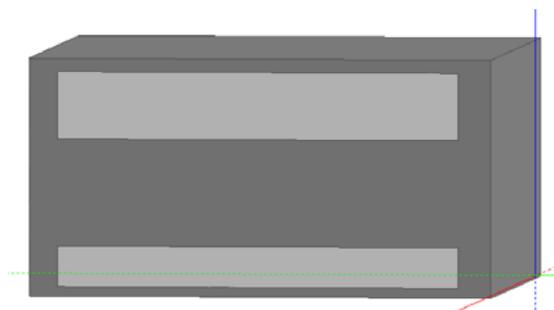
El diseño inicial del techo presenta un deck metálico de 0.44mm de espesor, el cual no tiene ningún sistema para evitar absorber el calor o mantener la energía que se encuentra dentro de la edificación. El material del techo para el caso optimizado presenta una estructura de tres capas, las cuales están conformadas por un deck metálico igual al del caso base en su exterior seguido de un aislamiento de fibra de vidrio y en la tercera capa deck metálico de 0.44mm. El objetivo del material aislante es evitar el paso de calor causado por la radiación solar y adicionalmente evitar grandes gradientes de temperatura en el interior del coliseo.

#### Paredes:

La optimización de las paredes pretende mejorar el nivel de aislamiento térmico de la edificación. Se puede ver que las paredes del caso base no presentan elementos de aislamiento térmico. Estas esta compuestas por una capa de enlizado que sirve para estética del coliseo, seguido por bloque de construcción de 15cm de espesor y finalmente una capa de enlizado interna que tiene como finalidad cuidar la estética al interior del coliseo. Para mejorar el diseño de las paredes se propone aumentar una capa de aire hacia el interior de la edificación, seguida por una pared de Gypsum. Esta estrategia se encarga de que el ambiente interno del coliseo no se vea afectado por el coeficiente de convección que presentan los bloques de construcción.

#### *Ventanas:*

Para mejorar el diseño de las ventanas se analiza la estrategia de ventilación cruzada mencionada en la sección 2.1, donde se propone crear las aperturas representadas en la Figura 14. Como se observa el color gris oscuro representa la edificación mientras que el color gris claro representa las aperturas.



*Figura 14. Sistema de ventilación cruzada*

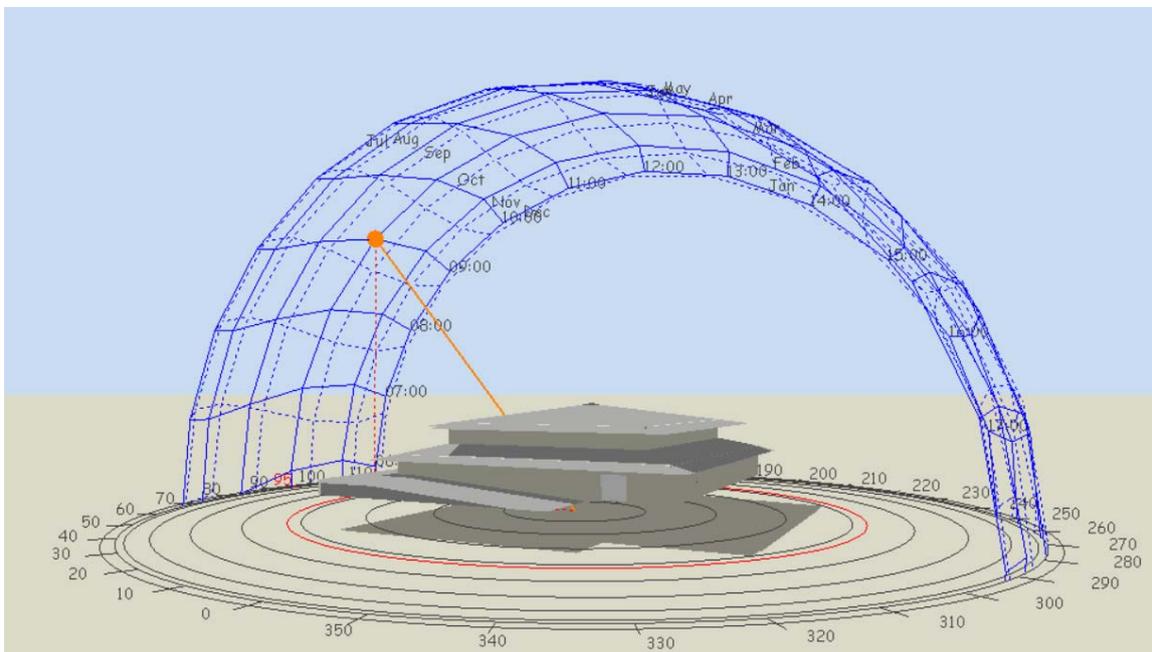
### **3.3 Definición y Simulación del caso extremo y caso extremo optimizado**

El caso extremo consiste en definir las condiciones de densidad ocupacional del coliseo de la Universidad San Francisco de Quito a su 100%. Para el caso Base se tiene definido que en horario normal de ocupación puede haber hasta 100 personas haciendo deporte en hora pico. Para el caso extremo se propone analizar la edificación con 256 personas haciendo deporte, esta situación aprovecha la capacidad máxima de personas por metro cuadrado que se encuentra definida en la Tabla 6. Posteriormente se utiliza las mismas condiciones ocupacionales en la edificación optimizada.

El siguiente paso es comparar el caso extremo con el caso extremo optimizado, donde se pretende observar los perfiles de temperatura de la edificación en situaciones extremas y ver como las diferentes estrategias de optimización pasiva afectan sus niveles de confort térmico.

## Capítulo 4: Resultados y Discusión

En la siguiente sección se presentan los resultados del proyecto, estos se encuentran en el orden descrito previamente en la metodología. Comenzando por los datos de entrada necesarios para realizar la primera simulación, hasta los resultados de los análisis energéticos donde posteriormente van a ser discutidos para poder tener conclusiones y recomendaciones concretas y determinar si lograron cumplir los objetivos planteados al inicio del informe. Se puede ver una comparación del diseño 3D de la edificación con una foto real del coliseo de la Universidad San Francisco (Figura 15, Figura 16).



*Figura 15. Coliseo de la Universidad San Francisco de Quito en DesignBuilder*



*Figura 16. Coliseo de la Universidad San Francisco de Quito*

*Foto Real*

Siguiendo el orden de la metodología se presenta la definición del caso base y la configuración del modelo energético en DesignBuilder. Para el levantamiento de datos se tiene los horarios de utilización de cada zona y la densidad ocupacional (Tabla 9).

Horario	Semestre		Verano		Vacaciones
	Lunes-Viernes	Sábado y Domingo	Lunes-Viernes	Sábado y Domingo	Todos
6:00	20	10	20	5	0
7:00	30	12	30	6	0
8:00	60	30	30	15	0
9:00	70	35	40	15	0
10:00	100	40	50	20	0
11:00	100	40	50	20	0
12:00	100	50	50	25	0
13:00	80	50	40	25	0
14:00	100	30	50	15	0
15:00	100	30	50	15	0
16:00	100	20	50	10	0
17:00	100	20	50	10	0
18:00	100	0	40	0	0
19:00	80	0	40	0	0
20:00	60	0	30	0	0
21:00	40	0	25	0	0
22:00	20	0	10	0	0

*Tabla 9. Horarios de ocupación y densidad ocupacional cancha principal*

Con los datos de la encuesta y los cálculos de la sección 3.3.1 se determinó que el rango de confort térmico es desde 21 grados centígrados con 50% de humedad hasta 25 grados centígrados con un 50% de humedad. Posteriormente, se presenta la tasa mínima de renovación de aire, la iluminación y las actividades para cada sección del coliseo (Tabla 10). El índice de arropamiento que se utilizó fue de 0.60clo en todas las simulaciones. Posteriormente se presenta la tasa metabólica de las actividades realizadas en el coliseo que es de  $300 \text{ W/m}^2$  y que el índice de arropamiento que se utilizó en la simulación es de 0.4 (CLO).

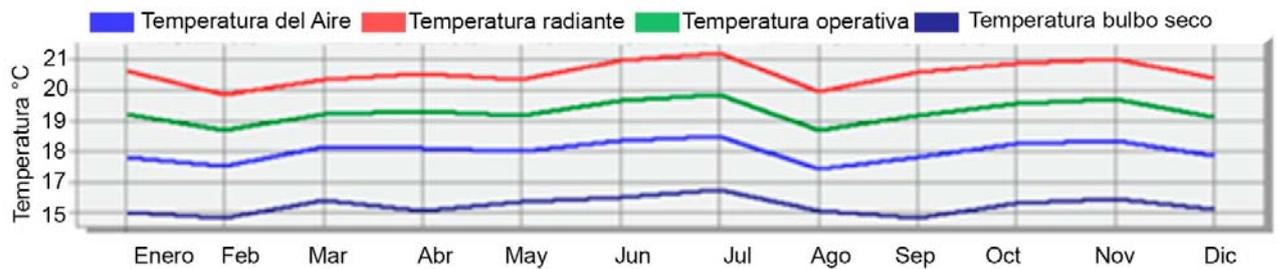
Zona	Descripción	Densidad ocupacional (personas/m <sup>2</sup> )	Actividades	Iluminación(lux)	Minimum Fresh air(l/s-person)
Primera planta	Baños	0.27	Parados/caminando	200	12
Primera planta	Bodega	0	Bodega/vacío	50	10
Primera planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10
Primera planta	Circulación oficina	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Circulación lateral	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Graderíos	3	Sentados	200	10
Primera planta	Gym	0.1	Ejercicio/deporte	300	10
Primera planta	Lockers	0.11	Circulación	100	10
Primera planta	Oficina	0.103	Sentado/Oficina	300	10
Primera planta	Tae kwon do	0.1	Ejercicio/deporte	300	10
Segunda planta	Bodega 1	0	Bodega/vacío	50	10
Segunda planta	Bodega 2	0	Bodega/vacío	50	10
Segunda planta	Graderíos superiores	1	Sentados	200	10
Segunda planta	Oficina	0.103	Sentado/Oficina	300	10
Segunda planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Segunda planta	Circulación oficina	0.11	Circulación	100	10
Segunda planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10
Segunda planta	Circulación principal	0.11	Circulación	100	10
Tercera planta	Cancha principal	3	Ejercicio/deporte	300	10

*Tabla 10. Densidad ocupacional, actividades, iluminación y tasa de renovación de aire por zona de la edificación*

### *Simulaciones caso base, caso optimizado y casos extremos*

Tras realizar la simulación del caso base se puede ver que existen condiciones extremas en la edificación. El primer dato sobresaliente es que existen 2363 horas fuera del rango de confort térmico a lo largo de todo el año y 2776 horas en la cancha principal, esto equivale a 7.6 horas diarias donde la temperatura se encuentra fuera del rango de 21 a 26 grados centígrados con un 50% de humedad relativa. Para motivos de análisis se van a tomar en cuenta los datos de la cancha principal, ya que es la zona con el mayor número de horas fuera del rango de confort (Anexo 5). El problema de analizar las horas fuera del rango de confort térmico de toda la edificación es que el dato que muestra el

programa es un promedio de todas las zonas, por lo que no es representativo para este análisis. El promedio anual de temperatura operativa de la edificación para el caso base es de 19.28 grados centígrados, donde Julio es el mes más caliente como se puede ver en la Figura 17.

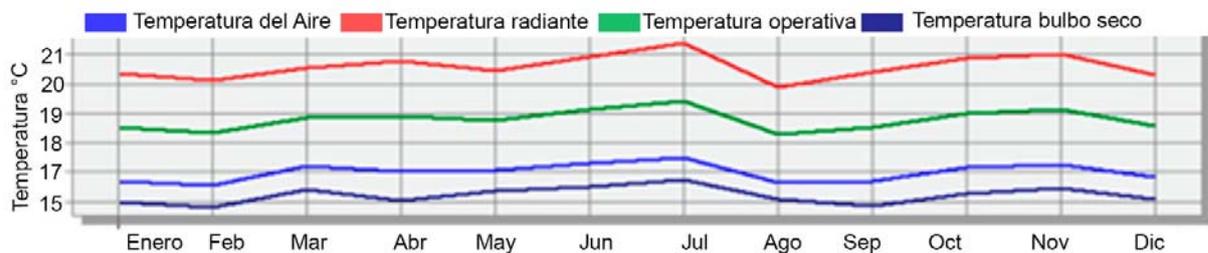


*Figura 17. Temperatura mensual durante un año caso base*

El siguiente paso fue realizar una simulación donde se aplicaron las 3 diferentes estrategias de optimización presentadas en la tabla 6 donde se obtuvo de resultado 2043 horas fuera del rango de confort en un año para toda la edificación y 1997 horas en la cancha principal (ANEXO 5). Además el promedio de temperatura a lo largo de todo el año es de 18.78 grados centígrados y como se puede ver en la Figura 18 el mes más caliente sigue siendo Julio.

En este caso el número de horas fuera del rango de confort para la cancha principal fue menor que el número de horas fuera del rango de confort de toda la edificación. Esto sucede porque el aislante que se utilizó en la optimización de materiales no permite el paso de calor hacia el interior de la edificación entonces

la cancha principal va a reducir su temperatura (Figura 18).



*Figura 18. Temperatura mensual durante un año caso optimizado*

Comparando el Figura 17 y la Figura 18 se puede ver que la tendencia en los picos máximos y mínimos de temperatura es la misma. Se puede ver que los gradientes de temperatura de la Figura 18 (caso optimizado) son bastante menores que los de la Figura 17 (caso base). Este resultado es el esperado ya que los nuevos materiales de la edificación no permiten que se den temperaturas extremadamente altas o bajas, adicionalmente el promedio de temperatura de todo el año en el caso optimizado es de medio grado centígrado más bajo comparado con el caso base, lo que demuestra que hay un cambio notable en las temperaturas horarias.

Una observación importante es que las distintas temperaturas que se ven en la Figura 17 y en la Figura 18 son referenciales para motivos de comparación entre un modelo y otro, pero al ser temperaturas promedio de todas las horas del día no pueden ser utilizadas para determinar si un mes es más confortable que otro. Por ejemplo si se tiene en la mañana una temperatura de 11 grados centígrados y al medio día una temperatura de 31 grados centígrados su promedio es de 21 grados centígrados (temperatura dentro de los rangos de confort), donde

claramente se observa que en ninguna de esas dos horas se estuvo a una temperatura confortable. Mientras que si se tiene 21 grados centígrados en la mañana y 21 grados centígrados al medio día el promedio es exactamente igual, pero tanto en la mañana como al medio día las temperaturas son confortables.

El siguiente paso fue seleccionar la semana más caliente del año, que fue desde el 4 al 11 de Junio, para poder observar cómo se comporta la temperatura cada hora durante los siete días. En la Figura 19 se puede ver el perfil de temperatura para el caso base, mientras que en la gráfica 8 se pueden ver los perfiles de temperatura para el caso optimizado. A simple vista se puede apreciar como los gradientes de temperatura de la gráfica 8 son menores comparados a la gráfica 7. Además se observa que la temperatura en el caso optimizado (Figura 20) tiene una tendencia más lineal que la temperatura en el caso base (Figura 19). Otro resultado notable es que el promedio de temperatura de la semana del 4 al 11 de junio para el caso base es de 19.9 grados centígrados, mientras que para el caso optimizado es de 19.8 grados centígrados. Estos resultados demuestran una vez más que los promedios de temperatura no son datos referenciales para el análisis de temperatura de confort térmico.

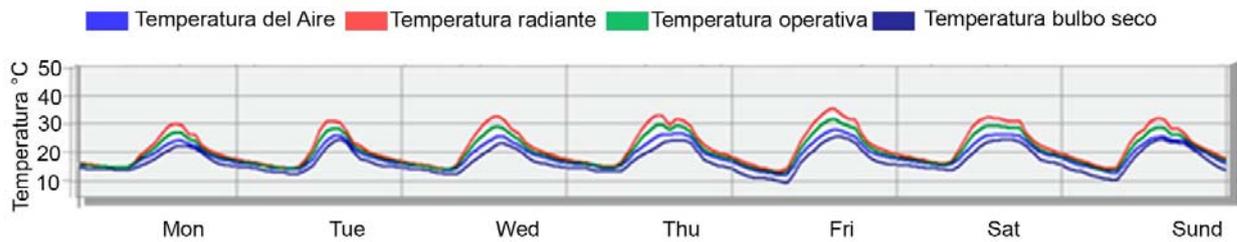


Figura 19. Perfil de distribución de temperatura diario durante la semana del 4 al 11 de Junio (Caso Base)

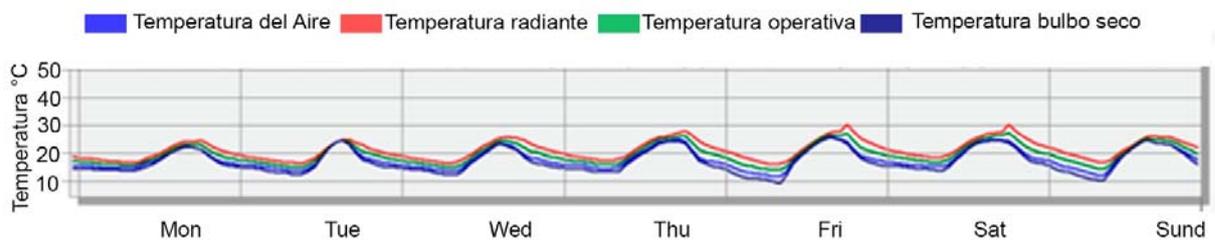


Figura 20. Perfil de distribución de temperatura diario durante la semana del 4 al 11 de Junio (Caso Optimizado)

Para apreciar mejor los perfiles de distribución de temperatura se realizó una tabla comparativa sobre las horas que la edificación pasa a diferentes temperaturas (Tabla 11). La primera observación es que para el caso base la temperatura va desde 12°C hasta 31°C, mientras que para el caso optimizado la variación de temperatura es solo desde 13°C a 27°C demostrando una mejora importante en los rangos de temperatura. Otra observación que se puede hacer es que el promedio de horas dentro del rango de temperatura de confort térmico para el caso base es de 42 horas mientras que para el caso optimizado es de 67 horas en una semana. Se puede ver que si bien siguen existiendo horas fuera del rango

de temperatura de confort térmico, en su mayoría estas se encuentran por debajo de los 21°C que para el caso que se está analizando es una condición aceptable ya que la mayor utilización que se le da al coliseo es para hacer deporte donde el cuerpo puede calentarse rápidamente.

Temperatura °C	Caso base (Horas)	Caso optimizado (Horas)
31	3	
30	5	
29	8	
28	14	
27	8	1
26	6	9
25	8	11
24	6	12
23	6	13
22	5	10
21	11	12
20	6	9
19	5	10
18	4	6
17	5	6
16	8	5
15	2	12
14	5	3
13	5	1
12	3	

*Tabla 11. Número de horas a diferentes temperaturas 4-11 de junio*



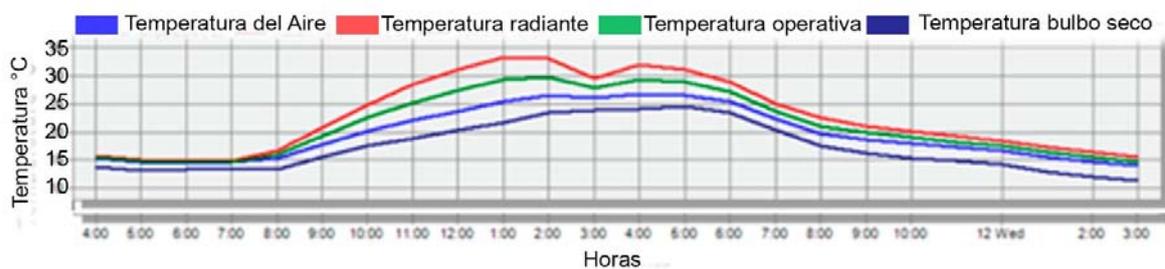
*Figura 21. Perfiles de temperatura diarios a lo largo del año  
caso optimizado*

Utilizando los perfiles de temperatura diarios a lo largo de todo el año selecciona el mes y día para realizar la simulación en condiciones extremas. El día seleccionado es el sábado 8 de Junio, es uno de los días más calientes del año y se encuentra dentro del calendario académico. Se puede ver en la Figura 21 los perfiles de temperatura diarios a lo largo del año para el caso optimizado.

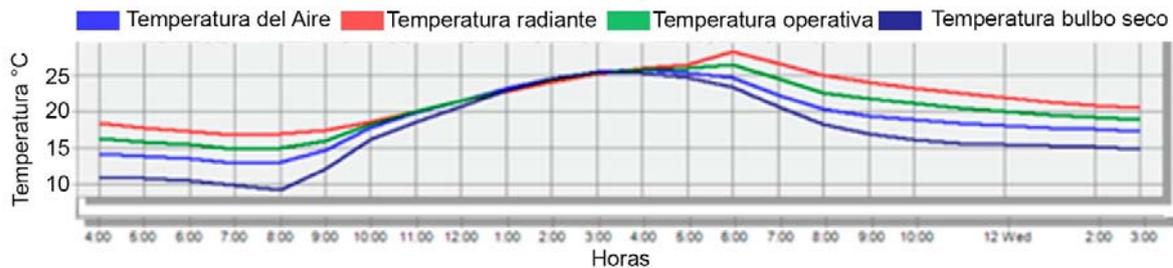
En el caso de estas simulaciones se modificó la densidad ocupacional del coliseo y se la configuró al 100%, es decir se indicó que el coliseo está a su máxima capacidad de funcionamiento. Debe tomarse en cuenta que la capacidad máxima de la edificación es de 256 personas realizando deporte. Se puede ver en la Figura 22 el perfil de temperatura para el día 8 de junio del caso base y en la Figura 23 el perfil de temperatura para el caso optimizado durante el mismo día.

Comparando las dos gráficas se observa que en el caso base la temperatura operativa supera los 30 grados centígrados, mientras que en el caso optimizado supera a penas los 25 grados centígrados. Otra observación es que en el caso base la temperatura comienza a estabilizarse alrededor de los 15 grados

centígrados (cuando la pendiente de la temperatura operativa tiende a cero), mientras que en el caso optimizado la temperatura se estabiliza cerca de los 20 grados centígrados demostrando como las diferentes estrategias aplicadas en el rediseño de la envolvente rechazan el calor innecesario presentado por la radiación del sol y a su vez conservan la temperatura del día para evitar que en la noche se alcancen temperaturas extremadamente bajas.



*Figura 22. Perfil horario de temperatura  
Sábado 8 de Junio caso base*



*Figura 23. Perfil horario de temperatura  
Sábado 8 de Junio caso optimizado*

## Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Se redujo el número de horas fuera de la zona de confort para el coliseo de la Universidad San Francisco de Quito, pasando de 2776 horas para el caso base a 1997 horas para el caso optimizado. Esto se logró aplicando diferentes estrategias para el diseño eficiente de edificaciones.
- En base a la revisión bibliográfica y a la investigación de campo se pudo realizar el modelado de la edificación en DesignBuilder.
- Comparando el caso base con el caso optimizado se apreció la reducción en los gradientes de la temperatura a lo largo de todo el año, beneficiando de manera sustancial el confort térmico cuando se utiliza el coliseo en condiciones extremas.
- Se identificó que el principal problema de diseño en la edificación se encuentra en los materiales del techo, estos absorben el calor de la radiación solar aumentando drásticamente la temperatura operativa en el interior del coliseo. Además se pudo observar como ciertas estrategias de optimización influyen más que otras, como por ejemplo el modificar las paredes y realizar nuevas ventanas para optimizar la circulación de aire no tienen tanta importancia como mejorar los materiales del techo. Esto se puede apreciar en el Anexo 7 en el que se incluyen gráficos de los resultados de diferentes simulaciones.

- Debe tomarse en cuenta lo importante que es seleccionar materiales adecuados para cada situación en base a sus propiedades físicas y químicas, ya que estos son una parte fundamental en el confort térmico y en la eficiencia energética de las edificaciones.
- Se puede ver como las diferentes estrategias son aplicables al caso base ya que no presentan dificultad en el momento de la instalación. Estos cambios propuestos no modifican visualmente la estructura de la edificación.
- Se obtuvo un archivo climático de la zona para poder realizar la simulación energética con datos reales. Además se demostró la importancia de utilizar un archivo climático con datos reales vs los archivos climáticos que incluye en el software.
- Se lograron establecer los rangos de confort térmico en base a las normas ANSI/ASHRAE 55, ISO 7730 y la INEN 1126.
- En base a los resultados de la optimización de materiales se establece que el Coliseo de la Universidad San Francisco puede presentar condiciones de confort térmico incluso en situaciones donde se lo utiliza al 100%.
- El archivo climático generado durante el proyecto y la experiencia en el análisis de las diferentes estrategias pasivas de climatización, pueden aplicarse en diferentes proyectos de eficiencia energética de edificaciones tanto de la Universidad San Francisco de Quito como de la zona climática de Cumbayá, siendo esta una contribución no solo para la comunidad investigativa sino también para el sector de la construcción en general.

## 5.2 Recomendaciones

- Al momento de realizar un análisis energético hay que saber interpretar las horas fuera del rango de confort que presenta el software DesignBuilder, ya que este dato es netamente representativo. Para obtener resultados confiables sobre el confort térmico en el modelo hay que tomar en cuenta los resultados los resultados de temperatura y los cambios en la humedad relativa. Además es recomendable realizar perfiles térmicos donde se indique el cambio horario de temperatura, para saber con certeza cómo se comporta el modelo.
- El momento de observar los resultados en DesignBuilder es importante analizarlos en cada zona, ya que el resultado global de la edificación es un promedio de resultados de todas las zonas.
- Para diseñar el modelo 3D de una edificación es importante ingresar los datos de manera organizada y siempre ingresar esta información en forma de plantillas, ya que si se ingresa los datos directamente es muy posible que el rato de realizar cambios sucedan errores en la simulación. Adicionalmente se aconseja diseñar utilizando el menor número de bloques posibles y no dibujar detalles innecesarios en el modelo por que puede causar que el software se demore demasiado tiempo simulando.
- Se recomienda utilizar los archivos climáticos del software para solo para fines educativos o representativos ya que estos datos son bastante generales por lo que los resultados pueden variar en gran cantidad a la situación real.

- Si se desea aplicar sistemas de ventilación artificial se recomienda en todos los casos aplicar estrategias para la optimización energética a priori para poder minimizar las exigencias energéticas que debe suplir el sistema y también reducir su consumo energético.

## Bibliografías

- Agency, U. E. (2003). *A standarized EPA protocol for Characterizing Indor Air Quality In Large Office Buildings*. Washington : U.s Government.
- ANSI/ASHRAE. (1994). Standard Ansi/Ashrae 55. *ANSI/ASCHRAE*, 15-16.
- Arellano, I. (2015). Desarrollo de construcciones sustentables en el Ecuador [Grabado por Arellano]. Quito , Pichincha, Ecuador.
- Art, J. (22 de April de 2015). *Design Builder* . Obtenido de Design Builder : <http://www.designbuilder.es/>
- Boswell, P. (2004). Procurement and process design. *FIDIC and Lorna Walker Consulting*, 5-6.
- Carter, J. (2011). Cost per square foot 'spin'. 55.
- CDS. (2008). The House that Harold Built. *CDS Review*, 101.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. México D.F.: McGraw-Hill.
- CIBSE. (2004). *Energy efficiency in buildings*. London : The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Clauser, C. (1997). Geothermal energy use in Germany -- status and potential. *Geothermics*, 26(2), 203. *Geothermics*, 203.
- energy, U. D. (01 de April de 2015). *Energy Plus* . Obtenido de Energy Plus : <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- EnergyPlus. (2014). *EnergyPlus Engineering Reference*. Illinois: The Board of Trustees of the University of illinois and Regents of the University of california.
- Google. (20 de January de 2015). *Google maps*. Obtenido de Google maps: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1971314,-78.4358195,19z>
- López. (2011). Integración de sistemas de refrigeración solar en redes de distrito de frío y de calor . *Universitar Rovira Virgil* , 158-159.
- López, C. (2008 ). *Guía de eficiencia energética en instalaciones deportivas*. Madrid : Comunidad de madrid.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (30 de Abril de 2013). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-aplica-estrategia-para-conservacion-del-condor-andino/>

- Natasa Djuric, V. N. (2007). Optimization of energy consumption in buildings with hydronic heating system considering thermal confort by use of computer based tools. *Science Direct* , 471-477.
- Newton, J. (2009). Climate change, another hurdle for older generation. *Gerodontology*, 243-244.
- NTE INEN 1126. (1984). Quito: Gobierno del Ecuador.
- Ogoloma, & C.O.C, O. (2011). Generation of a typical meteorological year for port hartcourt zone. *University of Port Harcourt*, 1-11.
- Plus, E. (2013). *Auxiliary EnergyPlus Programs* . Illinois: The board of the University of Illinois and the regents of the University of California .
- Proaño, G. (2006). Proyecto de factibilidad para la creación del restaurante cultural de especialidad de la sierra central y costa sur en la parroquia de cumbayá. *Universidad Tecnológica Equinoccial*, 7-8.
- Republic, D. B. (15 de Abril de 2015). *About us: Design Builder*. Obtenido de Design Builder : [www.designbuilder.cz](http://www.designbuilder.cz)
- Shahin Vassigh, E. O. (2013). Best practices in sustainable building design. En E. O. S Vassigh, *Best practices in sustainable building design* (págs. 5-6). Chicago: Ross Publishing.
- Silva, P. (2015). Futuro de las normas gubernamentales [Grabado por P. Silva]. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Straughn Trout Architects, L. (20 de April de 2015). *Straughn Trout Architects, L.L.C*. Obtenido de Straughn Trout Architects, L.L.C: <http://www.straughntrout.com/magnify>
- Vassig, S. (2003). *Best practices in sustainable building design* . Chicago .
- Vassigh, S., Ozer, E., & Spiegelhater, T. (2013). Best practices in sustainable building design. En *Best practices in sustainable building design* (págs. 105-106). Chicago: Ross Publishing.
- Wolfgang. (17 de February de 2015). *About Us: Energy Strategies for sustainable Development*. Obtenido de Energy Strategies for sustainable Development: <http://www.energy-strategies.org/en/projects/36-general3/139-normas-de-eficiencia-energetica-en-chile-y-mexico>

**Anexos:**

**Anexo 1**  
**Tasas metabólicas**  
**y**  
**CLO**

## NORMATIVE APPENDIX A—ACTIVITY LEVELS

### Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Met Units	Metabolic Rate	
		W/m <sup>2</sup>	(Btu/h-ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
<b>Walking (on level surface)</b>			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
<b>Office Activities</b>			
Seated, reading, or writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
<b>Driving/Flying</b>			
Automobile	1.0-2.0	60-115	(18-37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>			
Cooking	1.6-2.0	95-115	(29-37)
House cleaning	2.0-3.4	115-200	(37-63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
<b>Machine work</b>			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0-2.4	115-140	(37-44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0-4.8	235-280	(74-88)
<b>Miscellaneous Leisure Activities</b>			
Dancing, social	2.4-4.4	140-255	(44-81)
Calisthenics/exercise	3.0-4.0	175-235	(55-74)
Tennis, single	3.6-4.0	210-270	(66-74)
Basketball	5.0-7.6	290-440	(92-140)
Wrestling, competitive	7.0-8.7	410-505	(129-160)

### Clothing Insulation Values for Typical Ensembles<sup>a</sup>

Clothing Description	Garments Included <sup>b</sup>	$I_{cl}$ (clo)
<b>Trousers</b>	1) Trousers, short-sleeve shirt	0.57
	2) Trousers, long-sleeve shirt	0.61
	3) #2 plus suit jacket	0.96
	4) #2 plus suit jacket, vest, T-shirt	1.14
	5) #2 plus long-sleeve sweater, T-shirt	1.01
	6) #5 plus suit jacket, long underwear bottoms	1.30
<b>Skirts/Dresses</b>	7) Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals)	0.54
	8) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip	0.67
	9) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, long-sleeve sweater	1.10
	10) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, suit jacket	1.04
	11) Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket	1.10
<b>Shorts</b>	12) Walking shorts, short-sleeve shirt	0.36
<b>Overalls/Coveralls</b>	13) Long-sleeve coveralls, T-shirt	0.72
	14) Overalls, long-sleeve shirt, T-shirt	0.89
	15) Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear tops and bottoms	1.37
<b>Athletic</b>	16) Sweat pants, long-sleeve sweatshirt	0.74
<b>Sleepwear</b>	17) Long-sleeve pajama tops, long pajama trousers, short 3/4 length robe (slippers, no socks)	0.96

a Data are from Chapter 8 in the 2001 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

b All clothing ensembles, except where otherwise indicated in parentheses, include shoes, socks, and briefs or panties. All skirt/dress clothing ensembles include pantyhose and no additional socks.

## NORMATIVE APPENDIX A—ACTIVITY LEVELS

### Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Met Units	Metabolic Rate	
		W/m <sup>2</sup>	(Btu/h-ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
<b>Walking (on level surface)</b>			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
<b>Office Activities</b>			
Seated, reading, or writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
<b>Driving/Flying</b>			
Automobile	1.0-2.0	60-115	(18-37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>			
Cooking	1.6-2.0	95-115	(29-37)
House cleaning	2.0-3.4	115-200	(37-63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
<b>Machine work</b>			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0-2.4	115-140	(37-44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0-4.8	235-280	(74-88)
<b>Miscellaneous Leisure Activities</b>			
Dancing, social	2.4-4.4	140-255	(44-81)
Calisthenics/exercise	3.0-4.0	175-235	(55-74)
Tennis, single	3.6-4.0	210-270	(66-74)
Basketball	5.0-7.6	290-440	(92-140)
Wrestling, competitive	7.0-8.7	410-505	(129-160)

## **Anexo 2**

### **Encuesta confort térmico**

### Encuesta de confort térmico

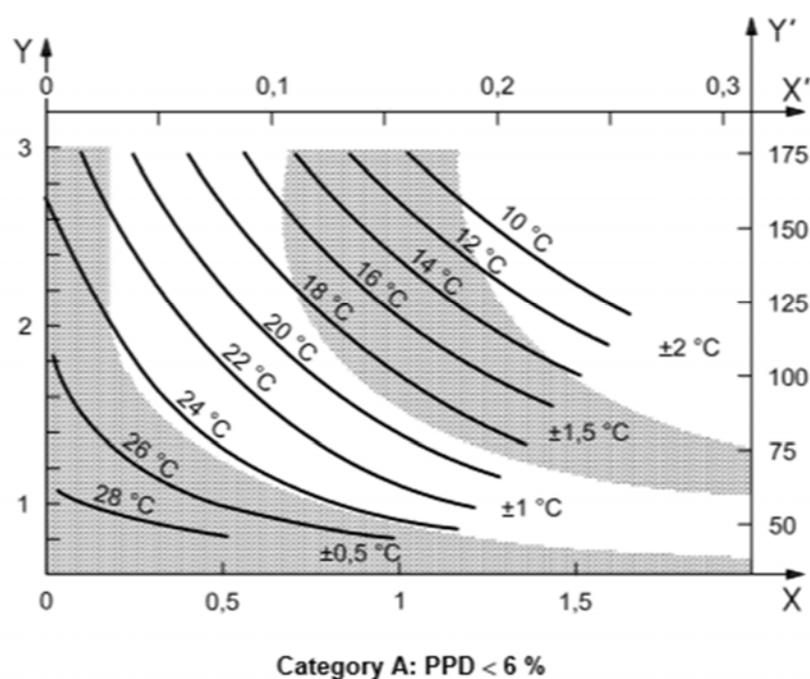
Fecha: _____ / Abril / 2015 Hora: _____ Género: <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino		<b>NO LLENAR ESTE RECUADRO</b>  # Encuesta:  Temperatura externa:  Temperatura Interna:  CLO:
Cielo: <input type="checkbox"/> Claro <input type="checkbox"/> <del>Semi-nublado</del> <input type="checkbox"/> Nublado		
Actividad: <input type="checkbox"/> Deporte <input type="checkbox"/> Sentado <input type="checkbox"/> Oficina Otra: _____		
<b>Sensación temperatura</b> <input type="checkbox"/> Calor Insoportable <input type="checkbox"/> Bastante calor <input type="checkbox"/> Calor soportable <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Frio Soportable <input type="checkbox"/> Frio <input type="checkbox"/> Frio Insoportable	<b>Percepción</b> <input type="checkbox"/> Completamente <input type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/> Poco <del>inacep</del> <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Poco Aceptable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Completamente	<b>Olor:</b> <input type="checkbox"/> Completamente inaceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/> Poco inaceptable <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Poco Aceptable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Completamente aceptable
<b>Cantidad del aire:</b> <input type="checkbox"/> Completamente inaceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/> Poco inaceptable <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Poco Aceptable <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Completamente aceptable		<b>Zona:</b> <input type="checkbox"/> Cancha Principal <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Tae Kwon Do <input type="checkbox"/> Graderíos <input type="checkbox"/> Oficina <input type="checkbox"/> Baños <input type="checkbox"/> Otro _____

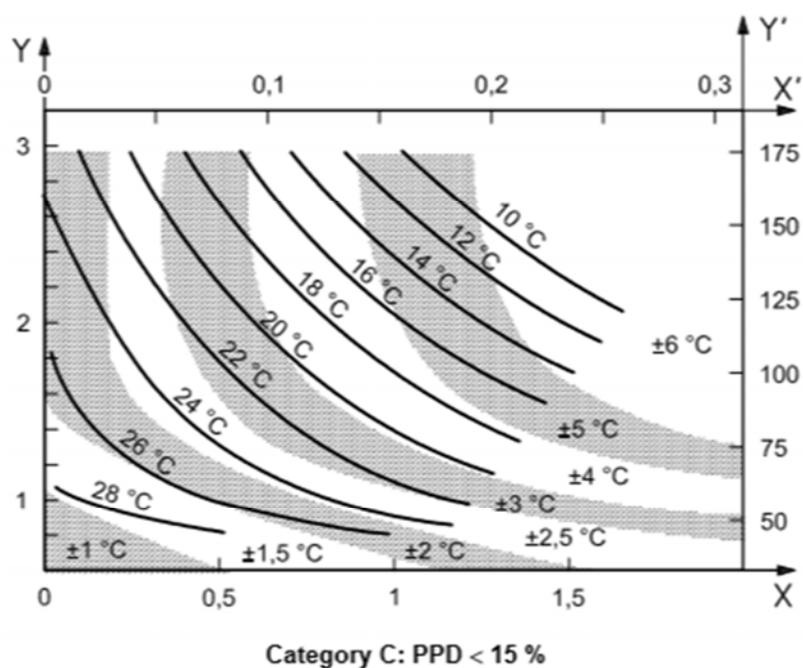
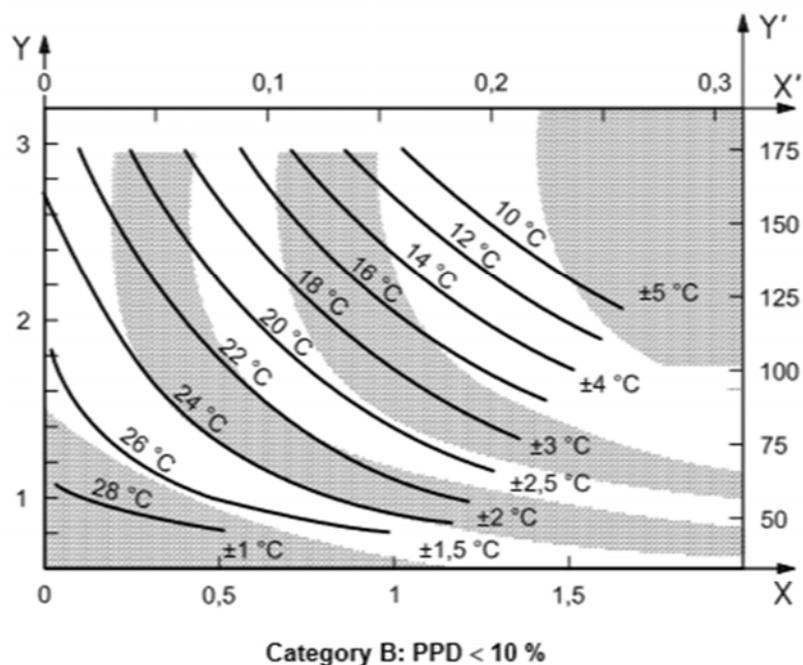
**Anexo 3**  
**Gráficas confort térmico**  
**Norma ISO 7730**

### A.3 Local thermal discomfort

Figure A.2 give ranges for local thermal discomfort parameters for the three categories presented in Table A.1.

The max. allowable mean air velocity is a function of local air temperature and turbulence intensity. The turbulence intensity may vary between 30 % and 60 % in spaces with mixed-flow air distribution. In spaces with displacement ventilation or without mechanical ventilation, the turbulence intensity may be lower.





The diagrams also show the range around the optimum temperature for the three categories.

**Key**

- PPD predicted percentage dissatisfied, %
- X basic clothing insulation, in clothing units, (clo)
- X' basic clothing insulation, in clothing units,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- Y metabolic rate, in metabolic units, (met)
- Y' metabolic rate, in metabolic units,  $W/m^2$

**Figure A.1 — Optimum operative temperature as function of clothing and activity**

**Anexo 4**  
**Script para archivo .epw**



**Anexo 5**

**Horas fuera del rango de confort del Caso**

**Base vs Caso Optimizado**

Descripción	Horas fuera del rango de confort Caso Base	Horas fuera del rango de confort Optimizado
Baños	2038	2031
Bodega	1925	1956
Cancha principal	2775	1997
Circulación oficina	827	888
Circulación lateral	676	666
Circulación principal	650	667
Graderios	2319	2200
Gym	2209	2100
Lockers	687	660
Oficina	1810	1800
Tae kwon do	2162	2100
Bodega 1	826	750
Graderios superiores	2295	2007
Oficina	1256	902

**Anexo 6**  
**Año Típico**  
**(Enero)**

month	day	time	T	RH	GHR	PREASURE	WS	WD
1	1	0	13.94	89.58	0	770060	1.23	48.33
1	1	1	13.81	90.08	0	770010	1.46	44.64
1	1	2	13.75	89.38	0	770000	0.93	87.65
1	1	3	13.57	89.25	0	769270	1.11	47.38
1	1	4	13.09	86.08	0	768560	1.07	55.58
1	1	5	13.04	85.01	0	769190	0.75	102.01
1	1	6	12.55	89.81	0	770000	0.96	110.76
1	1	7	12.87	87.27	26.1	770030	0.84	88.59
1	1	8	14.58	81.45	245.58	771200	0.7	313.7
1	1	9	16.99	69.01	613.3	771470	1.18	79.58
1	1	10	19.02	57.75	538.11	770230	1.3	85.08
1	1	11	19.79	51.61	909.53	770000	1.57	3.34
1	1	12	21.77	42.29	1085.98	768840	1.8	25.32
1	1	13	22.06	44.43	1091.16	768210	2.68	10.49
1	1	14	22.37	44.37	1017.13	767340	3.52	22.77
1	1	15	21.78	46.29	868.89	766410	4.31	33.73
1	1	16	21.03	50.66	641.16	766410	4.36	30.6
1	1	17	19.23	58.95	255.68	766700	4.02	35.34
1	1	18	17.36	69.57	43.93	768150	3.62	30.61
1	1	19	15.99	77.74	0.67	768210	2.4	32.53
1	1	20	15.22	83.23	0	769430	1.2	342.34
1	1	21	14.84	85.55	0	770010	1.01	344.46
1	1	22	14.11	89.59	0	770030	1.36	18.09
1	1	23	14.14	89.85	0	770110	0.83	353.19
1	2	0	14.19	91.51	0	770020	0.84	356.28
1	2	1	13.86	94.53	0	770010	1.21	359.01
1	2	2	13.74	94.9	0	769840	0.86	8.07
1	2	3	13.55	95.46	0	768220	0.83	72.94
1	2	4	13.41	95.96	0	768210	0.9	353.55
1	2	5	13.45	95.88	0	768210	1.04	1.86
1	2	6	13.25	97.53	0	768820	1.25	15.61
1	2	7	13.31	97.14	22.2	769960	0.95	5.04
1	2	8	13.75	94.58	129.04	770120	1.34	37.63
1	2	9	15.18	87.49	350.9	770230	1.46	359.66
1	2	10	17.04	75.19	439.77	770120	1.27	351.86
1	2	11	18.74	63.49	1087.57	770010	2.24	48.53
1	2	12	19.9	55.14	1016.21	769290	2.34	9.98
1	2	13	20.78	52.98	1102.79	768210	2.8	13.23
1	2	14	20.82	53.29	886.53	767600	3.75	21.53
1	2	15	20.62	54.52	844.04	766440	4.37	21.32
1	2	16	19.45	57.99	387.62	766410	4.42	36.61
1	2	17	17.68	66.59	96.46	766410	4.03	33.49
1	2	18	16.25	75.83	9.77	767050	3.25	42.16
1	2	19	14.92	83.96	0	768170	2.18	5.12

1	2	20	13.95	91.45	0	768210	1.57	357.69
1	2	21	13.58	94.68	0	769290	1.33	356
1	2	22	13.26	93.63	0	770000	1.51	6.47
1	2	23	12.68	96.95	0	770010	1.47	15.55
1	3	0	12.37	97.99	0	770010	2.6	21.31
1	3	1	12.35	98.83	0	770010	0.72	125.32
1	3	2	12.55	97.17	0	769300	0.74	175.65
1	3	3	12.74	95.34	0	768220	0.8	311.32
1	3	4	12.39	97.24	0	768220	0.63	44.55
1	3	5	12.18	98.04	0	768210	1.38	283.28
1	3	6	12.23	98.21	0	768280	1.21	6.31
1	3	7	12.23	97.95	3.08	769650	0.97	23.04
1	3	8	12.67	95.46	43.41	770010	0.9	68.53
1	3	9	13.33	92.25	164.23	770010	1.33	0.77
1	3	10	13.56	90.62	135.24	770140	1.96	0.12
1	3	11	14.35	85.86	304.86	770070	2.08	359.54
1	3	12	14.75	81.78	209.72	770010	2.18	7.65
1	3	13	15.37	78.84	320.36	770000	1.4	350.59
1	3	14	16.67	69.26	290.27	768780	0.86	351.81
1	3	15	16.49	70.17	257.31	768210	1.45	6
1	3	16	15.36	77.18	132.54	768210	2.64	18.6
1	3	17	14.47	82.34	21.12	768200	2.1	25.46
1	3	18	13.24	90.81	6.04	768210	2.29	30.17
1	3	19	12.6	93.75	0	768210	2.27	20.86
1	3	20	12.51	92.88	0	769270	1.44	25.91
1	3	21	12.71	91.21	0	770010	1.12	7.26
1	3	22	12.66	91.88	0	770030	1.07	14.77
1	3	23	12.49	93.48	0	770160	0.86	350.38
1	4	0	12.19	95.85	0	770460	0.43	41.26
1	4	1	12.1	97.13	0	770020	0.54	249.59
1	4	2	11.93	98.42	0	770010	0.48	207.13
1	4	3	11.92	98.26	0	769860	0.42	137.97
1	4	4	11.93	98.28	0	769110	0.4	269.02
1	4	5	11.86	98.55	0	768850	0.34	138.39
1	4	6	11.93	97.98	0	769540	0.49	349.2
1	4	7	11.92	99.08	6.72	770010	0.3	170.66
1	4	8	12.6	95.68	126.3	770010	0.6	312.75
1	4	9	14.92	80.97	584.91	770010	1.33	41.11
1	4	10	16.69	68.88	544.94	770010	1.31	34.85
1	4	11	18.22	60.96	832.69	770010	1.47	18.06
1	4	12	20.01	52.74	996.6	769650	1.87	8.17
1	4	13	19.94	54.54	698.68	768300	2.84	7.49
1	4	14	18.98	60.4	324.39	768210	3.05	8.7
1	4	15	17.89	68.35	334.61	768150	3.79	47.48
1	4	16	16.72	71.99	212.57	768080	4.71	15.3

1	4	17	15.06	80.25	71.65	768210	3.15	57.14
1	4	18	13.61	84.97	19.52	768250	2.41	247.02
1	4	19	13.16	86.78	0.42	768650	1.16	197.02
1	4	20	13.73	85.25	0	769610	0.89	359.18
1	4	21	13.27	88.97	0	770010	0.94	34.04
1	4	22	12.82	90.96	0	770020	0.56	140.68
1	4	23	12.38	93.06	0	770410	0.76	229.15
1	5	0	12.27	93.31	0	770430	0.79	131.28
1	5	1	12.13	94.23	0	770030	0.93	188.71
1	5	2	11.98	95.26	0	770010	0.77	195.37
1	5	3	11.77	96.35	0	769480	0.71	104.25
1	5	4	10.89	97.47	0	768420	0.59	161.01
1	5	5	10.7	96.62	0	769310	0.54	72.21
1	5	6	11.21	94.73	0	770010	0.61	229.59
1	5	7	11.49	94.98	2.95	770010	1.12	148
1	5	8	12.1	88.71	71.41	770180	0.87	293.94
1	5	9	13.73	81.55	317.45	771050	1.05	14.96
1	5	10	16.8	65.19	467.6	771250	0.95	343.3
1	5	11	19	53.3	980.83	770110	1.41	90.35
1	5	12	20.03	49.62	1076.59	769930	1.79	356
1	5	13	21.17	46.85	924.57	768440	2.06	14.95
1	5	14	21.16	48.3	881.79	768170	2.43	18.26
1	5	15	20.98	54.35	797.59	766960	3.66	24.71
1	5	16	18.76	66.9	498.47	766440	3.82	34.28
1	5	17	18.51	67.29	420.98	766640	4.03	30.35
1	5	18	16.87	76.31	75.42	768080	3.1	18.57
1	5	19	15.22	87.25	0	768210	1.82	357.26
1	5	20	14.55	90.8	0	769260	1.63	16.51
1	5	21	14.15	91.5	0	770010	1.61	10.79
1	5	22	13.95	92.7	0	770060	1.56	31.93
1	5	23	13.76	93.67	0	770160	1.36	18.7
1	6	0	13.49	94.59	0	770320	1.34	357.32
1	6	1	13.58	93.8	0	770010	0.93	7.38
1	6	2	13.22	94.39	0	770010	1.56	12.45
1	6	3	12.95	95.8	0	769990	1.3	39.67
1	6	4	13.11	94.43	0	769930	1.16	39.81
1	6	5	13.26	92.77	0	769810	0.6	65.56
1	6	6	13.08	93.69	0	770000	1.42	12.31
1	6	7	12.9	94.74	0	770040	1.19	41.85
1	6	8	13.77	88.12	125.46	770830	0.98	8.13
1	6	9	15.73	75.4	355.19	771330	0.95	197.96
1	6	10	18.31	63.24	586.23	770270	1.22	350.11
1	6	11	19.33	57.05	908.12	770010	1.72	356.32
1	6	12	21.23	47.35	983.4	769430	1.74	357.65
1	6	13	21.77	44.02	737.68	768230	2.1	19.61

1	6	14	21.25	46.69	561.14	767990	2.33	7.62
1	6	15	21.64	46.76	573.09	766470	2.34	34.09
1	6	16	20.37	59.21	322.45	766410	3.54	31.69
1	6	17	17.44	72.28	54.64	766500	3.19	31.15
1	6	18	16.47	78.07	16.31	767950	1.95	26.28
1	6	19	14.66	92.73	0	768500	1.19	18.39
1	6	20	14.17	93.74	0	769880	1.28	305.27
1	6	21	13.9	93.17	0	770010	0.85	4.26
1	6	22	13.57	96.1	0	770400	0.89	1.31
1	6	23	13.52	96.89	0	770750	0.93	47.18
1	7	0	13.46	96.79	0	770520	0.99	359.79
1	7	1	13.48	97.21	0	770020	0.7	236.58
1	7	2	13.41	97.15	0	770010	0.8	13.37
1	7	3	13.02	96.91	0	769800	0.61	75.52
1	7	4	12.67	94.53	0	769560	0.94	7
1	7	5	12.27	93.14	0	769950	0.83	17.24
1	7	6	12.38	92.77	0	770010	0.63	61.03
1	7	7	12.64	93.71	11.49	770010	0.62	326.41
1	7	8	12.91	92	90.16	770010	0.59	111.56
1	7	9	13.81	87.36	207.14	770150	0.77	353.17
1	7	10	15.42	80	329.78	770120	0.69	308.36
1	7	11	16.47	73.59	333.62	770010	0.85	6.02
1	7	12	17.05	67.82	278.8	770010	1.12	19.97
1	7	13	17.34	66.28	243.44	769910	0.99	62.86
1	7	14	18.13	62.34	315.57	768330	0.95	80.41
1	7	15	18.46	59.31	297.97	767740	1.19	60.49
1	7	16	19.42	54.22	424.03	766410	1.26	134.14
1	7	17	19.34	54.86	281.62	766410	2.01	32.71
1	7	18	17.28	75.03	124.82	766630	2.82	6.69
1	7	19	15.17	85.39	1.49	767980	1.91	4.23
1	7	20	14.62	89.37	0	768210	0.79	355.05
1	7	21	14.35	91.58	0	769110	1.12	10.67
1	7	22	13.84	94.85	0	770010	1.71	27.06
1	7	23	13.19	98.91	0	770010	0.9	33.71
1	8	0	13.29	98.03	0	770010	0.63	54.48
1	8	1	13.13	97.46	0	769980	0.62	301.91
1	8	2	12.97	96.82	0	768780	0.57	26.8
1	8	3	12.87	97.77	0	768210	0.6	313.63
1	8	4	12.87	97.56	0	768210	0.63	347.16
1	8	5	12.86	98	0	768220	0.4	356
1	8	6	12.62	95.99	0	768740	0.6	121.19
1	8	7	12.34	95.91	9.24	769710	0.94	228.09
1	8	8	12.95	94.5	106.16	769980	0.83	76.02
1	8	9	14.69	83.66	440.01	770010	1.1	351.36
1	8	10	17.39	71.52	631.15	770000	1.08	5.92

1	8	11	18.21	66	451.5	769790	1.23	356
1	8	12	18.92	59.61	378.21	768640	1.08	351.34
1	8	13	20.75	54.76	843.16	768210	1.36	353.67
1	8	14	22.94	39.37	687.97	767100	1.21	37.48
1	8	15	22.18	46.83	572.19	766390	2.14	32.68
1	8	16	21.69	53.26	678.81	765810	3.56	24.58
1	8	17	18.5	71.63	235.35	766280	3.75	46.27
1	8	18	17.37	75.56	101.22	766410	3.62	31.45
1	8	19	15.34	86.75	0	767570	2.29	21.64
1	8	20	14.19	92.08	0	768210	2	31.45
1	8	21	14.22	90.61	0	769260	1.23	27.71
1	8	22	14.14	91.33	0	769990	1.26	61.58
1	8	23	14.03	92.15	0	770010	0.93	105.46
1	9	0	14.16	91.29	0	770010	1.06	95.4
1	9	1	13.98	93.96	0	769200	0.97	359.85
1	9	2	13.53	96.8	0	768210	1.13	352.17
1	9	3	13.59	95.65	0	768210	0.8	39.54
1	9	4	13.42	96.08	0	768210	0.58	109.42
1	9	5	13.39	96.27	0	768210	0.78	357.68
1	9	6	13.26	97.26	0	768250	0.54	126.03
1	9	7	13.35	96.87	5.67	769720	0.73	344.16
1	9	8	13.82	93.81	95.34	770010	0.89	355.75
1	9	9	14.73	88.76	257.73	770010	1.13	1.62
1	9	10	16.89	74.7	473.79	770010	1	356.63
1	9	11	19.16	63.49	662.55	769890	1.31	37.05
1	9	12	21.03	52.75	610.99	768520	1.05	358.87
1	9	13	21.2	49.18	364.77	768210	1.42	355.75
1	9	14	19.88	57.13	359.09	767610	2.13	17.95
1	9	15	20.28	56.9	531.79	766430	2.61	25.3
1	9	16	19.82	58.19	408.95	766410	3.13	41.61
1	9	17	18.39	66.49	147.58	766420	2.83	49.74
1	9	18	16.8	77.15	67.93	767270	1.8	46.05
1	9	19	15.4	84.11	0.59	768220	1.73	51.63
1	9	20	14.17	91.15	0	769340	1.68	56.66
1	9	21	14.05	92.76	0	770010	1.34	41.41
1	9	22	14.19	91.95	0	770050	1.23	44.01
1	9	23	14.18	91.82	0	770110	1.39	56.05
1	10	0	13.99	92.8	0	770010	1.08	37.18
1	10	1	13.71	94.04	0	770010	1.02	15.15
1	10	2	13.56	93.17	0	769920	1.16	19.99
1	10	3	13.22	95.05	0	768650	1.03	8.54
1	10	4	13.03	95.83	0	768210	1.02	345.41
1	10	5	12.99	94.94	0	768330	1.17	1.34
1	10	6	12.83	95.23	0	769860	1.18	13.06
1	10	7	12.97	93.84	12.27	770010	0.72	63.01

1	10	8	13.71	90.64	109.3	770020	1.06	350.34
1	10	9	15.07	82.98	220.46	770040	0.77	31.03
1	10	10	16.24	75.87	294.01	770020	0.99	21.57
1	10	11	17.31	69.9	357.52	770010	1.28	121.17
1	10	12	17.44	69.45	343.5	769830	1.71	127.24
1	10	13	19.19	62.31	645.17	768260	1.45	60.49
1	10	14	21.11	51.93	615.8	767060	1.88	23.15
1	10	15	20.33	54.18	433.9	766410	2.99	37.06
1	10	16	21.29	50.96	626.19	766400	2.24	32.49
1	10	17	21.36	48.92	354.59	766380	2.96	3.8
1	10	18	19.95	54.44	110.51	766410	2.58	29.19
1	10	19	16.4	77.79	2.46	767540	2.64	62.39
1	10	20	14.81	88.03	0	768240	1.97	64.93
1	10	21	14.42	89.98	0	769660	1.57	19.24
1	10	22	14.02	91.48	0	770010	1.89	58.66
1	10	23	13.93	91.47	0	770010	1.5	61.64
1	11	0	13.96	90.53	0	770010	1.11	79.05
1	11	1	13.77	91.83	0	770010	1.04	358.57
1	11	2	13.42	93.93	0	769820	0.91	17.75
1	11	3	13.35	93.5	0	768370	0.78	81.85
1	11	4	13.31	94.11	0	768210	0.79	289.3
1	11	5	13.22	94.6	0	768370	0.67	38.98
1	11	6	13.17	94.91	0	769890	0.76	357.96
1	11	7	13.2	94.74	10.89	770010	0.73	17.32
1	11	8	13.88	90.34	120.39	771380	1.2	14
1	11	9	15.72	79.71	355.02	771680	0.92	60.15
1	11	10	17.16	69.8	389.78	770980	1.35	116.11
1	11	11	18.66	62.56	496	770010	1.04	279.46
1	11	12	20.51	53.54	646.06	769120	1.35	30.81
1	11	13	21.27	50.86	573.3	768210	1.83	11.01
1	11	14	22.65	44.52	926.32	767440	1.86	359.07
1	11	15	23.32	40.91	646.98	766410	2.45	2.05
1	11	16	22.56	44.27	600.87	766350	3.63	1.17
1	11	17	22.91	43.3	429.59	766220	2.22	350.88
1	11	18	21.93	42.09	101.78	766390	1.76	2.24
1	11	19	18.78	58.96	0	766880	1.88	50.87
1	11	20	15.95	78.74	0	768210	1.59	86.35
1	11	21	14.43	88.63	0	769010	1.18	95.51
1	11	22	14.01	89.68	0	770010	1.01	99.43
1	11	23	13.74	89.4	0	769536.7	0.66	240.71
1	12	0	13.17	89.87	0	769280	0.73	240.36
1	12	1	12.77	89.89	0	769590	1.21	150.76
1	12	2	12.74	90.03	0	768240	1.31	226.05
1	12	3	12.05	90.91	0	768210	0.75	114.83
1	12	4	10.87	93.55	0	768210	0.79	129.31

1	12	5	11.25	92.27	0	768210	1.12	255.79
1	12	6	11.3	91.68	0	768320	1.23	116.56
1	12	7	11.1	91.39	7.34	769730	1.06	120.01
1	12	8	11.54	89.07	76.07	770010	1.35	208.68
1	12	9	12.65	83.95	353.39	770010	1.24	81
1	12	10	15.77	69.14	618.04	770010	1.25	19.12
1	12	11	19.72	51.49	862.07	769140	1.29	337.41
1	12	12	22.07	45.33	1072.83	768220	1.53	354.45
1	12	13	23.07	43.17	1105.38	767080	2.44	2.44
1	12	14	23.92	42.53	1037.49	766330	3.12	28.45
1	12	15	23.97	44.91	890.46	764850	3.67	22.03
1	12	16	23.14	51.56	621.39	764720	3.5	12.87
1	12	17	20.89	61.66	297.87	765940	3.45	33.84
1	12	18	18.51	70.83	32.89	766410	2.84	44.25
1	12	19	16.81	79.56	0.71	767690	2.01	22.32
1	12	20	15.67	85.56	0	768220	1.4	16.72
1	12	21	14.99	89.2	0	769500	1.56	23.36
1	12	22	14.6	90.68	0	770010	1.52	47.05
1	12	23	14.65	90.38	0	770010	1.22	100.2
1	13	0	14.74	89.99	0	770010	1.34	35.17
1	13	1	14.39	92.19	0	769950	1.3	20.38
1	13	2	14.24	92.2	0	768470	0.96	0.75
1	13	3	14.03	92.54	0	768210	0.89	21.98
1	13	4	13.84	92.59	0	768210	1.12	12.11
1	13	5	13.65	89.98	0	768210	0.82	26.38
1	13	6	13.47	87.78	0	769220	1.05	226.34
1	13	7	12.97	86.34	27.72	770010	0.89	197.63
1	13	8	14.04	80.4	196.7	770040	0.98	267.23
1	13	9	16.52	70.29	569.64	770040	1.08	20.52
1	13	10	18.87	57.91	648.55	770010	1.39	355.39
1	13	11	21.01	49.56	878.28	769820	1.51	3.16
1	13	12	23.09	39.52	1089.42	768310	1.65	343.4
1	13	13	25.01	30.83	1111.56	767710	1.87	12.23
1	13	14	25.44	32.61	1075.6	766420	3.05	19.77
1	13	15	24.12	41.56	869.86	766180	3.85	30.76
1	13	16	22.38	53.25	678.04	765800	4.19	44.05
1	13	17	20.28	62.67	319.87	766330	4.36	45.58
1	13	18	17.99	72.51	52.87	766490	3.6	51.81
1	13	19	16.59	78.41	0.24	768080	2.61	48.6
1	13	20	15.4	85.32	0	768630	2.01	42.29
1	13	21	15.03	87.68	0	770000	1.04	34.09
1	13	22	14.84	87.93	0	770010	1.81	19.99
1	13	23	14.59	87.75	0	770020	1.51	118.68
1	14	0	13.67	91.02	0	770010	1.18	89.86
1	14	1	13.38	91.81	0	770010	1.18	105.41

1	14	2	13.89	87.98	0	769980	0.98	74.94
1	14	3	13.77	87.99	0	769860	0.87	122.17
1	14	4	12.85	88.12	0	769840	0.74	145.8
1	14	5	12.1	90.98	0	769940	0.88	169.04
1	14	6	11.7	92.96	0	770000	0.93	31.56
1	14	7	10.98	90.9	34.03	770010	0.92	239.32
1	14	8	13.08	78.74	246.47	770030	0.75	40.62
1	14	9	15.55	70.13	573.98	770280	0.82	128.98
1	14	10	18.25	57.41	686.38	770010	1.18	7.79
1	14	11	21.06	42.82	840.23	770000	1.48	350.79
1	14	12	23.12	34.35	1095.99	768880	1.85	356
1	14	13	24.9	28.27	1088.2	768200	2.09	26.92
1	14	14	24	31.02	398.07	767170	2.3	17.71
1	14	15	24.4	31.88	722.58	766410	2.49	356.6
1	14	16	25.08	30.13	786.69	766220	2.79	357.38
1	14	17	23.38	39.14	409.86	766020	3.32	25.01
1	14	18	19.73	61.01	59.72	766410	3.19	52.03
1	14	19	17.01	74.91	0.41	767600	2.22	71.34
1	14	20	15.4	83.22	0	768300	1.69	50.31
1	14	21	14.8	87.25	0	769870	1.41	27.11
1	14	22	14.45	89.4	0	770140	1.27	15.65
1	14	23	14.37	88.62	0	770160	1.32	140.18
1	15	0	14.45	87.09	0	770010	0.98	114.26
1	15	1	13.97	89.44	0	770010	1.19	60.04
1	15	2	13.67	87.15	0	769990	0.8	86.85
1	15	3	12.9	86.37	0	769520	0.84	105.31
1	15	4	12.19	88.14	0	769120	0.71	117.79
1	15	5	11.7	90.19	0	769720	0.76	64.43
1	15	6	11.32	88.15	0	770010	0.93	259.17
1	15	7	11.03	88.58	26.41	770040	1.12	222.07
1	15	8	12.5	81.09	231.91	771050	0.72	356.92
1	15	9	14.92	71.94	529.72	770670	1.11	343.73
1	15	10	17.64	61.2	696.88	770070	1.32	1.79
1	15	11	20.56	46.63	841.16	769860	1.45	347.66
1	15	12	22.77	33.5	1095.08	768560	1.88	45.2
1	15	13	24.44	28.19	1088.21	768000	1.64	93.45
1	15	14	25.08	28.65	1036.88	766480	2.61	2.01
1	15	15	24.48	34.45	820.56	766170	3.54	11.93
1	15	16	23.03	44.38	689.87	766290	3.44	358.68
1	15	17	20.46	56.8	384.02	766410	3.74	50.34
1	15	18	18.51	65.11	108.73	767080	3.23	21.5
1	15	19	16.56	74.83	1.8	768190	2.79	35.73
1	15	20	15.91	79.03	0	768410	1.46	34.57
1	15	21	15.43	82.47	0	769950	1.55	24.23
1	15	22	15.09	84.7	0	770010	1.42	356

1	15	23	14.23	89.18	0	770040	1.41	47.44
1	16	0	14.03	89.95	0	770060	1.22	7.68
1	16	1	13.96	90.36	0	770010	0.96	22.92
1	16	2	14.07	89.62	0	769910	1.07	17.64
1	16	3	14.06	88.35	0	768910	0.96	5.17
1	16	4	13.95	87.08	0	768410	0.87	63.53
1	16	5	13.26	90.74	0	769100	1.12	20.82
1	16	6	12.27	94.96	0	769900	0.92	65.37
1	16	7	11.44	92.18	8.76	770010	1.08	134.07
1	16	8	12.69	84.99	170.52	770040	1.35	60.07
1	16	9	14.39	77.99	329.14	770090	0.82	260.6
1	16	10	17.3	64.26	638.22	770010	1.07	313.39
1	16	11	19.38	53.27	870.66	769980	1.44	42.98
1	16	12	21.77	44.84	990.87	768770	1.66	7.6
1	16	13	22.1	43.01	1130.92	767840	2.87	35.08
1	16	14	23.16	41.85	1052.41	766430	3.09	25.03
1	16	15	23.13	45.26	840.04	766130	3.78	56.03
1	16	16	20.66	59.1	532.18	766320	4.46	34.72
1	16	17	18.65	67.2	213.04	766410	3.59	31.65
1	16	18	17.12	73.48	63.27	766760	3.42	35.03
1	16	19	16.14	79.24	0.57	768140	2.3	13.06
1	16	20	15.5	83.01	0	768500	1.52	359.64
1	16	21	14.84	87.26	0	769820	1.6	3.7
1	16	22	14.48	88.94	0	770010	1.81	55.43
1	16	23	14.43	89.15	0	769962.5	1.74	237.48
1	17	0	14.17	90.49	0	770010	1.26	42.54
1	17	1	14.23	89.92	0	770010	1.16	8.18
1	17	2	14.16	90	0	770000	1.24	28.33
1	17	3	14.11	89.61	0	769580	1.19	7.95
1	17	4	13.85	90.52	0	768610	0.94	19.42
1	17	5	13.64	89.11	0	769510	1.34	19.46
1	17	6	13.64	87.78	0	770010	0.89	31.99
1	17	7	13.42	84.66	7.53	770080	0.85	57.68
1	17	8	14.19	77.73	115.94	771320	0.82	354.72
1	17	9	15.84	72.74	468.53	771380	1.13	45.2
1	17	10	17.63	63.09	422.08	770170	1.2	89.35
1	17	11	19.24	54.57	472.28	770020	1.02	89.43
1	17	12	19.85	51.59	409.65	769870	1.41	116.16
1	17	13	20.65	50.61	453.38	768410	2.35	26.31
1	17	14	21.13	50.64	803.82	768150	3.43	23.4
1	17	15	20.46	54.91	395.95	767240	3.24	44.38
1	17	16	20.2	58.36	438.41	766410	3.02	37.33
1	17	17	18.59	68.8	190.21	766530	3.7	47.39
1	17	18	17.22	74.82	19.05	767750	2.23	42.02
1	17	19	16.13	81.96	0.52	768210	1.25	26.02

1	17	20	15.32	84.9	0	768340	1.57	79.62
1	17	21	14.74	88.72	0	769940	1.48	66.29
1	17	22	14.56	90.57	0	770030	1.32	61.18
1	17	23	14.57	89.62	0	770050	1.05	288.18
1	18	0	14.46	88.99	0	770020	1.05	102.19
1	18	1	13.81	88.31	0	770010	1.15	114.26
1	18	2	12.98	88.16	0	770010	1.22	94.66
1	18	3	12.46	86.96	0	770000	0.77	84.98
1	18	4	11.91	89.4	0	769940	0.92	95.13
1	18	5	11.61	90.79	0	769980	0.82	125.35
1	18	6	10.05	90.6	0	770010	1.12	85.25
1	18	7	10.32	86.9	47.44	770270	0.95	327.53
1	18	8	12.78	75.66	273.36	771700	0.89	113.45
1	18	9	14.95	68.18	424.07	771800	1.03	10.32
1	18	10	16.92	61.93	581.67	771490	1.08	25.93
1	18	11	20.04	46.19	884.98	770130	1.44	11.11
1	18	12	21.8	39.67	1013.94	769730	1.74	29.44
1	18	13	22.15	39.98	828.47	768320	2.61	40.26
1	18	14	22.35	43.59	747.1	768190	3.63	47.71
1	18	15	21.71	51.31	807.18	767840	4.55	34.23
1	18	16	20.19	58.69	561.91	767640	4.3	35.6
1	18	17	18.71	66.17	269.53	768030	4.12	24.39
1	18	18	17.57	72.65	90.36	768170	2.91	22.24
1	18	19	15.75	82.63	0.74	768390	1.74	13.68
1	18	20	14.99	86.79	0	769790	1.24	1.67
1	18	21	14.56	88.67	0	770190	1.17	47.92
1	18	22	14.41	88.95	0	771180	1.53	22.34
1	18	23	14.3	89	0	771750	1.18	43.65
1	19	0	14.27	89.38	0	771740	1.3	18
1	19	1	14.28	89.28	0	771110	0.9	32.57
1	19	2	13.55	85.76	0	770050	1.15	55.13
1	19	3	12.46	87.24	0	770010	0.96	101.94
1	19	4	12.14	88.24	0	770010	1.07	89.57
1	19	5	12.7	85.37	0	770010	0.78	298.11
1	19	6	11.57	82.26	0	770190	0.73	95.32
1	19	7	10.82	87.85	29.78	771350	0.72	94.19
1	19	8	12.78	76.27	185.8	771810	0.86	50.84
1	19	9	15.18	64.73	516.4	771810	0.98	83.92
1	19	10	18.27	52.47	749.27	771800	1.04	133.62
1	19	11	20.35	44.99	796.36	771680	1.56	15.73
1	19	12	22.11	38.8	1036.61	770210	1.57	30.1
1	19	13	22.72	34.52	1056.38	769880	1.87	35.16
1	19	14	23.05	38.73	980.16	768270	2.39	48.38
1	19	15	22.64	42.88	789.68	768190	3.9	34.77
1	19	16	21.68	46.39	393.38	767820	4.16	25.65

1	19	17	20.15	55.67	281.76	768060	4.2	36.46
1	19	18	18.46	64.99	103.68	768210	3.49	24.01
1	19	19	16.48	73.06	1.63	768530	2.75	31
1	19	20	15.98	77.17	0	769870	1.24	20.06
1	19	21	15.67	79.8	0	770230	1.23	351.81
1	19	22	15.11	82.54	0	771590	1.13	9.04
1	19	23	14.83	83.3	0	771800	1.16	10.84
1	20	0	14.51	84.87	0	771780	1.23	90.34
1	20	1	14.09	88.2	0	770960	1.65	3.53
1	20	2	13.69	90.74	0	770020	1.75	41.46
1	20	3	13.53	88.18	0	770010	1.92	21.91
1	20	4	13.58	88	0	770010	1.04	223.84
1	20	5	13.58	86.55	0	770010	0.7	299.75
1	20	6	13.36	89.3	0	770010	0.72	211.39
1	20	7	13.48	88.78	8.35	770010	0.62	119.63
1	20	8	13.88	85.62	93.48	770710	1.09	44.21
1	20	9	15.17	78.32	240.22	771700	1.26	357
1	20	10	16.89	68.87	477.13	771730	1.26	348.64
1	20	11	18.99	57.53	782.93	770530	1.44	3.89
1	20	12	20.46	50.02	888.52	770010	1.7	4.33
1	20	13	21.24	46.8	707.5	768810	2.09	358.09
1	20	14	22.25	43.57	917.51	767990	3.05	8.08
1	20	15	20.72	48.51	462.9	767010	3.66	41.09
1	20	16	19.48	56.33	329.55	766690	4.16	33.73
1	20	17	18.56	58.94	109.04	766930	3.1	49.32
1	20	18	17.37	66.96	37.2	768100	2.95	40.58
1	20	19	16.36	70.34	0.28	768210	2.62	39.83
1	20	20	15.82	74.42	0	768740	1.77	26.66
1	20	21	15	81.54	0	769990	1.53	14.56
1	20	22	14.06	88.66	0	770110	1.08	42.91
1	20	23	14	89.03	0	770360	1.27	356.62
1	21	0	13.96	88.75	0	770030	1.03	321.17
1	21	1	13.52	88.93	0	770010	1.01	37.8
1	21	2	13.23	89.89	0	770010	1.15	26.71
1	21	3	12.47	93.43	0	769700	1.2	9.21
1	21	4	11.59	97.22	0	769280	1.09	66.26
1	21	5	11.72	92.41	0	769510	0.88	77.4
1	21	6	11.92	93.54	0	769930	0.89	121.77
1	21	7	11.7	93.85	11.42	770010	1.1	122.88
1	21	8	13.01	85.65	167.45	770010	1.19	148.12
1	21	9	14.96	76.92	400.65	770030	1.09	281.32
1	21	10	17.11	66.04	824.88	770010	1.58	13.42
1	21	11	19.3	55.48	748.01	769920	1.73	14.53
1	21	12	21.09	46.36	1107.13	768460	1.87	89.86
1	21	13	22.41	44.12	1169.73	767890	2.57	21.92

1	21	14	21.52	46.92	668.05	766540	4.15	28.87
1	21	15	21.31	47.94	551.74	766410	3.5	23.04
1	21	16	19.52	55.88	144.37	766410	3.85	28.19
1	21	17	18.03	64.38	191.68	766420	3.66	28.88
1	21	18	17.18	71.54	78.49	766750	2.57	353.57
1	21	19	15.61	81.56	0.25	768100	1.62	2.58
1	21	20	14.73	87.05	0	768230	1.56	18.53
1	21	21	14.31	88.42	0	769560	1.68	32.85
1	21	22	14.08	88.41	0	770000	1.36	31.65
1	21	23	13.78	89.51	0	770010	0.96	54.81
1	22	0	13.86	88.27	0	770010	1.1	94.1
1	22	1	13.95	87.68	0	769980	0.95	48.66
1	22	2	13.72	90.07	0	768920	1.18	1.82
1	22	3	13.47	91.25	0	768210	1.15	88.13
1	22	4	13.62	90.84	0	768210	1.29	19.85
1	22	5	13.55	91.89	0	768210	0.85	31.68
1	22	6	13.51	92.44	0	768210	1.33	355.52
1	22	7	13.53	92.12	3.33	768370	0.97	49.86
1	22	8	13.99	88.4	96.61	769700	1.19	2.79
1	22	9	15.21	81.4	308.87	770000	1.29	3.58
1	22	10	16.93	71.37	624.8	770010	1.75	16
1	22	11	19.1	58.44	630.45	769710	1.68	9.47
1	22	12	20.22	53.18	782.24	768360	1.78	4.31
1	22	13	21.39	47.59	824.85	768190	2.3	34.99
1	22	14	21.71	45.68	726.89	766720	3.08	35.71
1	22	15	21.34	48.88	640.34	766410	3.65	27.94
1	22	16	20.48	53.8	433.8	766400	3.88	29.05
1	22	17	18.78	62.18	305.83	766410	3.96	31.89
1	22	18	17.26	70.54	71.17	766720	3.42	34.94
1	22	19	16.21	76.42	0.04	768150	2.03	4.43
1	22	20	14.96	85.39	0	768410	1.97	13.04
1	22	21	14.71	87.46	0	769880	1.37	28.6
1	22	22	14.54	87.96	0	770010	1.62	26.64
1	22	23	14.56	87.56	0	770010	0.87	49.37
1	23	0	14.09	89.99	0	770010	1.66	9.12
1	23	1	13.85	91.83	0	769990	1.44	5.62
1	23	2	13.68	91.6	0	768910	1.23	24.46
1	23	3	13.31	93.44	0	768210	1.22	10.75
1	23	4	13.38	92.6	0	768210	0.8	58.74
1	23	5	13.5	91.62	0	768210	0.98	45.67
1	23	6	13.29	92.29	0	768270	1.31	357.95
1	23	7	12.95	93.59	1.23	769310	1.26	10.41
1	23	8	13.43	90.52	43.72	770010	0.9	45.83
1	23	9	14.69	83.65	194.56	770010	0.98	21.83
1	23	10	15.83	77.81	274.91	770020	1	345.69

1	23	11	17.53	68.09	387.41	770010	0.95	111.54
1	23	12	19.61	59.91	815.08	769440	1.32	34.22
1	23	13	22.31	45.66	1001.17	768190	1.31	326.75
1	23	14	23.61	34.82	908.8	766730	1.53	40.35
1	23	15	24.67	32.52	715.61	766200	1.6	268.12
1	23	16	21.92	46.84	143.27	766080	2.87	16.11
1	23	17	19.45	61.56	184.64	766410	3.77	45.74
1	23	18	17.73	68.65	40.88	766880	3.3	36.81
1	23	19	16.25	76.39	2.38	768150	2.26	24.48
1	23	20	15.28	82.18	0	768500	1.53	34.09
1	23	21	14.66	86.29	0	769800	1.21	2.38
1	23	22	14.08	89.23	0	770010	0.95	83.52
1	23	23	14.2	88.43	0	770100	1.16	89.23
1	24	0	14.13	83.08	0	770010	0.9	50.12
1	24	1	13.13	79.04	0	770010	1	108.61
1	24	2	13.29	85.12	0	769980	0.9	142.44
1	24	3	12.85	88.27	0	769550	0.9	130.3
1	24	4	12.22	89.05	0	769520	0.92	93.55
1	24	5	12.27	87.15	0	769790	0.71	94.89
1	24	6	11.67	86.39	0	769990	0.8	87.14
1	24	7	10.18	87.4	12.24	770010	0.89	57.09
1	24	8	11.44	80.03	159.68	770010	0.7	61.39
1	24	9	14.66	66.01	399.89	770010	0.92	21.25
1	24	10	17.21	57.7	660.12	770010	1.12	14.64
1	24	11	19.87	46.17	768.28	770010	1.68	10.37
1	24	12	21.51	36.51	1043.83	768970	1.6	9.49
1	24	13	23.28	33.19	1097.7	768160	2.09	27.07
1	24	14	23.05	35.56	815.59	766740	2.92	7.28
1	24	15	22.27	42.6	682.54	766410	3.57	17.01
1	24	16	21.61	47.35	527.72	766410	3.14	24.52
1	24	17	19.57	58.23	333.51	766410	3.72	32.32
1	24	18	17.82	66.39	90.3	767010	3.26	35.82
1	24	19	16.33	75	3.34	768100	2.4	27.03
1	24	20	15.41	80.51	0	768250	1.69	357.25
1	24	21	14.63	84.95	0	769310	1.48	33.15
1	24	22	14.22	87.56	0	770010	1.94	46.1
1	24	23	14.37	86.58	0	770010	1.05	17.35
1	25	0	14.36	86.29	0	770010	0.89	353.81
1	25	1	14.09	88.12	0	770000	1.36	4.41
1	25	2	13.83	90.58	0	769900	1.27	49.31
1	25	3	13.86	90.44	0	768440	1.03	9.28
1	25	4	13.63	91.13	0	768210	1.56	357.23
1	25	5	13.32	91.58	0	768340	1.26	36.56
1	25	6	13.09	86.72	0	769450	0.73	65.28
1	25	7	11.9	80.79	19.25	769960	1.05	73.92

1	25	8	12.98	81.14	193.63	770010	1.13	75.43
1	25	9	15.19	73.82	345.28	770010	1.15	38.15
1	25	10	17.08	66.79	645.5	770010	1.28	356.51
1	25	11	19.53	54.32	661.67	769990	1.21	18.27
1	25	12	21.48	38.67	883.55	768720	1.46	80.48
1	25	13	23.26	24.23	1028.26	767830	1.8	9.71
1	25	14	22.28	31.02	707.22	766470	3.14	37.88
1	25	15	22.52	34.46	827.71	766400	3.29	49.27
1	25	16	21.6	43.45	687.59	766390	4.53	39.64
1	25	17	18.99	56.82	195.13	766410	3.77	38.57
1	25	18	17.6	64.04	110.83	766520	3.3	37.07
1	25	19	16.46	70.25	4.61	767700	1.82	30.71
1	25	20	15.62	75.16	0	768210	1.34	20.81
1	25	21	14.48	80.81	0	768500	1.24	74.03
1	25	22	13.73	86.66	0	769970	1.32	68.07
1	25	23	13.64	89.82	0	770010	1.22	104.72
1	26	0	13.66	88.57	0	770010	1.11	141.25
1	26	1	13.83	87.95	0	770010	1.02	20.76
1	26	2	13.5	86.61	0	769890	1.07	106.72
1	26	3	13.45	86.34	0	768370	0.98	95.07
1	26	4	13.24	85.03	0	768220	1.16	135.24
1	26	5	12.48	87.19	0	768260	0.75	125.61
1	26	6	11.3	89.3	0	769640	0.84	191.66
1	26	7	10.34	90.32	11.4	770010	1.05	88.56
1	26	8	12.76	78.3	241.68	770010	0.75	220.37
1	26	9	15.91	66.23	540.45	770050	0.89	68.8
1	26	10	17.44	58.86	789.99	770010	1.27	21.72
1	26	11	20.53	45.73	765.87	769980	1.24	4.86
1	26	12	22.18	34.71	1089.13	768620	1.59	15.7
1	26	13	23.58	34.25	974.23	768160	2.07	7.39
1	26	14	22.96	40.07	966.52	767010	3.61	34.76
1	26	15	22.39	44.57	637.61	766410	3.84	17.55
1	26	16	21	51.93	392.82	766410	4.38	43.06
1	26	17	19.17	61.56	250.41	766410	4.12	42.9
1	26	18	17.34	69.48	45.32	767130	3.75	35.69
1	26	19	16.59	71.94	0	768180	2.86	31.15
1	26	20	15.82	77.59	0	768740	1.86	22.08
1	26	21	15.17	82.8	0	769980	1.33	359.55
1	26	22	14.7	86.92	0	770130	1.41	6.18
1	26	23	14.6	88.38	0	771270	0.99	42.84
1	27	0	14.66	88.1	0	771540	1.05	7.29
1	27	1	14.36	89.33	0	770080	1.39	15.29
1	27	2	14.29	90.08	0	770010	1.06	6.16
1	27	3	13.8	92.03	0	769930	1.54	25.8
1	27	4	13.61	91.65	0	769440	1.04	21.73

1	27	5	13.4	91.29	0	769590	1.24	16.8
1	27	6	13.33	89.34	0	769940	0.99	3.72
1	27	7	13.16	90.11	6.37	770010	0.89	358.21
1	27	8	14.1	78.97	187.11	770390	1.17	6.55
1	27	9	15.69	72.64	452.48	771560	1.32	0.8
1	27	10	17.8	61.2	796.37	771380	1.26	17.39
1	27	11	19.82	49.06	769.46	770170	1.54	27.5
1	27	12	21.24	43.7	1095.15	769940	2.2	1.56
1	27	13	22.03	40.6	1116.05	768470	2.88	37.58
1	27	14	22.53	42.58	995.08	768090	3.59	43.23
1	27	15	22.16	46.24	839.18	766770	4.08	28.02
1	27	16	20.57	55.05	349.76	766420	4.78	28.37
1	27	17	16.66	78.39	63.68	767830	3.77	51.05
1	27	18	15.1	85.67	16.49	768210	1.98	176.17
1	27	19	12.73	92.18	0	768560	2.32	251.35
1	27	20	12.67	95.6	0	769900	1.16	350.14
1	27	21	12.97	94.16	0	770110	0.76	35.06
1	27	22	13.09	94.34	0	771300	0.77	290.37
1	27	23	13.26	93.21	0	771800	0.63	25.24
1	28	0	13.31	92.83	0	771780	0.7	287.97
1	28	1	13.15	93.37	0	770480	0.87	234.5
1	28	2	13.32	92.47	0	770010	0.87	17.77
1	28	3	13.23	93.52	0	769970	0.66	355.62
1	28	4	12.91	96.28	0	769430	0.51	31.46
1	28	5	12.92	96.61	0	769770	0.48	18
1	28	6	12.9	95.65	0	769970	0.74	257.29
1	28	7	13.1	94.88	0.42	770010	0.65	301.82
1	28	8	13.37	93.5	43.91	770710	0.68	303.36
1	28	9	13.96	91.6	171.73	771770	0.87	5.85
1	28	10	16.12	79.52	598.61	771770	0.91	114.35
1	28	11	18.47	66.81	775.41	770810	1.44	6.17
1	28	12	19.8	55.56	1013.93	770010	1.98	350.71
1	28	13	20.58	53.19	775.06	769440	2.05	9.02
1	28	14	20.59	54.42	667.21	768220	2.76	2.94
1	28	15	19.71	56.14	311.74	768190	3.46	40.94
1	28	16	18.25	60.72	175.19	768190	2.55	44.23
1	28	17	17.02	70.4	54.2	768210	2.06	3.42
1	28	18	14.63	87.83	9.04	768970	1.73	333.03
1	28	19	14.22	90.85	0.03	769970	1.24	32.51
1	28	20	13.84	92.43	0	770030	1.11	25.17
1	28	21	14.08	90.77	0	771420	0.84	345.74
1	28	22	14	91.58	0	771800	0.73	315.85
1	28	23	13.93	92.45	0	771800	0.94	14.52
1	29	0	13.36	94.16	0	771800	1	34.75
1	29	1	13.41	93.06	0	771750	0.87	41.97

1	29	2	13.38	92.31	0	770310	0.64	50.3
1	29	3	13.39	93.19	0	770010	0.8	25.74
1	29	4	13.42	92.86	0	770010	0.69	112.14
1	29	5	13.38	91.11	0	770010	0.65	244.35
1	29	6	13.12	89.69	0	770010	0.73	60.25
1	29	7	12.78	91.25	12.81	770970	1.06	240.28
1	29	8	13.74	87.58	102.34	771800	0.67	341.43
1	29	9	14.85	81.34	327.49	771810	1.02	286.3
1	29	10	17.91	66.12	686.81	771810	1.22	309.15
1	29	11	18.36	63.04	566.3	771800	1.51	21.84
1	29	12	21.03	49.89	770.23	771640	1.19	355.17
1	29	13	22.03	44.28	747.67	770080	1.5	357.35
1	29	14	21.62	47.12	847.42	769860	2.85	17.89
1	29	15	20.71	51.48	613.01	768800	3.42	24.31
1	29	16	18.78	66.29	321.61	768240	3.85	53
1	29	17	18.32	68.06	283.29	768360	3.31	35.47
1	29	18	16.96	73.83	69.5	769770	3.06	29.95
1	29	19	15.78	79.71	2.15	770110	2.13	17.52
1	29	20	14.71	85.93	0	771670	1.57	21.5
1	29	21	14.16	88.99	0	771800	1.55	29.37
1	29	22	13.94	90.21	0	772230	1.53	8.47
1	29	23	13.65	91.91	0	773180	1.14	34.92
1	30	0	13.83	90.62	0	772250	0.97	85.85
1	30	1	13.69	83.22	0	771840	1.1	75.83
1	30	2	12.85	75.3	0	771800	0.99	94.54
1	30	3	11.87	81.4	0	771770	0.95	92.66
1	30	4	11.41	85.23	0	771700	0.7	114.64
1	30	5	10.59	85.39	0	771560	0.88	71.75
1	30	6	9.54	89.14	0	771790	0.84	88.63
1	30	7	8.66	91.98	7.56	771800	0.64	84.26
1	30	8	10.09	84.18	283.39	772250	0.81	78.09
1	30	9	14.9	63.07	609.35	772970	0.99	329.4
1	30	10	16.39	57.53	863.38	772200	1.25	357.45
1	30	11	19.07	47.49	842.82	771800	1.67	354.77
1	30	12	21.06	33.27	1131.12	771550	1.79	4.48
1	30	13	22.01	30.74	1151.49	770120	2.7	26.12
1	30	14	22.53	32.82	1039.2	769770	3.31	46.69
1	30	15	21.62	39.85	688.55	768500	3.37	39.16
1	30	16	21	50.11	609.74	768210	4.22	37.07
1	30	17	18.5	64.36	207.63	768210	3.86	33.46
1	30	18	17.34	70.66	58.45	769050	3.07	24.69
1	30	19	15.66	80.11	1.12	770010	2.61	22.68
1	30	20	14.89	84.74	0	770700	1.46	3.94
1	30	21	14.48	87.94	0	771800	1.2	2.36
1	30	22	14.11	89.72	0	771840	1.52	30.28

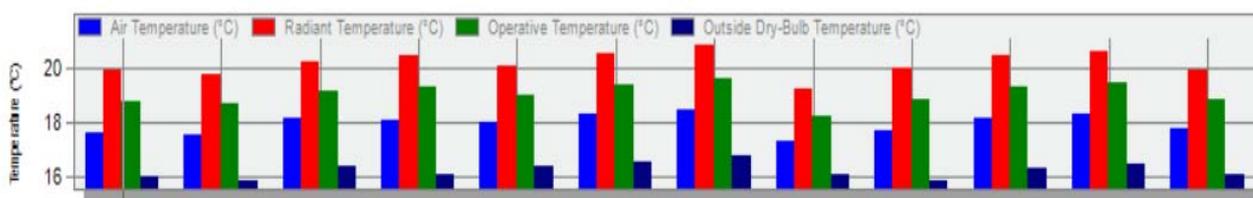
1	30	23	14.12	89.31	0	772020	1.32	24.19
1	31	0	13.77	90.47	0	771960	1.25	41.05
1	31	1	13.72	90.7	0	771800	1.3	356.59
1	31	2	13.54	91.55	0	771790	1.14	44.71
1	31	3	13.33	91.84	0	770910	1.24	15.78
1	31	4	13.26	92.3	0	770030	1.05	16.29
1	31	5	13.44	91.48	0	770040	1.11	2.74
1	31	6	13.15	93.79	0	771040	1.48	359.63
1	31	7	12.8	94.2	3.61	771790	1.76	25.46
1	31	8	13.19	89.61	86.12	771810	0.91	58.64
1	31	9	15.33	78.21	291.69	771820	0.95	20.28
1	31	10	16.86	70.19	577.4	771810	1.49	341.12
1	31	11	19.11	58.86	742.78	771800	1.43	38.7
1	31	12	21.12	44.41	678.6	770910	1.7	355.15
1	31	13	22.33	41.49	888.38	770010	2.22	2.27
1	31	14	22.52	39.7	502.14	769400	1.97	358.03
1	31	15	21.97	44.75	684.56	768260	3.19	21.09
1	31	16	21.31	48.98	481.37	768190	2.98	20.26
1	31	17	21.73	46.92	432.79	767570	2.75	8.19
1	31	18	19.32	59.28	115.75	767860	3.2	25.71
1	31	19	16.59	75.02	0.86	768340	2.47	51.78
1	31	20	14.9	84.28	0	769890	1.66	87.62
1	31	21	14.38	86.25	0	770040	1.19	108.6
1	31	22	13.67	89.8	0	770930	1.07	26.51
1	31	23	13.56	91.02	0	771780	1.11	114.48

**Anexo 7**  
**Resultados de simulaciones con**  
**diferentes estrategias de optimización energética**

## Estrategia de optimización energética: Nuevos materiales en el techo de la edificación (Tabla 7)



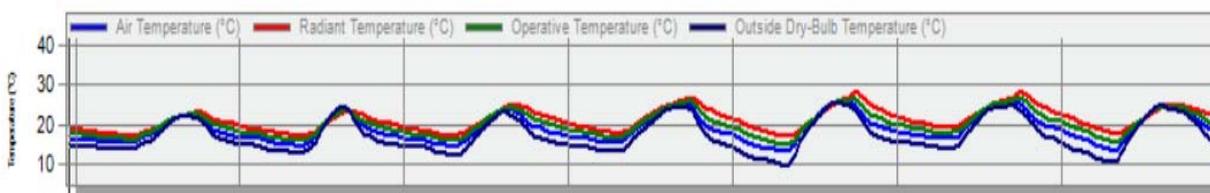
Temperatura anual



Temperatura mensual

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	17.60	17.55	18.14	18.10	17.98	18.30	18.46	17.31	17.68	18.17	18.29	17.74
Radiant Temperature (°C)	19.92	19.80	20.25	20.52	20.13	20.60	20.91	19.26	20.04	20.51	20.67	19.96
Operative Temperature (°C)	18.76	18.68	19.19	19.31	19.06	19.45	19.68	18.28	18.86	19.34	19.48	18.85
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	16.00	15.82	16.41	16.05	16.35	16.52	16.75	16.08	15.84	16.29	16.46	16.10
Relative Humidity (%)	69.55	69.83	71.26	68.06	69.68	66.18	53.09	57.97	64.19	64.07	65.96	67.78
Discomfort hrs (all clothing) (hrs)	76.99	222.80	265.82	266.31	106.80	228.75	111.21	25.95	210.17	221.48	205.21	113.80
Fanger PMV ()	-0.58	-0.60	-0.47	0.36	0.35	0.40	0.38	0.16	0.29	-0.47	-0.42	-0.56
Pierce PMV ET ()	-0.71	-0.71	-0.60	-0.79	-0.85	-0.81	-0.92	-1.13	-0.96	-0.64	-0.60	-0.70
Pierce PMV SET ()	-0.38	-0.37	-0.27	0.86	0.86	0.90	0.80	0.62	0.77	-0.31	-0.27	-0.37
Kansas Uni TSV ()	0.42	0.41	0.47	0.95	0.87	0.95	1.04	0.84	0.89	0.49	0.52	0.44

Resumen datos mensuales a lo largo de un año

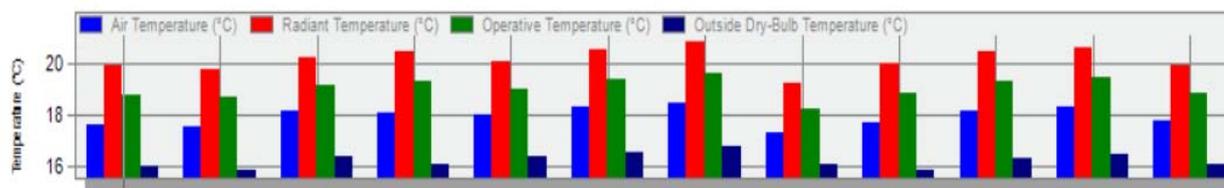


*Perfil de temperatura semanal (4-11 de Junio)*

**Estrategia de optimización energética: Nuevos materiales en las paredes de la edificación (Tabla 7)**



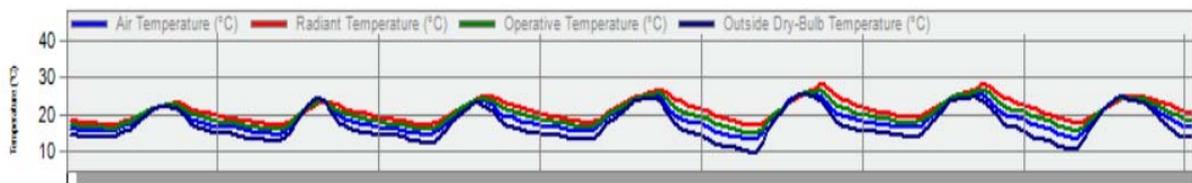
*Temperatura anual*



*Temperatura mensual*

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	17.60	17.55	18.14	18.10	17.98	18.30	18.46	17.31	17.68	18.17	18.29	17.74
Radiant Temperature (°C)	19.92	19.80	20.25	20.52	20.13	20.60	20.91	19.26	20.04	20.51	20.67	19.96
Operative Temperature (°C)	18.76	18.68	19.19	19.31	19.06	19.45	19.68	18.28	18.86	19.34	19.48	18.85
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	16.00	15.82	16.41	16.05	16.35	16.52	16.75	16.08	15.84	16.29	16.46	16.10
Relative Humidity (%)	69.55	69.83	71.26	68.06	69.68	66.18	53.09	57.97	64.19	64.07	65.96	67.78
Discomfort hrs (all clothing) (hrs)	76.99	222.80	265.82	266.31	106.80	228.75	111.21	25.95	210.17	221.48	205.21	113.80
Fanger PMV (I)	-0.58	-0.60	-0.47	0.36	0.35	0.40	0.38	0.16	0.29	-0.47	-0.42	-0.56
Pierce PMV ET (I)	-0.71	-0.71	-0.60	-0.79	-0.85	-0.81	-0.92	-1.13	-0.96	-0.64	-0.60	-0.70
Pierce PMV SET (I)	-0.38	-0.37	-0.27	0.86	0.86	0.90	0.80	0.62	0.77	-0.31	-0.27	-0.37
Kansas Uni TSV (I)	0.42	0.41	0.47	0.95	0.87	0.95	1.04	0.84	0.89	0.49	0.52	0.44

*Resumen datos mensuales a lo largo de un año*

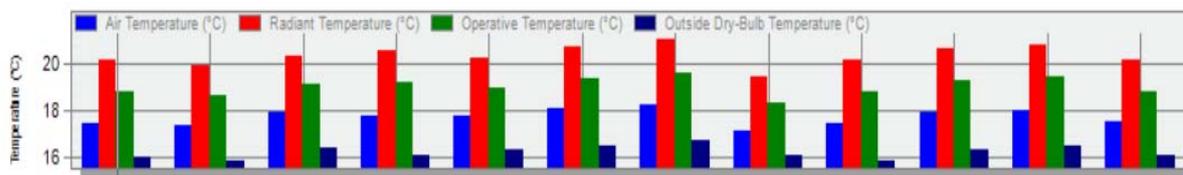


*Perfil de temperatura semanal (4-11 de Junio)*

**Estrategia de optimización energética:** Nuevos materiales en las ventanas de la edificación (Tabla 7)



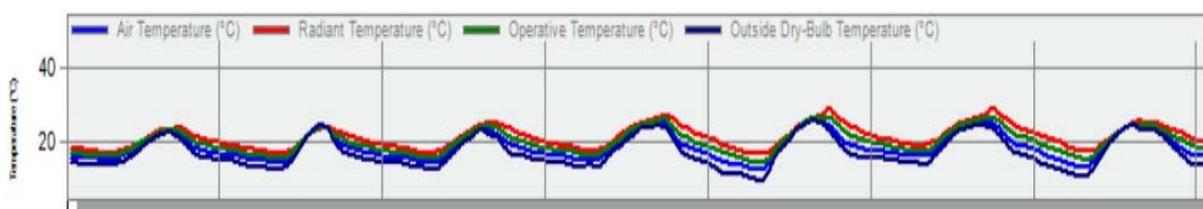
*Temperatura anual*



*Temperatura mensual*

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	17.43	17.33	17.89	17.78	17.76	18.06	18.23	17.15	17.42	17.90	18.05	17.55
Radiant Temperature (°C)	20.18	19.95	20.34	20.60	20.27	20.75	21.09	19.50	20.16	20.63	20.83	20.17
Operative Temperature (°C)	18.80	18.64	19.12	19.19	19.02	19.41	19.66	18.33	18.79	19.27	19.44	18.86
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	16.00	15.82	16.41	16.05	16.35	16.52	16.75	16.08	15.84	16.29	16.46	16.10
Relative Humidity (%)	70.42	70.86	72.42	69.54	70.76	67.29	54.10	58.76	65.42	65.24	67.03	68.75
Discomfort hrs (all clothing) (hrs)	76.79	217.33	261.79	270.43	105.70	227.13	110.30	25.53	209.39	218.80	206.79	113.15
Fanger PMV ()	-0.58	-0.61	-0.49	0.34	0.34	0.39	0.38	0.17	0.27	-0.49	-0.44	-0.57
Pierce PMV ET ()	-0.71	-0.72	-0.61	-0.81	-0.86	-0.81	-0.93	-1.13	-0.97	-0.66	-0.61	-0.71
Pierce PMV SET ()	-0.37	-0.38	-0.28	0.85	0.86	0.89	0.79	0.62	0.76	-0.32	-0.27	-0.37
Kansas Uni TSV ()	0.41	0.40	0.46	0.93	0.87	0.95	1.04	0.84	0.88	0.48	0.51	0.43

*Resumen datos mensuales a lo largo de un año*



*Perfil de temperatura semanal (4-11 de Junio)*