



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO



**DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE, PARA EL CATAS,
REALIZANDO UNA SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN DESIGN-BUILDER**

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el título de

ARQUITECTO

Línea Terminal

DISEÑO ESTÉTICA DEL ESPACIO

Presenta

ADRIANA VALERIA OROZCO MENDOZA

Dirigido por:

DR. ROQUE ALFREDO OSORNIO RÍOS

SINODALES:

DR. ROQUE ALFREDO OSORNIO RÍOS
Presidente

ARQ. HÉCTOR OLAF GONZÁLEZ PÉREZ (13098)
Secretario

ARQ. JOEL VALENCIA CAMACHO (13125)
Vocal

DR. ARTURO YOSIMAR JAEN CUELLAR (11825)
Sinodal

San Juan del Río, Qro., Enero 2020.

.....

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se enfoca en la contribución de una tecnología sustentable al edificio CATAS “Centro Académico de Tecnologías Avanzadas Sustentables”, complejo universitario de la UAQ ubicado en el campus Tequisquiapan, con la finalidad de otorgarle al edificio confort térmico, debido a que sus usuarios consideran que en épocas de verano los días con temperaturas más elevadas, el interior del edificio se siente muy caliente y que en época de invierno donde las temperaturas son muy bajas el frío se hace presente. La falta de confort térmico en un edificio provoca en los usuarios problemas de salud y falta de concentración en sus actividades, generando detrimento en su desempeño; ante tal acontecimiento se propone la implementación de un sistema de tecnología sustentable llamado “Intercambiador Tierra Aire” ITA, sistema a base de tubos enterrados que aprovecha la energía geotérmica del suelo que por inercia térmica logra mantener una temperatura constante, de esta manera por medio de tomas exteriores se extrae el aire almacenándolo en cámaras soterradas a profundidades indicadas, donde el aire alcanza la temperatura media del lugar, para después distribuirla al interior del edificio, logrando climatizar los espacios interiores y ganando una temperatura aceptable para el confort.

Para demostrar la premisa de que este sistema es adecuado para el CATAS, se llevó a cabo una investigación precisa donde se conoció a fondo el estado del arte de esta tecnología para poder satisfacer las necesidades del diseño ITA, adaptándolo al edificio CATAS, edificio ya construido. El diseño del sistema para el CATAS se manifestó en una configuración, seguido de la realización de planos arquitectónicos y de instalación así como renders donde se logró la visualización del sistema ITA en el edificio CATAS.

Para probar que el diseño ITA cumplió con el confort térmico y ahorro energético se realizó una simulación en el software Design Builder donde se modeló el edificio y se ingresó la configuración correspondiente del diseño, con el motor de Energy Plus y se ejecutaron los cálculos, dando resultados precisos. La simulación se llevó a cabo en tres partes, la primera fue el edificio CATAS en su estado actual, es decir, sin ningún sistema de climatización, la segunda con la implementación del sistema ITA y la tercera con un sistema de climatización de tipo convencional, esto con la finalidad de observar el comportamiento del edificio CATAS sin sistema de climatización y con dos sistemas diferentes de climatización. Se realizaron

comparativas con las tres simulaciones y los resultados demostraron que el diseño de un ITA para el edificio CATAS logro tres aspectos: confort térmico, ahorro energético y por consecuencia ahorro económico anual, en la factura de electricidad, con respecto a un sistema de tipo convencional.

El enfoque de la arquitectura es, y ha sido siempre, lograr el confort en los usuarios; la vertiente del confort térmico entra en este universo. Al hablar de temas relacionados con la energía es plantear principios físicos cuya combinación recibe cada vez con más frecuencia la denominación de “ciencia de la construcción”, la presente tesis toma en cuenta principios básicos de termodinámica como transferencia de calor y mecánica de fluidos que se aplicaron al cálculo para el dimensionado del sistema ITA así como la reducción de las pérdidas térmicas.

Palabras clave: Intercambiador Tierra Aire, Tecnología de Energía sustentable, Confort Térmico, Simulación energética, Design Builder.

Dirección General de Bibliotecas UNAO

Summary

The present work focuses in the contribution of a sustainable technology within to apply at CATAS building “Centro Académico de Tecnologías Avanzadas Sustentables”, at the University Complex of UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro), Campus Tequisquiapan, with the objective to achieve inside the building thermal comfort, because all the users consider it in summer time, when the temperatures get higher, inside the building feels very hot and also in winter time, when temperatures get lower, inside the same building they can feel this same experience getting cold temperatures, extremely cold temperatures. The lack of thermal comfort inside a building generates in the users health problems and loss of concentration in their general activities, generating detriment in their performance at school; because of this exposed situation my proposal is to implement a sustainable technological system called “Earth-Wind exchanger” ITA (for it spanish initials to Intercambiador Tierra Aire), based on buried pipes that take advantage of geothermic energy that, for natural inertia, keeps a constant temperature, in this way through exterior outlets the air is pulled out and extracted in to buried chambers to indicated depth, where the air reaches medium and comfortable temperatures, enough to distribute inside the building, achieving a temperature good enough and acceptable for comfort.

To demonstrate this premise that this system will achieve and will be the indicated for CATAS building, a precise research had been developed on the state of the art of this technology to completely satisfy the ITA building needs, adapting it to CATAS building, already built this last one. The CATAS designed system was manifested into a configuration, follow up from the architectural blueprints and installation and renders where proven and visualize ITA system in CATAS building.

In order to prove ITA design achieved enough comfort thermal temperature a model had been simulated through Design Builder software, where the building was modeled and insert the correspondent configuration with the building design helped with the Energy Plus motor executing calculations, obtaining precise results in the research. The simulation was taken in three phases, the first one was CATAS building in its normal and actual situation, which means, with no climate system at all, the second phase with the system proposed here in this document, ITA system and the third and last one with a conventional climate system, all this

phases to verify and measure how CATAS building works with two different kind of climate systems and also without any conventional or another kind of climate system. Comparatives and simulations were taken and the results demonstrate that ITA design for CATAS building achieve three aspects: thermal comfort, energy saving and in consequence economic saving on the annual billing of electricity, against using a conventional climate system.

Architectural focuses is, and has been always, to achieve users comfort, thermal comfort slope gets in this universe. When you get to facts related with energy and bring physical principles and the combination of both receives more often the denomination of "Construction Science", this paper work searches and examines on principles basis of thermodynamics like heat transfer and fluids mechanicals applied to the calculation and sized of the ITA system, and also thermal loss reduction.

Key words: Earth-wind exchanger, Sustainable Energy Technologies, Thermal Comfort, Design Builder Simulator.

Dirección General de Bibliotecas UJAQ

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis dos más Lorena Mendoza Miranda y Luzmaria Miranda Virgen por el apoyo incondicional que con tanto amor me dieron, a mis queridas hermanas Luisa Alvarez Mendoza y Maria Alvarez Mendoza que creyeron en mí y siempre fueron mis fieles seguidoras y animadoras en todos mis trabajos realizados durante la carrera, motivo que siempre me animo y motivo para seguir adelante, a mi pareja Eduardo Paredes por su apoyo durante este proceso.

También quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de ingeniería Campus San Juan del rio y al CATAS campus Tequisquiapan junto con la docencia y trabajadores que lo representan por el apoyo que en repetidas veces tuve de su parte. A los profesores de la carrera especialmente al arq. Joel Valencia Camacho por su valioso apoyo y motivación en las clases que me impartió y por su colaboración en este trabajo de tesis, al arq. Héctor Olaf González por el apoyo y conocimientos que me brindo en el transcurso de mi trabajo de Tesis con valiosas aportaciones, al dr. Yosimar Jaen Cuellar por su colaboración en este trabajo de tesis y al profesor Francisco José Solís por su apoyo en el entendimiento y realización de los cálculos de este trabajo de tesis.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos, principal colaborador durante todo este proceso de tesis, quien con su colaboración permitió el desarrollo de este trabajo, pero sobre todo por sus repetidas aportaciones que como coordinador de tutorías de la carrera desempeño un aporte a mi crecimiento de enorme valor.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. Introducción.

1.1 Antecedentes.

1.1.1 Edificio C.A.T.A.S.

1.1.2 Confort Térmico y Calidad del Aire; al Interior de los Edificios.

1.1.3 Contaminantes del aire interior.

1.2 Descripción del Problema.

1.3 Justificación.

1.4 Planteamiento General.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

1.5.2 Objetivos Específicos.

CAPÍTULO II. Fundamentación Teórica.

2.1 Intercambiador Tierra-Aire.

2.1.1 Antecedentes.

2.1.2 Introducción.

2.1.3 Condiciones del terreno.

2.1.3.1 Aprovechamiento de la Inercia Térmica.

2.1.3.2 Propiedades Geotérmicas del suelo.

2.1.4 Tipologías del sistema ITA

2.1.4.1 Directos aislados (anillo)

2.1.4.2 Distribución Techelmann (rejilla)

2.1.4.3 Bloque Techelmann (bloque-rejilla)

2.1.5 Ventajas y Desventajas del sistema ITA

2.1.6 Ejemplo Análogo: ITA del edificio Lanzadera Universitaria de Centros de Investigación Aplicada LUCIA.

2.1.6.1 Datos generales del sistema ITA del edificio LUCIA

2.1.7 Componentes del sistema ITA

2.1.8 Mantenimiento.

- 2.1.9 Rendimiento y Estudio Económico.
- 2.1.10 Criterios para diseñar un sistema ITA
 - 2.1.10.1 Dimensionado del sistema ITA
 - 2.1.10.2 Cálculos
- 2.2 Design Builder
 - 2.2.1 Módulo HVAC
 - 2.2.2 Cálculos y simulación Energy Plus.
 - 2.2.2.1 Cálculos de diseño de calefacción.
 - 2.2.2.2 Cálculos de diseño de refrigeración.
 - 2.2.2.3 Simulaciones.

CAPÍTULO III. Metodología

- 3.1 Esquema Metodológico
- 3.2 Espacios del edificio CATAS a climatizar
- 3.3 Caudal del aire requerido en CATAS
- 3.4 Propiedades de suelo del terreno CATAS
 - 3.4.1 Estratigrafía y propiedades del subsuelo
- 3.5 Vientos predominantes en Tequisquiapan
- 3.6 Análisis de la temperatura media del lugar
 - 3.6.1 Confort térmico determinado por INIFED
- 3.7 Materiales para el sistema ITA
- 3.8 Diseño de un ITA para el CATAS
 - 3.8.1 Tipología del sistema ITA
 - 3.8.2 Dimensionado del sistema ITA
 - 3.8.2.1 Datos
 - 3.8.2.2 Cálculos
- 3.9 Modelado y configuración en Design Builder
 - 3.9.1 Modelado del edificio CATAS
 - 3.9.2 Configuración del sistema ITA en el modelo de CATAS
 - 3.9.3 Configuración del modelo con un sistema de climatización convencional

CAPÍTULO IV. Resultados

4.1 Configuración del sistema ITA para el edificio CATAS

4.2 Diseño del ITA en el edificio CATAS.

4.3 Resultados de la simulación en Design Builder con motor Energy Plus.

4.3.1 Simulación del CATAS en su estado actual.

4.3.2 Simulaciones del CATAS con sistema ITA y sistema convencional.

CAPÍTULO V. Conclusiones

CAPÍTULO VI. Prospectivas

CAPÍTULO VII. Bibliografía

Dirección General de Bibliotecas UAQ

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El edificio Centro Académico de Tecnologías Avanzadas Sustentables (CATAS), coordinado por el Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos y, ejecutado en el 2017, está ubicado en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) campus Tequisquiapan. En el edificio CATAS se desarrollan conocimientos de carácter científico para su aplicación, con un enfoque sustentable, algunos de estos son implementados en el propio edificio ya que el CATAS tiene como objetivo ser referente local en eficiencia energética y arquitectura sustentable. Los trabajos logrados tras un proceso de investigación y experimentación son mostrados en el CATAS como testimonio, con la finalidad de ser alusivos para diferentes sectores productivos, educativos y gubernamentales poniéndolos al servicio de la población.

El edificio CATAS como cualquier otro edificio tiene como objetivo primordial, mantener un confort para los usuarios. Lo ideal, es que desde el inicio de cualquier proyecto se consideren todos los factores que estén implicados para conseguirlo. Son muchos los elementos que destacan en el logro de la obtención de un confort total en los usuarios. Uno de los elementos faltantes, para el logro del confort, que se observó en CATAS fue el factor térmico.

El CATAS es un edificio de tres niveles con un total de 1120.47m² de construcción, el edificio no cuenta con algún sistema activo para obtener confort térmico, cabe destacar que un punto a su favor es la orientación del edificio, la cual se dispone con ventanas al Sur y Este, aprovechando la incidencia del sol y teniendo ventilación cruzada, no obstante los usuarios manifiestan que en temporada de verano el primer nivel es fresco pero el segundo y tercer nivel se comienza a sentir calor; a lo que refiere a la temporada de invierno los usuarios expresan que los tres niveles son fríos y que lo es más el primer nivel. Esto se debe a que en el proceso proyectual edilicio no se concibió algún sistema para nivelar la temperatura, hermetismo en el edificio y/o elección de materiales térmicos, por mencionar algunos. Así que desde el comienzo, el edificio no ha alcanzado una situación climática interior adecuada para los usuarios.

La determinante de rangos estándar del confort térmico se logra con un buen clima interior, esto es importante para el éxito del edificio, ya que logra que los ocupantes se encuentren en un estado agradable para el desempeño de sus actividades y logren mejor rendimiento.

Generalmente para alcanzar los niveles adecuados de confort térmico en los edificios, se opta por sistemas activos de climatización como el aire acondicionado, ventilación mecánica y calefacción. Estas opciones, podrán resolver un problema pero generan otro nuevo: el aumento de emisiones de CO² y consumo de energía eléctrica excesivo. “La energía eléctrica es obtenida a través de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, lo que también ha llevado a tener serios problemas de contaminación ambiental incluyendo el cambio climático. La inminente desaparición de los combustibles fósiles obliga a pensar en otras fuentes de energía, que además no contaminen y no contribuyan al efecto invernadero. A esto se le conoce como las energías para el desarrollo sostenible, que son aquellas que se producen y usan de tal forma que no comprometen a largo plazo el desarrollo humano en el ámbito social, económico y ecológico” (Morillón, 2012).

Determinar el sistema de climatización decide los consumos energéticos y su consecuente influencia en la sustentabilidad del edificio CATAS. Por ello en este trabajo de tesis se propuso un diseño de Intercambiador Tierra-Aire (ITA) también llamado pozo canadiense o pozo provenzal. Sistema a base de tubos enterrados por donde circula el aire permitiendo un intercambio de calor entre el aire que circula y la tierra que lo rodea manteniendo fresco el edificio en verano y cálido en invierno. La propuesta de diseño ITA para el edificio CATAS se simuló en un software, Design-Builder, que permitió analizar el ahorro energético del edificio y observar el comportamiento de su temperatura al interior.

El presente trabajo está dividido por capítulos, el primer capítulo expone los antecedentes del edificio CATAS y el confort térmico en los edificios, detecta la problemática a resolver y define el objetivo general de esta tesis. Plantea la hipótesis y describe la justificación de este trabajo de investigación con un enfoque de conciencia ambiental ante la problemática que suscitan las emisiones de CO₂, por el uso de la energía eléctrica. Tratados y acuerdos a nivel mundial proponen soluciones para contribuir al uso de energías sustentables.

El segundo capítulo proporciona todas las herramientas teóricas que se ocupan en esta tesis, en relación a la historia del arte de un ITA, todo lo que se debe saber para su diseño, historia del arte del software Design-Builder (DB) y todos los datos que se necesitaron para obtener el ahorro energético del edificio.

El tercer capítulo plasma un esquema gráfico Metodológico de pasos a seguir que puntualiza los objetivos a desarrollar en esta tesis. Expone los requerimientos necesarios para el diseño de un ITA, como son: las características del clima en Tequisquiapan, estudio del suelo de CATAS, caudal del aire demandado del espacio a climatizar con estándares de temperatura optimas en espacios interiores por “American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers” ASHRAE, definición de los materiales del sistema, tipología adecuada de acuerdo a las necesidades del CATAS y los cálculos realizados para el correcto dimensionado del sistema. Logrando el diseño de un ITA para el edificio CATAS. Así como el modelado del edificio en el software Design Builder (BD) para la simulación del edificio con dos sistemas de climatización: con un sistema ITA y con uno convencional.

El cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos de la simulación, demostrando el análisis que se llevó a cabo en el software, realizando comparativas y observando el comportamiento interior del edificio CATAS, en cuanto a temperatura y gasto energético entre el sistema ITA, uno convencional y sin ningún sistema. A su vez se muestra el resultado de diseño ITA en el edificio CATAS con vistas y renders. Por último se presentan las conclusiones y perspectivas de este trabajo de tesis.

1.1 Antecedentes.

1.1.1 Edificio CATAS

A inicios de 2014, el entonces Presidente Municipal de Tequisquiapan Luis Antonio Macías Trejo, ofreció al Rector de la Universidad Gilberto Herrera Ruiz, la donación de un terreno para que se construyera un Campus, ya que se trataba de una promesa de campaña del entonces candidato a Gobernador del Estado, la cual quería dejar como parte de su gestión administrativa. El Rector encomendó a un grupo de docentes la realización de un estudio para la creación de un Programa Educativo acorde a las necesidades de la región. Resultado de ese estudio se decidió crear un Programa Educativo enfocado en la formación de profesionales del turismo cultural y natural, dado que por muchos años la cabecera municipal de Tequisquiapan ha tenido una gran vocación turística, lo que incluso le permitió a la Administración Pública, presentar las evidencias suficientes para que la SECTUR Federal le otorgara el nombramiento de Pueblo Mágico. Así, el grupo de docentes enfocaron los trabajos en la creación de la Licenciatura en Gestión del Turismo Cultural y Natural. Al mismo tiempo,

la Presidencia Municipal ubicó un terreno que fraccionó para destinar en un inicio, 6 hectáreas del mismo para la construcción del Campus y con una aportación inicial de ocho millones de pesos, se levantó el primer edificio. El Campus fue nombrado como “Complejo Universitario Nt’oti”, que en lenguaje Hñähñu significa enseñanza u orientación y se diseñó por parte de la UAQ, un proyecto integral que contemplara en un futuro la posibilidad de especializar este complejo en el tema del turismo (Plan de desarrollo del campus Tequisquiapan, 2015).

El primer edificio fue terminado a finales de febrero de 2015 y se puso en funcionamiento el 14 de marzo, con el curso propedéutico para la primera generación de la Licenciatura en Gestión del Turismo Cultural y Natural. El 28 de octubre se firmó un contrato de comodato con el Municipio de Tequisquiapan para así poder llevar a cabo la construcción del edificio del Centro Académico de Tecnologías Avanzadas y Sustentables CATAS (Plan de desarrollo del campus Tequisquiapan, 2015). De acuerdo a la figura 1, se muestra la disposición de los edificios del campus Tequisquiapan y se muestra la ubicación del CATAS.

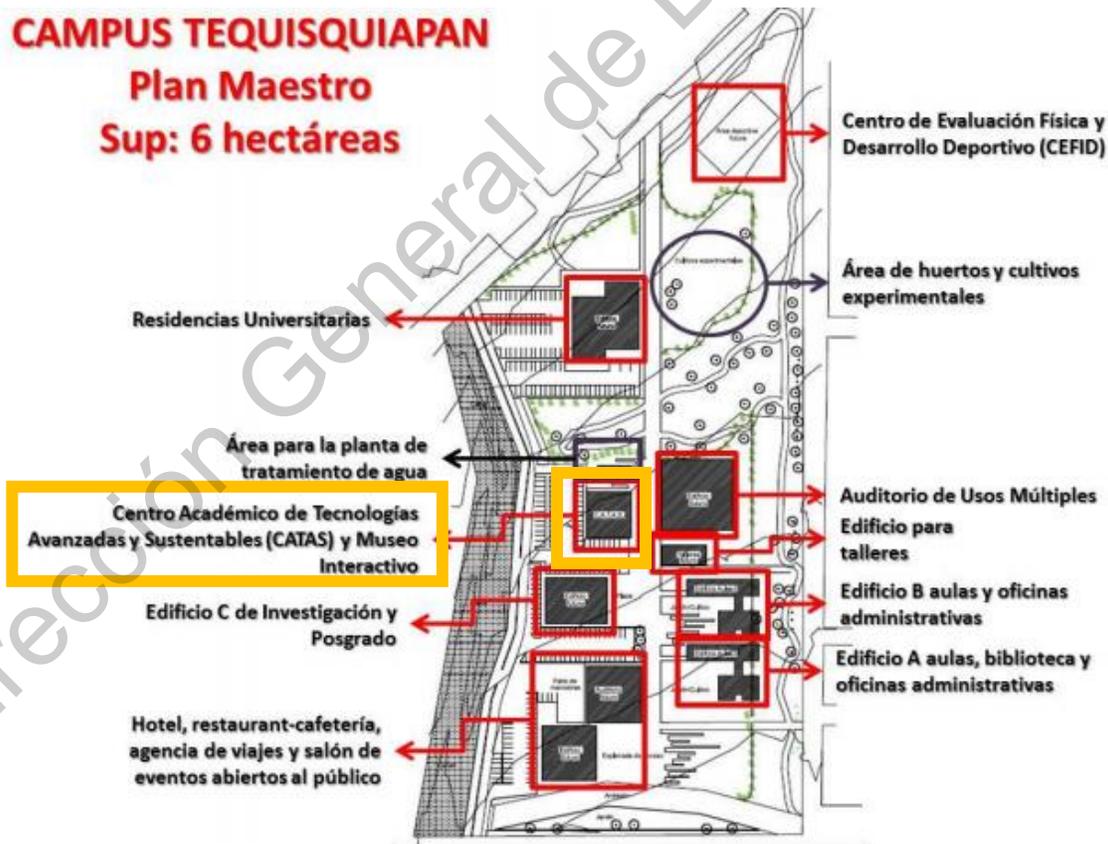


Figura 1 Plano Arquitectónico del Campus (Plan de desarrollo del campus Tequisquiapan, 2015).

Con el objetivo de fomentar la integración de sectores productivos, educativos y gubernamentales, se inauguró el Centro Académico de Tecnología Avanzada Sustentable (CATAS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Campus Tequisquiapan. El CATAS es un edificio autosustentable, que contiene generadores eólicos, paneles, calentadores solares y una planta tratadora de agua. La inversión para edificarlo provino de un recurso de un proyecto FOMIX, Qro apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

A través del CATAS se cubren apoyos tecnológicos para la generación de biogás, lo cual bien podría ayudar al sector ganadero por medio de desarrollo de innovación 100 por ciento universitario. Las instalaciones cuentan con oficinas, un museo interactivo y laboratorios en distintas disciplinas tecnológicas, en los cuales trabajan docentes y estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Máxima Casa de Estudios de Querétaro. Cuenta además con las áreas de Sustentabilidad y Automatización, pero se desarrollará un proyecto para que se impartan cursos y talleres de lo que ofrece la tecnología UAQ (Querétaro, 2017). Actualmente la Licenciatura de Diseño Industrial proyecta y ofrecer un programa académico pertinente que ayuda a impulsar las actividades económicas de la región, la infraestructura para esta opción educativa es el CATAS.

El Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos, coordinador de la Maestría y del Doctorado en Mecatrónica de la UAQ y quien también es coordinador de este Centro indicó que “la idea es que el CATAS sea un edificio sustentable; hay edificios en Europa, que se les llama ‘edificio cero’, es decir, que todo lo que consumen en servicios, lo generan y nuestra meta es tener un edificio así” (Magazine, 2018).

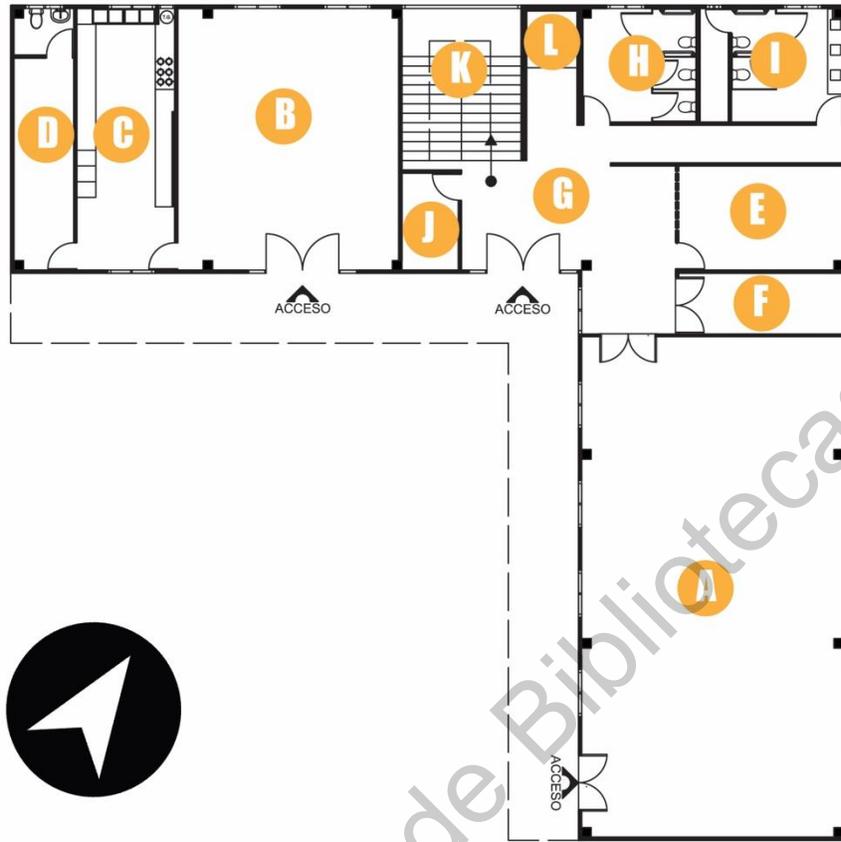
El Programa Arquitectónico de CATAS incluye los siguientes espacios, de acuerdo a las figuras 2, 3, 4, 5 y 6. (Ver anexo I, Planos arquitectónicos de CATAS)



Figura 2 Render del edificio CATAS. Fuente: Elaboración propia.



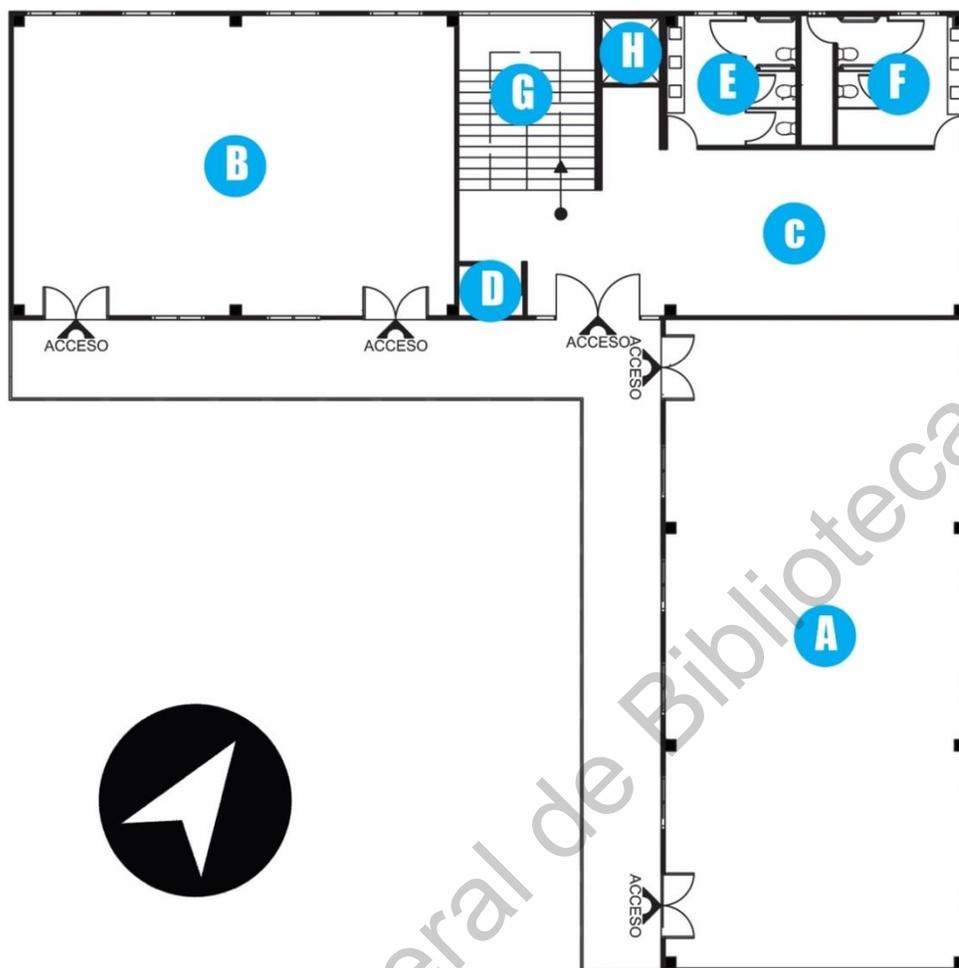
Figura 3 Fotografía del edificio CATAS, fuente de internet.



PRIMER NIVEL EDIFICIO CATAS

- | | |
|--|----------------------------|
| A MUSEO INTERACTIVO | G LOBBY |
| B CAFETERÍA | H SANITARIO MUJERES |
| C COCINA DE CAFETERÍA | I SANITARIO HOMBRES |
| D ALAMACEN CON SANITARIO DE LA COCINA | J CUARTO ELECTRICO |
| E OFICINA RECEPCION | K ESCALERAS |
| F BODEGA | L ELEVADOR |

Figura 4 Los espacios que conforman el primer nivel del edificio CATAS. Fuente: Elaboración propia.

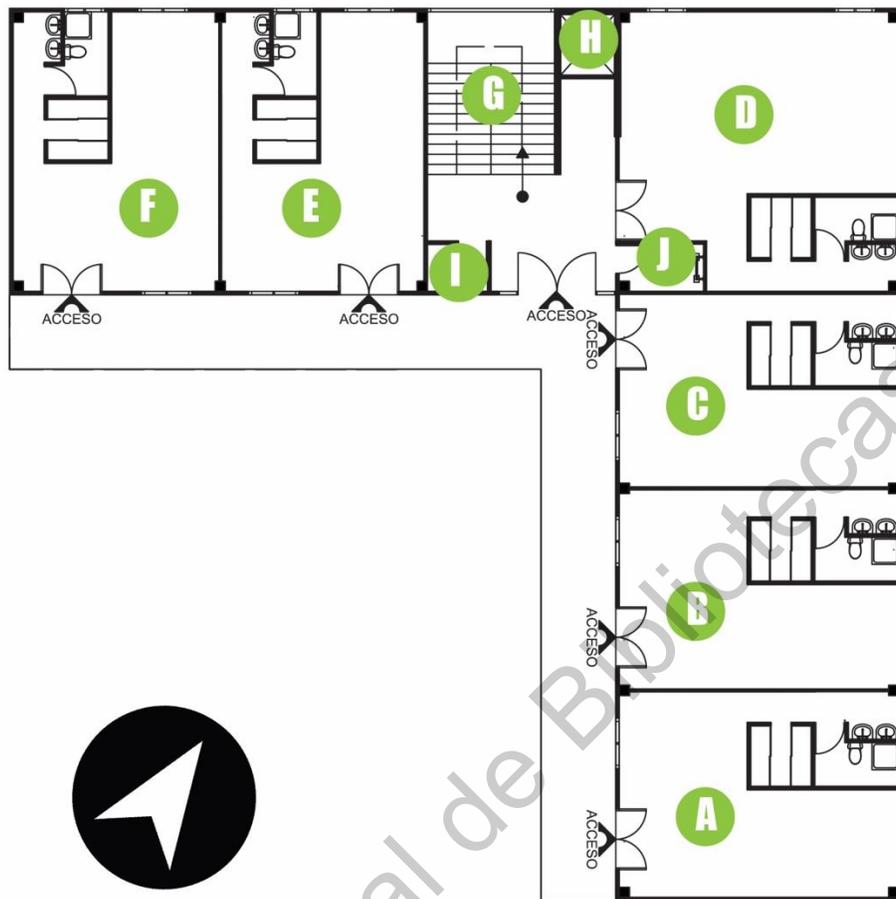


SEGUNDO NIVEL EDIFICIO CATAS

- A** SALONES PARA EVENTOS
- B** LABORATORIO CATAS
- C** ÁREA DE ESTAR
- D** CUARTO ELÉCTRICO

- E** SANITARIO MUJERES
- F** SANITARIO HOMBRES
- G** ESCALERAS
- H** ELEVADOR

Figura 5 Los espacios que conforman el segundo nivel del edificio CATAS. Fuente: Elaboración propia.



TERCER NIVEL EDIFICIO CATAS

- | | |
|--|---------------------------|
| A CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS I | G ESCALERAS |
| B CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS II | H ELEVADOR |
| C CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS III | I CUARTO ELÉCTRICO |
| D CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS IV | J ACCESO A AZOTEA |
| E CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS V | |
| F CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS VI | |

Figura 6 Los espacios que conforman el tercer nivel del edificio CATAS. Fuente: Elaboración propia.

1.1.2 Confort Térmico y Calidad del Aire; al Interior de los Edificios.

Los efectos del medio ambiente inciden directamente sobre el hombre a través de los parámetros térmicos, acústicos y lumínicos. Sumado a estos, los factores de confort físico, biológico-fisiológico, sociológico y psicológico, de acuerdo a la figura 7. El cuerpo humano puede absorberlos o percibir sus efectos, esforzándose para llegar a un punto de equilibrio, adaptándose a su entorno al punto que solamente requiera un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales consigue este objetivo se definen como zona de confort (Merçon, 2008). Dentro de los elementos físicos del entorno que tienen influencia sobre las personas, este trabajo se limita analizar uno de los elementos – la sensación térmica –, sin el cual no es posible satisfacer el confort.



Figura 7 El hombre y la interacción con el medio ambiente (Merçon, 2008).

EL «confort térmico» existe cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a las actividades que desarrollan. Evaluar el confort térmico es una tarea compleja, ya que valorar sensaciones conlleva siempre una importante carga subjetiva; no obstante, existen algunas variables modificables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente y que contribuyen a la sensación de confort, éstas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes, objetos que en los alrededores, la humedad del aire, la actividad física, la clase de vestido y la velocidad del aire (Higiene, 2007).

Existe una norma internacional ISO 7730, que aborda la evaluación de los ambientes térmicos moderados, la cual expone lo siguiente: “la sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire. Si factores han sido estimados o medidos, la sensación térmica global del cuerpo puede ser estimada mediante el cálculo del voto medio estimado (PMV predicted mean vote). El índice porcentaje estimado de insatisfechos (PPD predicted percentage dissatisfied), suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado”.

El control del entorno y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que el hombre se ha planteado desde sus orígenes. A lo largo del tiempo, los hombres han buscado, en la construcción de sus refugios, satisfacer las necesidades humanas básicas: la protección ante los elementos y la provisión de un espacio dotado de una atmósfera favorable para el recogimiento espiritual (Olgyay, 1963).

El hombre siempre buscó en la arquitectura una manera de protegerse, sea del sol o de la lluvia, sea del calor o del frío. Además, la creación de un local donde sea capaz de satisfacer sus necesidades, en la busca de confort térmico y desarrollo de sus actividades. El clima es factor determinante en las decisiones tomadas a cerca de la vivienda, visto que los

parámetros que actúan en cada situación hacen con que cada región tenga condiciones distintas de temperatura del aire, de radiación, de humedad relativa y de movimiento del aire.

El aire reúne tres de los cuatros parámetros que condicionan la sensación térmica: su temperatura, humedad (contenido de vapor de agua) y movimiento (velocidad). Sumado a estos, la radiación solar, que juntos forman los elementos principales que afectan la comodidad. Los medios por los que el ser humano intercambia calor con el ambiente físico pueden clasificarse en cuatro procesos principales. A través de la radiación se estima que el cuerpo humano pierde 40% de su calor. Pierde otros 40% por convección y conducción y, los 20% restantes por la evaporación de acuerdo a la figura 8. Sin embargo, estas proporciones poden cambiar si ocurren variaciones en las condiciones térmicas (Merçon, 2008).

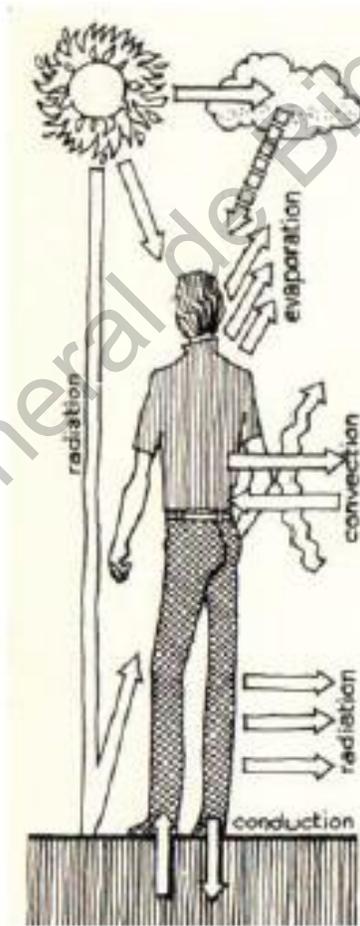


Figura 8 Cambios térmicos entre el hombre y el medio ambiente (Merçon, 2008).

En función de alcanzar una situación climática interior adecuada para los usuarios, resulta fundamental desde el comienzo del proceso proyectual edilicio, la determinación de rangos estándar de confort térmico. El logro de un buen clima interior es importante para el éxito del edificio, no sólo porque hace que los ocupantes se encuentren en confort, sino que decidirá los consumos energéticos y su consecuente influencia en la sustentabilidad (Balter, 2012).

Las personas que viven en áreas urbanas pasan entre el 80% y el 90% de su tiempo realizando actividades sedentarias en espacios interiores, tanto durante el trabajo como durante el tiempo de ocio. Este hecho ha llevado a la creación de ambientes interiores más confortables y homogéneos que los exteriores, sujetos a condiciones climáticas variables. Para ello, ha sido necesario acondicionar el aire de estos espacios, calentándolo en invierno y enfriándolo en verano. Para que el sistema de acondicionamiento fuera eficaz y rentable, había que controlar el aire que entraba en los edificios desde el exterior, cuyas características térmicas eran contrarias a las deseadas. Ello se tradujo en edificios cada vez más herméticos y en un control más riguroso de la cantidad de aire exterior utilizada para renovar las atmósferas interiores más viciadas.

Con la crisis energética de principios del decenio de 1970 y la consiguiente necesidad de ahorrar energía cambió la situación, se redujo drásticamente el volumen de aire exterior utilizado para ventilación. Lo que se hacía entonces era reciclar muchas veces el aire del edificio. Por supuesto, el objetivo era reducir el costo del acondicionamiento del aire. Pero comenzó a ocurrir otra cosa: aumentó considerablemente el número de quejas, molestias y problemas de salud de los ocupantes de los edificios. Lo cual, a su vez, repercutió en los costos sociales y financieros debidos al absentismo y llevó a los especialistas a estudiar el origen de las quejas que, hasta entonces, se pensaban ajenas a la contaminación.

No es difícil explicar qué fue lo que provocó las quejas: se construyen edificios cada vez más herméticos, se reduce el volumen de aire de ventilación, se utilizan más productos y materiales para aislar los edificios térmicamente, se multiplica y diversifica el número de productos químicos y materiales sintéticos utilizados y gradualmente se pierde el control individual del ambiente. Todo ello se traduce en un ambiente interior cada vez más contaminado. Es entonces cuando los ocupantes de los edificios cuyo ambiente se ha degradado reaccionan, en su mayor parte, quejándose del ambiente en el que viven y

presentando síntomas clínicos. Los síntomas más frecuentes son la irritación de las membranas mucosas (ojos, nariz y garganta), dolores de cabeza, insuficiencias respiratorias y una mayor incidencia de resfriados, alergias y demás.

A la hora de definir las posibles causas de tales quejas, la aparente sencillez de esta tarea se convierte en complejidad cuando se intenta establecer una relación causa-efecto. En este caso, es preciso considerar todos los factores (ya sean ambientales o de otro tipo) y su relación con las quejas o los problemas de salud que han aparecido. La conclusión (después de muchos años de estudiar la cuestión) es que estos problemas tienen muy diversas causas. Son excepciones aquellos casos en los que se ha establecido claramente la relación causa-efecto, como en el caso del brote de legionelosis, por ejemplo, o los problemas de irritación o de incremento de la sensibilidad debidos a la exposición al formaldehído.

El fenómeno recibe el nombre de síndrome del edificio enfermo y se define como los síntomas que afectan a los ocupantes de un edificio en el que las quejas derivadas de malestares físicos son más frecuentes de lo que podría esperarse razonablemente. Además de la calidad del aire interior, que resulta afectada por contaminantes químico y biológico, el síndrome del edificio enfermo se atribuye a muchos otros factores. Algunos son físicos, como el calor, el ruido y la iluminación; otros son psicosociales, entre los cuales destacan la organización del trabajo, las relaciones laborales, el ritmo de trabajo y la carga de trabajo. El aire interior desempeña un papel muy importante en el síndrome del edificio enfermo y, por consiguiente, controlar su calidad puede contribuir, en la mayoría de los casos, a rectificar o mejorar las condiciones que dan lugar a la aparición del síndrome (Farrás, 2001).

1.1.3 Contaminantes del aire interior.

La inmensa mayoría de los contaminantes del aire son subproductos de la actividad humana, generados por la industria, el transporte o la producción energética, que se detectan en el aire exterior de los edificios. También las actividades realizadas en los edificios, e incluso los propios materiales de construcción, son otra fuente de contaminación que puede alcanzar elevadas concentraciones al emitirse directamente en el espacio habitado. Estas vías de deterioro del aire interior pueden ser:

- a) Actividades directamente relacionadas con las personas: El metabolismo, el aumento de la respiración y transpiración, la cocción de alimentos, calentamiento de agua caliente sanitaria, el humo del tabaco, aumentan las concentraciones de CO₂. Estas altas concentraciones provocan efectos negativos sobre la salud de los ocupantes, que se relacionan con dolores de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios. Dicha concentración también está asociada a malos olores, siendo un dato clave para estudiar la renovación de un determinado local. Por las actividades de combustión doméstica, industrial o vehicular se forman de óxidos químicos (CO, NO, NO₂ y SO₂). El CO tiene un efecto asfixiante al unirse a la hemoglobina de la sangre y disminuir la capacidad de aporte de oxígeno hasta los tejidos y riego sanguíneo. El resto de óxidos químicos (NO, NO₂ y SO₂) son de naturaleza muy irritante, ya que al combinarse con el vapor de agua pueden formar ácidos tan corrosivos como el sulfúrico y el nítrico. En particular el uso del tabaco representa la liberación en el aire de una mezcla compleja de productos químicos (más de 3.000 contaminantes conocidos). Además de monóxido de carbono, dióxido de carbono y partículas, se producen óxidos de nitrógeno y una amplia variedad de otros gases y compuestos orgánicos, entre los que destacan la nicotina, los bencenos y los alquitranes. El tamaño del 95% de las partículas del humo de tabaco se halla dentro del intervalo respirable, afectando tanto a fumadores como a no fumadores. Siendo estos últimos los más vulnerables.
- b) Elevadas concentraciones de humedad: Concentraciones de humedad en el interior de los habitáculos, superiores al 75 %, provocadas por: las actividades de aseo, cerramientos ineficientes que favorecen la condensación en las zonas internas más frías. Son el vehículo que propicia el desarrollo de microorganismos en el polvo (ácaros y otros), la supervivencia de gérmenes o bacterias en el aire, favoreciendo la presencia de hongo, moho y sus esporas, afectando gravemente a personas con asma u otras afecciones alérgicas o respiratorias. Desembocamos entonces en el síndrome de “Edificio Enfermo”.
- c) Elementos de la construcción: Los productos empleados en su construcción, como fibras de vidrio en el aislamiento térmico o acústico y otros tipos de compuestos orgánicos volátiles que se utilizan en espumas, pinturas, mobiliario y decoración contaminan el aire interior. Partículas de pequeño tamaño como los aerosoles, las

motas de polvo o las fibras flotan en el aire. Estas pueden ser aspiradas por los ocupantes de un recinto produciendo molestias e incluso enfermedades respiratorias, especialmente irritantes para los asmáticos (Morón, 2011).

1.2 Descripción del Problema.

El edificio CATAS no cuenta con algún sistema de climatización que permita al edificio satisfacer necesidades óptimas de confort en temperatura y una calidad del aire optima al interior. Por manifestación de los usuarios se sabe que en la temporada de invierno el edificio CATAS se siente frio aún más en el primer nivel y que en la temporada de verano el primer nivel es fresco pero que el segundo y tercer nivel se siente calor. Cabe señalar que el edificio CATAS, aún no cuenta con un análisis térmico.

No existiendo confort térmico en el edificio CATAS se propone un sistema de climatización, se tomó en cuenta que al sugerir alguno este tendría repercusiones sobre los consumos de energía. Así que la opción de optar por aires acondicionados o de calefacción eléctrica quedo totalmente descartado, ya que tal vez, resolverá un problema pero genera uno nuevo, que es el de contribuir al aumento de emisiones CO₂ que son las causantes del efecto invernadero generando un cambio climático desfavorable para el medio ambiente global.

En cambio el optar por un sistema de climatización de eficiencia energética, contribuye a que el CATAS alcance parámetros de sustentabilidad. El CATAS cuenta con tecnologías sustentables como los son: paneles solares, aerogeneradores, y un sistema de agua de tratamiento; pese a ello aun no cumple parámetros para una certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), que sería una de las bases sólidas para determinar la sustentabilidad del edificio. Esto hizo replantear el objetivo que en su momento el coordinador Dr. Roque Osornio tuvo a bien mencionar, "Se pretende que CATAS logre ser un edificio 0", ante esta premisa se propuso un climatizador de energía renovable para el edificio CATAS simulándolo en un software con la finalidad de demostrar ahorro energético y proporcionar datos de un análisis térmico actual del edificio contra un análisis térmico con la implementación del sistema de climatización propuesto.

1.3 Justificación.

Ante los impactos ambientales generados por la edificación de acuerdo al Green Building Council, un 60% ocurre durante la etapa de uso y dentro de esta etapa el factor energético es uno de los de mayor impacto (Zabalza, 2009).

Aactualmente, la reducción del consumo energético asociado al uso y construcción de los edificios y el incremento de la eficiencia energética en el acondicionamiento climático de los mismos, son cuestiones que están recibiendo una gran atención, tanto desde el punto de vista científico-técnico como desde el empresarial. Los estudios recientes indican que el consumo de energía en los edificios representa el 40 % del consumo energético mundial, siendo más de la mitad atribuible a sistemas de climatización. El cumplimiento del objetivo de ahorro energético no debe comprometer el bienestar de los usuarios, requiriéndose (junto con innovaciones en los diseños constructivos) actuaciones de control específicas sobre los sistemas de climatización orientadas a proporcionar ambientes confortables desde el punto de vista térmico, visual y de calidad de aire óptima con el menor consumo de energía posible (Guzman, 2010).

La contribución para la correcta aplicación del confort térmico y de la Calidad de Ambiente Interior en el edificio CATAS es de enorme relevancia para la calidad de los usuarios siendo favorable su bienestar, ya que “dependiendo del ambiente interior, el trabajo de la gente puede favorecer o provocar incomodidad y distracciones tras reducir su rendimiento físico y mental; esto afecta la productividad considerablemente” (San Juan, 2018) . Al no existir un diseño o sistema que cumpla con ello, es evidente la implementación de algún sistema que cubra parámetros de confort térmico; teniendo en cuenta que los sistemas de climatización de uso convencional contribuyen a un impacto ambiental negativo y un aumento económico en las facturas de electricidad, es relevante que el edificio CATAS contemple tres grandes pilares: el económico, el medioambiente y lo social. Por ello el diseñar un sistema de climatización sustentable para el edificio CATAS, es contribuir a tres vertientes: confort térmico en el edificio, ahorro económico en la factura eléctrica y el uso de una tecnología para el ahorro de energía que permitirá reducir la demanda de combustibles fósiles y las emisiones

de gases de efecto invernadero. Incluso la generación de energía con fuentes renovables permite lograr edificaciones energéticamente sustentables.

1.4 Planteamiento General.

Para optimizar el confort térmico del CATAS, se plantea una propuesta de diseño de un Intercambiador Tierra-Aire (ITA), sistema tecnológico pasivo; el propósito principal de este sistema consiste en utilizar las condiciones de estabilidad térmica que se encuentran en la profundidad del suelo para mejorar las condiciones en el interior de los edificios.

Además de ello los ITA permiten reducir las pérdidas energéticas derivadas de la ventilación impuestas por la normativa (perdidas que dependen del caudal y del salto térmico, para lo que la reducción de este último reducirá las perdidas). El aire impulsado a los recintos interiores es conducido por unos conductos enterrados para tal propósito, de esta manera en invierno como se muestra en la figura 9, se consigue precalentar el aire y en verano refrigerarlo como se muestra en la figura 10. Generalmente la temperatura del terreno se mantiene constante alrededor de los 15°C, a partir de los 3m de profundidad, una temperatura relativamente agradable en invierno y refrescante en verano (Dias, 2018).

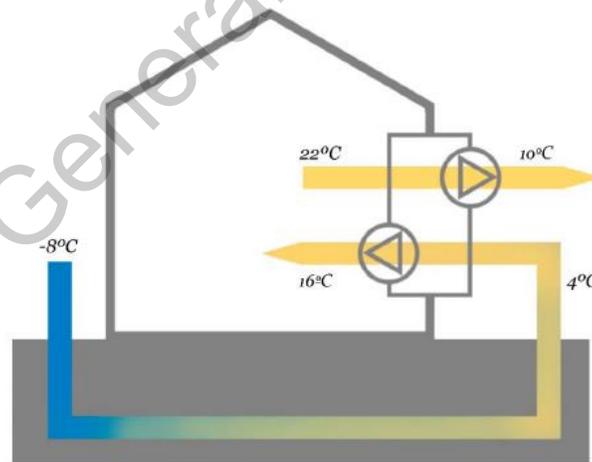


Figura 9 Diagrama del funcionamiento de un ITA en invierno. Fuente ovacen.com

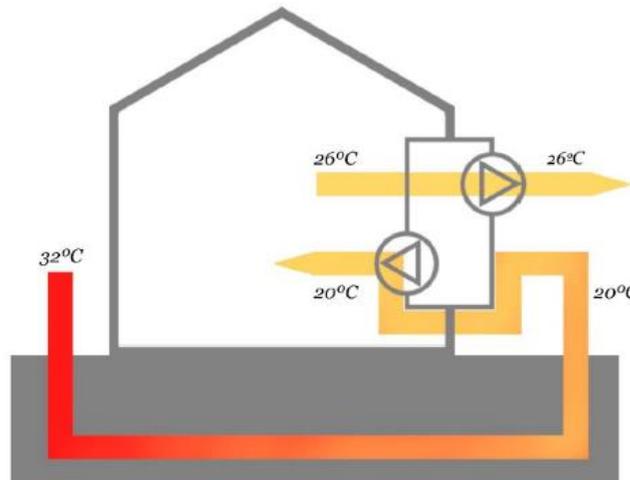


Figura 10 Diagrama del funcionamiento de un ITA en verano. Fuente ovacen.com

El diseño ITA para el CATAS queda plasmado en: planos arquitectónicos y de instalación para su futura ejecución, así como su configuración de diseño, donde se encuentran datos necesarios para su correcta y óptima ejecución.

Se realizan tres simulaciones en el software Design Builder, una del edificio CATAS en su estado actual, una simulación del edificio CATAS con la integración del sistema diseñado de ITA y una simulación con un sistema de climatización convencional. Con los resultados de la simulación se observan los cambios de temperatura y consumo energético uno respecto de otro, esto permite realizar comparativas y comportamiento del edificio con dos diferentes sistemas de climatización y sin ningún sistema de climatización. El software cuenta con procedimientos de control de calidad que aseguran la exactitud de los resultados con el motor de cálculo Energy Plus.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

Diseñar un Intercambiador tierra-aire para el edificio CATAS realizando una simulación energética en el software Design Builder; para conocer el confort térmico que gana y el ahorro energético que logra, demostrando así su pertinencia para el CATAS y mostrándose referente de diseño climático para otros edificios.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- A) Investigar las herramientas teóricas, cálculos y todo lo necesario para diseñar un sistema de Intercambiador Tierra-Aire; con la literatura, estudios e investigaciones que hayan ejecutado este tipo de sistema. Para determinar cuáles son los factores a tomar en cuenta para un correcto diseño así como un adecuado dimensionado del sistema ITA.
- B) Realizar un proyecto del diseño de un ITA, adaptándolo al edificio CATAS que ya está construido, en base a los datos, cálculos y criterios obtenidos en el punto anterior (inciso A); elaborando la configuración del sistema ITA, ejecutando planos arquitectónicos y de instalación. Para su posible ejecución en caso de que se construya o siendo un referente de proyecto para otros edificios que deseen climatizar espacios interiores con este el sistema ITA.
- C) Investigar las herramientas teóricas del software Design Builder; directamente en el manual que proporcione la página oficial. Para modelar el edificio CATAS en Design Builder, ingresando las medidas reales del edificio así como la configuración real de los materiales, y llevar a cabo las simulaciones energéticas que se requieren en los objetivo del inciso “D” y “E”.
- D) Simular el sistema de ITA en el modelo del edificio CATAS con el motor Energy Plus; realizando la configuración de diseño del sistema ITA lograda en el objetivo del inciso “B”. Para obtener resultados de confort térmicos y de consumo energético.
- E) Simular un sistema de climatización de tipo convencional en el modelo del edificio CATAS con el motor Energy Plus; realizando la configuración con un equipo Chiller. Para comparar los consumos energéticos de los dos diferentes sistemas ITA y de tipo convencional; demostrando el ahorro energético que logra uno respecto del otro.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1 Intercambiador Tierra-Aire.

2.1.1 Antecedentes.

Los intercambiadores tierra-aire utilizan el subsuelo para enfriamiento y calentamiento de una corriente de aire que circula a través de tubos que se entierran para tal propósito, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico de edificios se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos, en los que en muchos casos permite un ahorro de más del 45% de sus requerimientos energéticos y en edificios públicos.

Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones. Los conductos enterrados funcionan en bucle cerrado con el espacio a climatizar. En dicho bucle un impulsor fuerza la circulación de aire. El aire puede ser forzado a través del bucle diversas veces para alcanzar determinada temperatura tras un cierto número de circulaciones.

Estos sistemas, conocidos desde la antigüedad (pozo provenzal, pozo canadiense), ya generaron interés en la última década de los años setenta y primeros ochenta aunque no alcanzaron una amplia aceptación. La tendencia actual hacia tecnologías más sostenibles ha generado el resurgir del interés en el concepto de los intercambiadores tierra-aire.

En origen el pozo provenzal fue una canalización en piedra enterrada en el flanco de una colina que servía para canalizar por convección natural un flujo de aire que transitaba desde una boca externa a través de una conducción hacia la pieza principal de las construcciones tradicionales. En invierno la tierra recalienta este aire entrante mientras que en verano lo enfría gracias a la inercia térmica del suelo. Un sistema poco sofisticado y de baja eficiencia pero que en una edificación provenzal tradicional, donde la inercia térmica es elevada debido a la existencia de muros o paredes de gran espesor y pocas aberturas, el resultado es más que apreciable.

El pozo provenzal es de hecho un intercambiador geotérmico que asegura la función de climatización estival o invernal del aire de ventilación. Este sistema es llamado también pozo canadiense en referencia a la función de precalentamiento invernal del aire de ventilación (Solé, 2010).

En la antigua Grecia y Persia ya se utilizaban las ventajas térmicas del suelo para mejorar las condiciones de confort térmico en espacios interiores, pero fue en la Edad Media y en Italia, en donde se implementó un sistema de perforaciones en el subsuelo con el fin pre-calentar o pre-enfriar aire.

En décadas recientes, producto de una mayor conciencia ambiental, se ha retomado y mejorado este sistema ancestral para su implementación en la construcción de edificios, específicamente para la mejora de las condiciones de confort térmico de los espacios interiores, bajo estándares de alta eficiencia energética (Obando, 2015).

Este sistema se ha realizado especialmente en países desarrollados y con climas estacionales, como se puede ver en los siguientes puntos:

- a) Bélgica, oficinas, 2000m², características: 2 tubos de concreto con diámetro interno de 80cm y 40m de largo, enterrados a profundidades de 3 y 5m. Resultados: El suministro máximo de aire de las tuberías enterradas nunca excede los 22°C. En paralelo, se encontró que el intercambiador de calor disminuye las horas de incomodidad en la oficina en un 20-30% durante todo el periodo de verano (Breesch, H. et al, 2005).
- b) Alemania, oficinas, 6000m², En la primera oficina, 26 intercambiadores enterrados fueron diseñados para un flujo de aire de 12000 m³/h. El largo de los tubos estuvo entre 67 y 107m en polietileno de 20 y 30cm de diámetro. Resultados: Cuando la temperatura ambiente estaba por encima de 30°C, la temperatura de salida estaba cerca de 18°C. La temperatura de salida del aire fue siempre entre 20 y 5°C. Los beneficios específicos de energía estaban cerca de 13,5 kWh / m² / año (Pfafferott, 2003).
- c) Alemania, oficinas, 13150m², 7 intercambiadores enterrados a una profundidad de 2m, para un flujo de aire de 9000m³/h. El largo de los tubos fue de alrededor de 95m, de 25cm de diámetro en polietileno. Resultados: Cuando la temperatura ambiente estaba

alrededor de 36°C, la temperatura de salida de los intercambiadores estaba cerca de los 24°C. Los beneficios específicos de energía estaban cerca de 23,8 kWh / m² / año (Pfafferott, 2003).

- d) India, hospital, El largo total del sistema de túnel intercambiador era 80m. Resultados: Monitoreo del sistema mostró que cuando la temperatura ambiente máxima estaba cerca 42°C, la temperatura máxima del aire a la salida de los tubos estaba cerca a los 25,5°C. Se concluyó que un túnel de 80m de largo con una sección transversal de 2.05 x 1.4m puede enfriar aproximadamente 7 habitaciones de 16m² de área en planta (Badescu, 2011).
- e) Rumania, casa pasiva, 2 tambores paralelos con diámetro exterior de 400mm enterrados a 3.5m de profundidad. Los tambores se conectaban por 8 tubos con longitud de 30.8m y 5m respectivamente. Resultados: Monitoreo mostró que cuando la temperatura ambiente era de 32°C, la temperatura a la salida de los tubos estaba cerca de 26°C (Badescu, 2011).
- f) Francia, casa, Tubos de 30m enterrados a 1.6m de profundidad. Resultados: Proyecto no monitoreado, pero resultados de simulación mostraron que el uso de ITAS reduce los grados día de refrigeración de 56 a 22 (Peuportier, 2008).
- g) Brasil, casa, 30m², 2 tubos a 2m de profundidad y uno a 0.5m de profundidad. Resultados: Intercambiadores enterrados a 2m de profundidad tienen el potencial de disminuir la temperatura interior cerca de 3°C durante el periodo de verano (Sattler, et. al. 2011).

2.1.2 Introducción de un ITA.

Los intercambiadores de calor tierra aire se basan en la utilización de la energía térmica del subsuelo para pre-tratar el aire de ventilación de los edificios. El aire así obtenido presenta un mayor grado de confort térmico al obtener un aire más cálido del habitual en tiempo frío y más fresco en tiempo caluroso. La temperatura del subsuelo inmediato en nuestras latitudes es relativamente constante alrededor de los 15°C a 2 m de profundidad.

En una instalación tipo el aire penetra dentro del pozo por una toma de aire debidamente protegida, circula por canalizaciones enterradas gracias a un sistema de impulsión y es repartido por las estancias del edificio a climatizar asegurando un aporte de aire nuevo al

local. Para una correcta implementación en un edificio moderno el procedimiento es mejorado mediante la solución de los posibles problemas de condensación en las canalizaciones así como la optimización de la regulación térmica mediante el reparto de aire a cada pieza o volumen individual así como un correcto tratamiento del nivel sonoro del soplado dentro del pozo dado que dicho soplado en la actualidad es asistido por extractores o ventiladores.

Las ventajas del pozo provenzal son numerosas. En principio requiere una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional, especialmente si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, y por otra parte los requerimientos energéticos son completamente marginales implicando así mismo un entretenimiento y mantenimiento muy sobrios. Debe destacarse que el sistema es especialmente duradero y completamente sostenible y ecológico.

Existen ciertos condicionamientos en el funcionamiento de un intercambiador tierra aire pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- a) Las funciones de precalentamiento en invierno y refrigeración en verano están afectadas por dos desfases uno diario y otros estacionales dados por la inercia térmica del subsuelo. Esta inercia térmica condiciona un desfase temporal alcanzando el subsuelo inmediato los valores más frescos por la mañana tras la noche y en primavera tras el invierno y los valores más cálidos por la tarde tras el mediodía y en otoño tras el verano.
- b) El almacenamiento de calor debido a las oscilaciones estacionales se propaga unos 3 m alrededor de los conductos mientras que en la oscilación diaria se propaga unos 20 cm de tal manera que las oscilaciones diarias primarán sobre las oscilaciones estacionales que requieren una masa de almacenamiento más importante y además se encuentran limitadas por una difusión en profundidad.
- c) Estos desfases se caracterizan por presentar una caída exponencial a lo largo de la longitud del tubo.
- d) Los sistemas basados en pozos canadienses funcionan en bucle abierto. El sistema de ventilación sirve a la vez de bucle de recarga térmica y de distribución (Solé, 2010).

2.1.3 Condiciones del terreno.

2.1.3.1 Aprovechamiento de la Inercia Térmica.

Los ITA, como lo son los tubos enterrados, son óptimos porque permiten utilizar las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Es decir se aprovechan las características del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios exteriores, por la cual se consigue una temperatura constante de 15° C en cualquier parte del mundo, de día o de noche, en invierno o en verano (Hollmuller et. al. 2005).

En la actualidad los ITA pueden optimizarse mediante el uso de dispositivos capaces de sacar partido de las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Básicamente se trata de implementar en el sistema mediante relleno de los conductos, o soluciones alternativas, un acumulador térmico mediante el uso de materiales que posean una buena capacidad calorífica capaz de retardar la oscilación térmica en vez de simplemente templarla. El flujo de aire debe ser homogéneo para que el intercambio de calor entre el aire y el material sea óptimo (Solé, 2010).

2.1.3.2 Propiedades Geotérmicas del suelo.

La energía geotérmica es la base para la utilización de tubos enterrados como sistema de climatización porque permite utilizar el suelo como sistema de intercambio de calor. Las características térmicas de un suelo están influenciadas por el contenido volumétrico de agua del suelo, la fracción de volumen del aire y la fracción de volumen de los sólidos del suelo, pero también se relaciona con la profundidad. Estudios demuestran que a mayor profundidad mayor es la temperatura (2000m, 100°C). En el sistema de tubos enterrados, se trabaja con profundidades maniobrables en las que el terreno se mantiene a una temperatura constante a lo largo del año. Investigaciones realizadas en Kusuda en EEUU (1965), determinaron que la temperatura a una profundidad mayor a 2m ya no presenta variabilidad y corresponde a la media de la temperatura anual (Cabezas, 2012).

La transferencia del calor dentro de un medio, como lo es el suelo, está definido por dos propiedades: la conductividad térmica y la capacidad calorífica, que son la base fundamental para el funcionamiento de tubos enterrados ITA.

- a) Conductividad. La conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre dos cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro con menor que está en contacto con el primero. La conductividad térmica (λ) es la propiedad que indica la capacidad de un material para conducir el calor. Se expresa según la Ley de Fourier como el calor que atraviesa en la dirección x un espesor de un metro de material por la diferencia de un grado entre los extremos opuestos. Se expresa en W/mK o $W/m^{\circ}C$. En los materiales que se componen el terreno normalmente aumenta la conductividad con el aumento de la humedad hasta alcanzar los niveles del suelo saturado. La conductividad térmica para realizar un sistema de intercambio de calor se puede obtener mediante pruebas de laboratorio sobre una muestra de terreno recogida, realizando un test de respuesta térmica del terreno o haciendo estimaciones a partir de tablas. En instalaciones medianas o grandes es recomendable realizar test sobre el terreno ya que una pequeña diferencia en el valor de la conductividad puede suponer una gran diferencia en el dimensionado (Dias, 2018).
- b) Capacidad Calorífica. La capacidad calorífica o térmica volumétrica (ρC) es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo y el cambio de temperatura que experimenta. En relación con el terreno es el calor que es capaz de almacenar un volumen de terreno con el incremento de su temperatura, pero también lo es la oposición a dicho cambio de temperatura. De esta manera cuanto mayor sea la capacidad térmica del terreno mayor tendrá que ser la aportación de calor para conseguir el mismo incremento de temperatura, pudiendo hablarse así de inercia térmica (Dias, 2018).

Tomando en cuenta estas dos propiedades se puede establecer que, a determinada profundidad, tanto la penetración y enfriamiento del suelo es lento de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1 Tipos de suelo, conductividad térmica y capacidad calorífica (Dias, 2018).

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mk)			Capacidad térmica
	Min.	Típico	Max.	(MJ/m^3k)

Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4 - 1,6
Grava, saturada de agua		1,8		2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3 - 1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2 - 2,9
Arcilla / limo, seco	0,4	0,5	1	1,5 - 1,6
Arcilla/ limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6 - 3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5 - 3,8

2.1.4 Tipologías del sistema ITA.

Dentro de estos intercambiadores térmicos existen varias tipologías, la elección de una u otra dependerá del espacio disponible y necesario para la instalación, del caudal del aire a tratar, de las exigencias de calefacción y refrigeración y la superficie a climatizar. Basándose en estos factores las empresas que desarrollan los sistemas propondrán la configuración más correcta adaptada a los conductos y materiales que ellos comercialicen. A pesar de las múltiples disposiciones se pueden agrupar en tres grupos: directos aislados (anillo), distribución Techelmann (rejilla) y bloque Techelmann (bloque-rejilla).

2.1.4.1 Directos aislados (anillo).

Esta disposición requiere una gran superficie para ser instalado, ya que utiliza un único tubo enterrado entre 1.5 y 3 metros de profundidad. El diámetro del tubo varía en función del caudal pudiendo tener grandes dimensiones. El caudal óptimo se sitúa entre 150 y 300 m³/h.

Esta tipología se utiliza principalmente en viviendas unifamiliares o edificios de dimensiones pequeñas. Aun así, este sistema puede utilizarse en cualquier tipo de construcciones. El diseño resulta rentable y puede aprovechar las trincheras existentes para evitar la excavación.

La instalación se compone de uno o dos conductos direccionados al espacio a climatizar, donde se encuentra un ventilador que impulsa el aire de todo el sistema de acuerdo a la figura 11 (Dias, 2018).

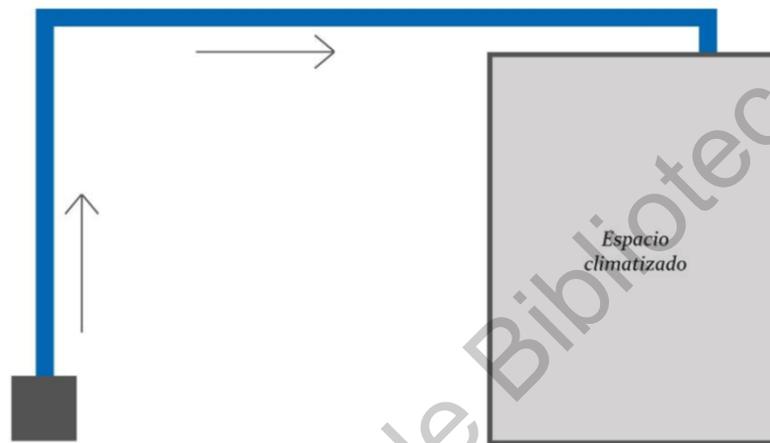


Figura 11 Diagrama de la tipología en anillo (Dias, 2018).

2.1.4.2 Distribución Techelmann (rejilla).

En este modelo los conductos se disponen a modo de rejilla unidos mediante dos cámaras de aire, una de entrada y otra de salida. Estas cámaras utilizan diámetros grandes, mientras que los conductos utilizan diámetros menores apropiados para un buen intercambio de calor. Esta rejilla de conductos se instala a una profundidad de unos 3 metros y es apropiada para caudales superiores a $300 \text{ m}^3/\text{h}$.

Este sistema se utiliza cuando la disposición en anillo aislado no es válida ya que requiere demasiada superficie o el volumen de aire a climatizar es excesivo.

Los materiales de los conductos de entrada y salida de aire y de la rejilla pueden variar en función de las necesidades, siendo los más utilizados el PVC y el hormigón. También debemos tener en cuenta que este tipo de sistemas se utiliza en construcciones con grandes caudales de ventilación, por lo que las galerías de captación y salida del aire deben tener un

sistema de drenaje, ya sea por infiltración del terreno o condensación del aire. Además, debido a las exigencias el sistema debe trabajar con una o varias unidades de tratamiento de aire para controlar el caudal y la velocidad y terminar de tratar el aire, ya que solo con los conductos no serán suficientes, de acuerdo a la figura 12 (Dias, 2018).

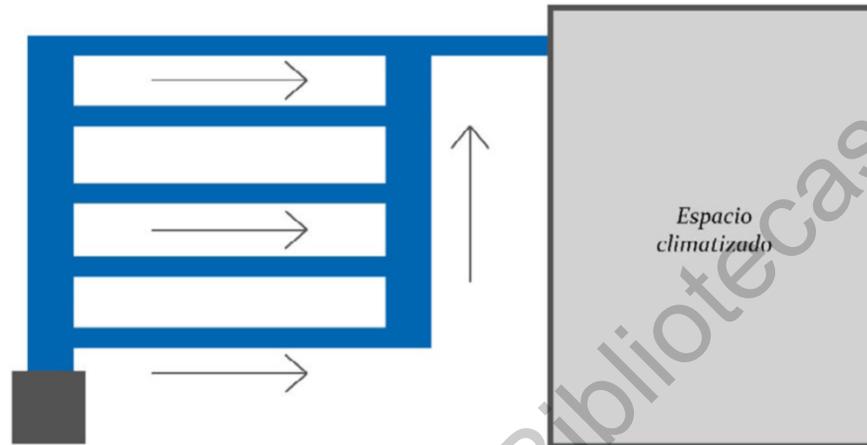


Figura 12 Diagrama de la tipología en rejilla Techelmann (Dias, 2018).

2.1.4.3 Bloque Techelmann (bloque-rejilla).

Este sistema crea un bloque de tuberías con una serie de rejillas superpuestas, para aprovechar al máximo la superficie de las que se dispone. En este tipo de disposiciones se debe tener en cuenta la inercia térmica, ya que debe ser lo suficientemente alta para que el intercambio de calor se realice correctamente. Se instala a una profundidad mínima de 2 metros en un espacio normalmente reducido.

Este sistema tradicionalmente se utilizaba en invernaderos y naves de cría, actualmente también se utiliza en viviendas y naves donde las exigencias de climatización sean bajas y el espacio de aplicación reducido.

Los conductos se disponen a varias profundidades y quedan embebidos en el relleno. Este relleno puede ser hormigón o el mismo terreno, siempre que suponga una inercia térmica alta. El bloque de conductos cuenta, por un lado, con una cámara de entrada de aire con filtros y ventilación, y por el otro, con un conducto de salida, de acuerdo a la figura 13 (Dias, 2018).

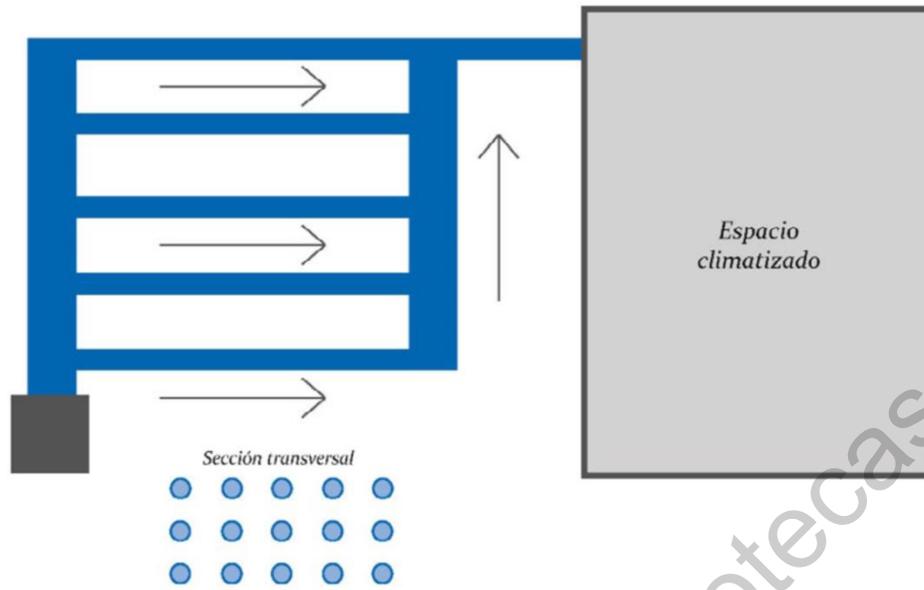


Figura 13 Diagrama de la tipología en bloque (Dias, 2018).

2.1.5 Ventajas y Desventajas del sistema ITA.

El sistema ITA de tecnología pasiva ofrece grandes ventajas que vale la pena su implementación en los edificios, preferentemente contemplados desde el inicio del diseño proyectual antes de su ejecución, aunque también se pueden implementar en edificios ya construidos; siempre y cuando las condiciones lo permitan. Por tanto es importante conocer las desventajas para tener en cuenta las consideraciones que se deben tomar para el diseño o la elección de dicho sistema.

Ventajas:

- a) Consumen menos energía para funcionar.
- b) Menor contaminación.
- c) No utilizan compresor, clorofluorocarbonos (CFC) o cualquier refrigerante. Utilizan como fluido de trabajo el aire.
- d) Tienen un diseño más simple y por lo tanto menores costos de mantenimiento.
- e) En algunos casos tienen costos iniciales más bajos que otros sistemas de calefacción o de enfriamiento.

Desventajas:

- a) En algunas ocasiones los ITAS tienen un costo inicial más alto, siendo de 20% a 40% más caro que las unidades de calefacción o de enfriamiento, esto depende cuando no es considerado al inicio del proyecto o cuando la disposición del sistema se proyecta a mayores profundidades que requieren de mayor excavación.
- b) Generación de ruido por el ventilador, en caso de tener velocidades altas.
- c) Aparición de malos olores cuando el sistema de drenaje no está bien diseñado y hay presencia de condensados (Obando, 2015).

2.1.6 Ejemplo Análogo: ITA del edificio Lanzadera Universitaria de Centros de Investigación Aplicada LUCIA.

El edificio LUCIA es un espacio para albergar grupos de investigadores universitarios dedicados a la transferencia de conocimiento entre la universidad y el sector público. Ubicado en la Universidad de Valladolid, España. El edificio LUCIA destaca por ser una referencia mundial en eficiencia energética y arquitectura sostenible, ha obtenido la máxima puntuación de la certificación "LEED Platinum" de un edificio de nueva construcción de toda Europa y el segundo de todo el mundo. Es un prototipo de arquitectura sostenible de energía CERO que combina distintas estrategias para reducir el consumo final de energía y las emisiones de CO₂. Con el fin de reducir la demanda energética se diseñó, entre otros, un sistema de pre acondicionamiento del aire de renovación mediante la energía contenida en el terreno que consiste en captar el aire exterior y pre acondicionarlo antes de introducirlo en el edificio mediante lo que se conoce como pozos geotérmicos de baja potencia o intercambiador tierra aire (Cid, 2015).

2.1.6.1 Datos generales del sistema ITA del edificio LUCIA.

El recuperador de energía geotérmica ITA forma parte de la instalación de ventilación del edificio LUCIA citado anteriormente. Su instalación consta de 52 tubos de polietileno de alta densidad PE 80-250 mm, soterrados en tierras procedentes de la obra por tongadas de 30 cm, regado y compactado por medios mecánicos, repartidos en filas de 17,18 y 17, con una longitud de 16,7m en posición horizontal, se muestra en las figuras 14, 15 y 16.

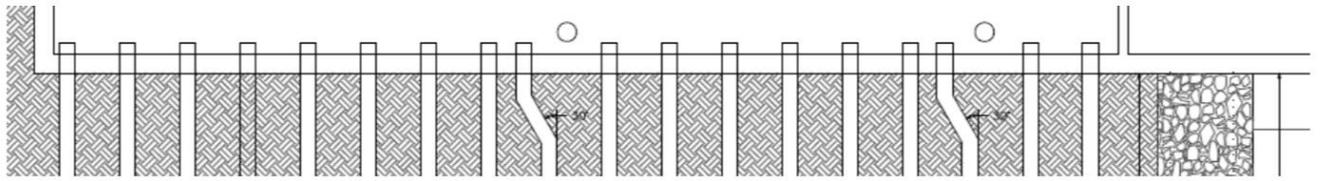


Figura 16 Vista de la planta y sección de los tubos en la descarga de aire al edificio
(Barbado, 2016).

La separación vertical y horizontal corresponde a: $L_v=70$ cm, $L_{H1}=27$ cm y $L_{H2}= 68$ cm; como se muestra en la figura 17.

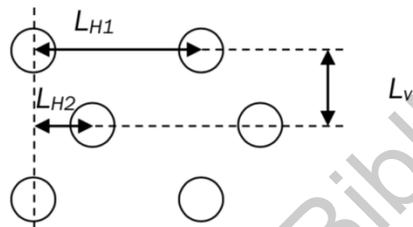


Figura 17 Separación vertical y horizontal (Barbado, 2016).

Y la separación diagonal: $L_{D1} \approx 75$ cm y $L_{D2} \approx 98$ cm; como se muestra en la figura 18.

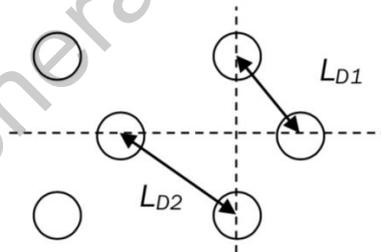


Figura 18 Diagonal (Barbado, 2016).

La toma de aire es visual, como se muestra en las figuras 19 y 20, compuesta por tres tomas individuales introduce a una cámara en la cual posteriormente se extrae el aire mediante ventiladores de impulsión hacia la climatizadora y su posterior reparto para la ventilación del edificio como se muestra en la figura 21 (Barbado, 2016).

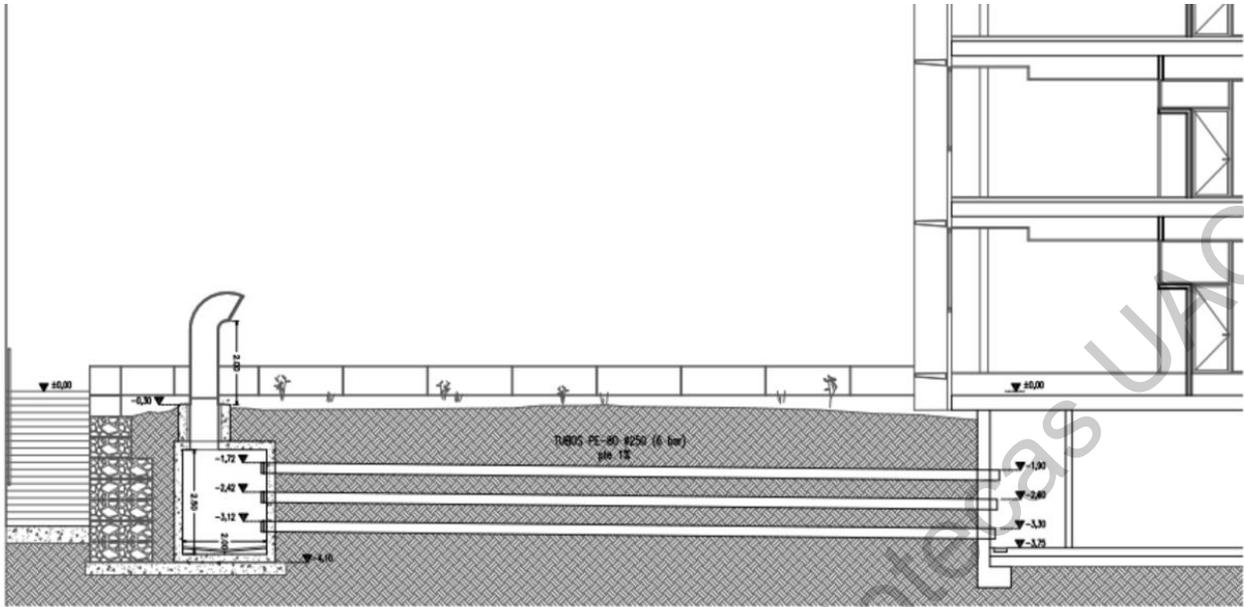


Figura 19 Plano descriptivo de la instalación ITA (Barbado, 2016).



Figura 20 Toma de aire a la entrada de la instalación (Barbado, 2016).



Figura 21 Imagen de la salida de aire de los pozos a la cavidad anterior a la UTA (Barbado, 2016).

El dimensionamiento del ITA está determinado, sobre todo, por los siguientes parámetros:

- a) Caudal volumétrico de aire.
- b) Profundidad de montaje.
- c) Material del tubo.
- d) Valores característicos del subsuelo.
- e) Clima en el emplazamiento de la instalación.

El aire de entrada en la climatizadora o Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) puede proceder de dos vertientes diferentes como se muestra en la figura 22 (Barbado, 2016).

1. Desde la pre-cámara del sistema ITA (verde).
2. Directamente del exterior (azul).

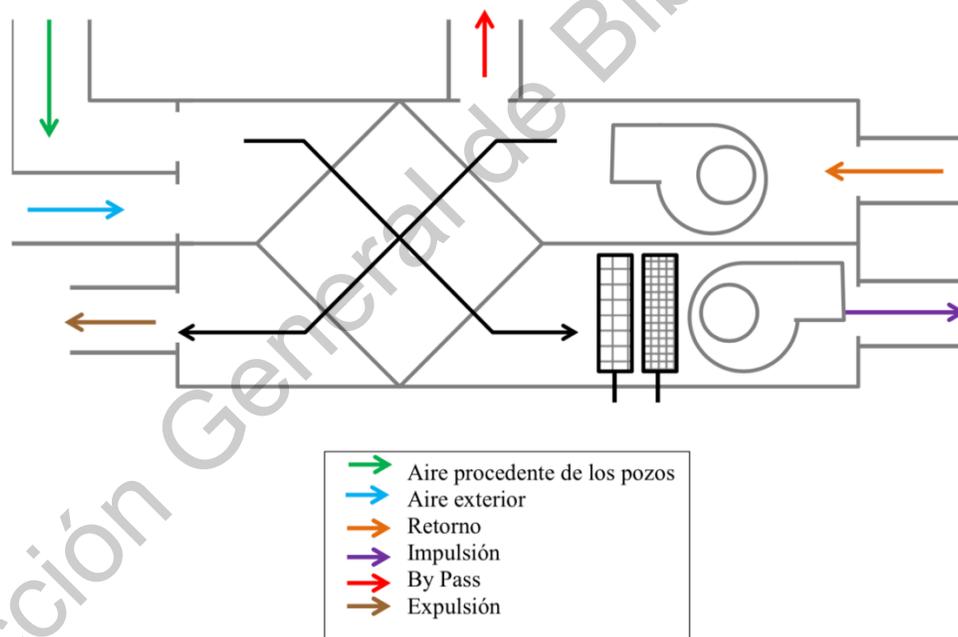


Figura 22 Esquema de flujos de aire que atraviesan la UTA (Barbado, 2016).

Esta instalación, aparentemente simple, está dotada de sistemas de monitorización mediante sondas de temperatura, humedad y presión y un control de compuertas y ventiladores que regulan el paso de aire al edificio como en la figura 23 (Barbado, 2016).

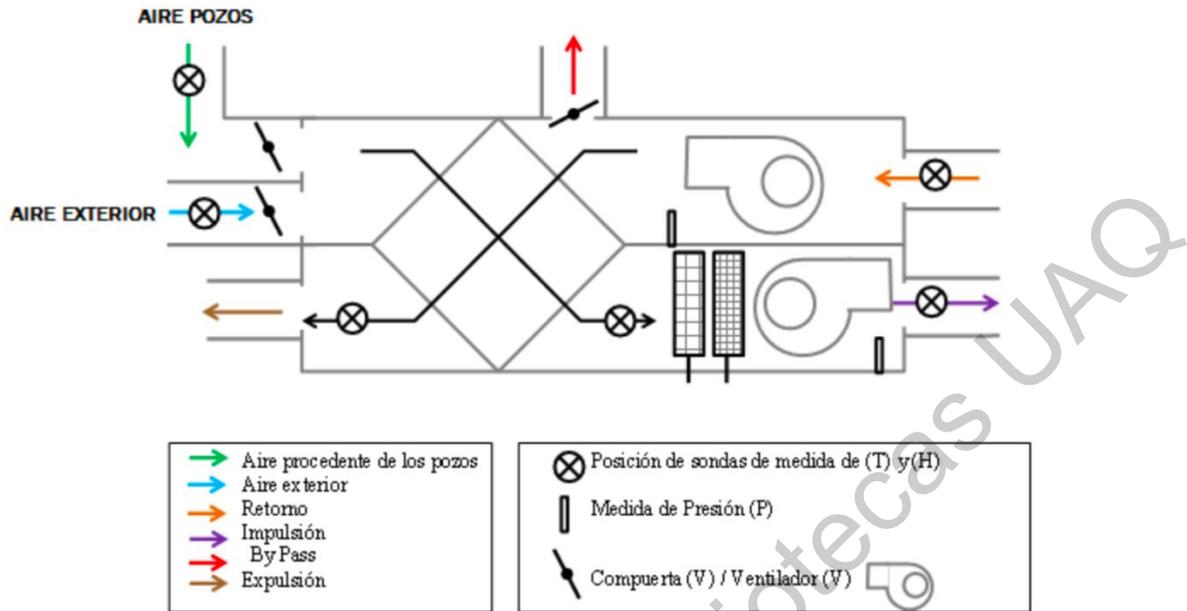


Figura 23 Esquema de flujos de aire que atraviesan la UTA con sistemas de monitorización (Barbado, 2016).

2.1.7 Componentes del sistema ITA.

Existe una serie de elementos comunes en todas las disposiciones, cada uno de estos componentes variará dependiendo de la situación climática y de las necesidades concretas del proyecto. Pero la mayoría se compone de: torre de aspiración, colector, conductos, sistema mecánico de impulsión, distribución, extracción y evacuador de condensados o drenaje (Dias, 2018).

a) Torre de aspiración o entrada del aire.

Conducto vertical de admisión del aire exterior. El aire exterior es aspirado hasta el ITA por medio de una torre de aspiración. Por defecto se efectúa una depuración previa del aire aspirado mediante un filtro grueso o fino. La mayor parte de las partículas sólidas y el polen son retenidos, con lo cual se minimiza la contaminación del tubo del intercambiador geotérmico ITA como se muestra en la figura 24 (Cabezas, 2012).



Figura 24 Ejemplos de torres de aspiración (Dias, 2018).

b) Colector.

Se encuentra conectado directamente a la torre de entrada. Recoge el flujo de aire y lo distribuye a los ductos transversales, un ejemplo de colector se muestra en la figura 25 (Cabezas, 2012).



Figura 25 Ejemplo de colector de plástico (Dias, 2018).

c) Conductos (tubería).

Las tuberías son la esencia del sistema y son las encargadas de conducir el aire por el sistema, pasándolo a través del suelo en donde se realiza el intercambio térmico y posteriormente liberarlo en el espacio interior de la edificación.

Estas tuberías poseen diversas variables que deben tenerse en cuenta para su dimensionamiento como conductividad térmica del material, longitud, diámetro y profundidad

de enterramiento; estas variables se determinan en función del área que haya que cubrir con el sistema, las condiciones térmicas del suelo (conductividad y difusión térmica, profundidad de temperatura estable) y condiciones ambientales del exterior (temperatura del aire y humedad relativa) (Obando, 2015).

Aunque el material de los tubos no es significativo en lo referente a la transferencia de calor con el suelo, su escogencia dependerá de factores económicos relacionados con su inversión inicial, facilidad de instalación y costos de mantenimiento. Los materiales más comunes para la fabricación de las tuberías de los sistemas ITA son:

- 1- Tubería en PVC. En el mercado tiene un costo relativamente bajo.
- 2- Tubería en metal. Tiene un costo alto de inversión inicial y de mantenimiento.
- 3- Ductos en concreto. Son tuberías o bloques de tuberías prefabricados aunque para grandes diámetros se fabrican in situ. Igual que la tubería de metal, representa altos costos especialmente en la inversión inicial.
- 4- Tubería de polímeros. Dentro de esta clasificación entran materiales como el polietileno y el polipropileno. En el análisis de costos se encontrarían en un punto intermedio, aunque no requiere mayores gastos en mantenimiento. Algunos fabricantes utilizan típicamente polietileno de alta densidad, que es un plástico duro. Este material tiene, por lo general una garantía de hasta 50 años (Florides et. al., 2007).

En la escogencia del material se debe pensar en las siguientes características:

- 1- Resistencia a la corrosión ya que estará en contacto permanente con el aire y el agua.
- 2- Resistencia al aplastamiento debido al hecho de estar enterrado.
- 3- Resistencia a ligeras deformaciones para soportar movimientos del terreno sin romperse.
- 4- No ser poroso ni permeable para evitar cualquier tipo de contaminación.
- 5- Superficie interior lisa para facilitar la evacuación de condensados.
- 6- Si el tubo está compuesto por varias piezas las uniones, estas deben de ser estancas (Obando, 2015).

Son muchos los materiales que se pueden utilizar como se muestra en la tabla 2, aunque normalmente, por la relación utilidad precio se utilizan los siguientes: PVC, polipropileno, hormigón pretensado, cerámica y tubos metálicos galvanizados (Dias, 2018).

Tabla 2 Material y su conductividad para los conductos de un ITA (Dias, 2018).

Material	Conductividad térmica (W/mk)
PVC, como se muestra en la figura 26.	0,17
Polipropileno	0,22
Hormigón pretensado	0,97 - 1,9
Cerámica	0,85 - 1,3



Figura 26 Ejemplo de conductos de PVC (Dias, 2018).

d) Sistema mecánico de impulsión.

Sirve para conseguir el ingreso del caudal de aire necesario, en algunos casos incluido en la máquina de climatización utilizada (Cabezas, 2012).

En edificios donde la exigencia térmica no es demasiado elevada es suficiente con la colocación de un ventilador que mantenga la velocidad del aire y el caudal constante. Si la calidad del aire pre-tratado no es suficiente para las condiciones de confort interior será necesario la utilización de un sistema de tratamiento del aire que, además del ventilador,

disponga de filtros y baterías, ejemplo de un sistema mecánico de impulsión se muestra en la figura 27 (Dias, 2018).



Figura 27 Ejemplos de sistemas mecánicos de impulsión (Dias, 2018).

e) Distribución y extracción.

A partir de este punto el sistema se trata y dimensiona de igual manera que un edificio convencional con ventilación mecánica. Se establecerán los conductos, caudales y rejillas necesarios para la impulsión a cada una de las estancias. Y posteriormente, la extracción de ese aire tratado hacia un recuperador de calor si es necesario (Dias, 2018).

f) Evacuador de condensados o drenaje.

La posibilidad de condensación en el interior de los ITA es un riesgo a tener en cuenta, razón por la cual se recomienda que tanto para el sistema de bucle abierto como para el de bucle cerrado se haga uso de una cámara de desagüe, que es hacia donde se conducirá el agua resultante. La existencia de humedades no tratadas en el sistema puede ocasionar el crecimiento de mohos y la generación de malos olores. En el verano estacional, el aire se carga de humedad después de una tormenta o simplemente por la mayor radiación solar lo que genera mayor evaporación de la humedad almacenada en el suelo durante las estaciones precedentes, lo que incrementa el riesgo de condensación en el interior del sistema (Huang, Zhang, & Wang, 2015). Una situación similar puede ocurrir en un clima tropical como el de Colombia en donde se presentan humedades relativas altas (>70%), razón por la cual dentro del sistema se podría alcanzar temperaturas bastante cercanas a la de condensación

(temperatura de rocío). El cambio de estado del vapor de agua a gotas se lleva a cabo a temperatura constante, esto significa que al restituir la energía reduce el desempeño de los ITA limitando la temperatura del flujo de aire. El clima efectivo del emplazamiento, la profundidad de las instalaciones y la velocidad de flujo tienen una incidencia clara en los riesgos de condensación (Florides et. al., 2007).

Es importante en los sistemas de ITA que la recámara para evacuación de condensados sea un depósito que tenga una facilidad de acceso para su mantenimiento periódico y evitar así estancamientos de agua y crecimiento de materia orgánica un ejemplo de evacuador de condensados se muestra en la figura 28 (Obando, 2015).



Figura 28 Ejemplos de dispositivos para drenaje de los conductos (Dias, 2018).

También depende del sistema que se ocupe ya sea con sótano o sin sótano, se mencionan dos:

- Depósito colector de condensados para edificaciones sin sótano.

Hay que evacuar el agua de condensación a un depósito colector con bomba. Este colector descansa sobre un suelo plano. Para prevenir la entrada de aire no filtrado en el sistema de tubos a través de dicho depósito colector, éste queda hermetizado mediante una envoltura que estanca el aire. El agua de condensación se conduce desde el tubo del intercambiador geotérmico ITA hasta el depósito colector de condensados por medio de una derivación. A

continuación, se bombea el agua de condensación hacia el exterior con una bomba sumergible (Cabezas, 2012).

- Desagüe de condensados para edificaciones con sótano.

Se conduce el agua de condensación hasta el colector de evacuación de la propia edificación a través de un desagüe. La conexión se realiza mediante una derivación para condensados, que se monta en el punto más bajo de la tubería del ITA. Para prevenir la formación de olores desagradables, se intercala un sifón con esfera entre el desagüe para condensados y el colector de la red de evacuación del edificio (Cabezas, 2012).

2.1.8 Mantenimiento.

Los intercambiadores deben estar equipados con filtros que impidan la entrada de partículas a la zona climatizada. El mantenimiento de los mismos debe ser el adecuado. Los filtros deberán cambiarse periódicamente. El uso de filtros opacimétricos, que retienen el polvo y el polen es frecuente. El control de las bocas interiores debe hacerse al mismo tiempo que las exteriores. Una limpieza quincenal es aconsejable. Para el mantenimiento a largo plazo debe considerarse que la vida útil de los ventiladores impulsores suele situarse entre los 15 y 20 años.

El riesgo de condensación en el interior de los pozos provenzales, canadienses o en intercambiadores es un riesgo a tener muy en cuenta. La existencia de humedades no tratadas en el sistema puede ocasionar el crecimiento de mohos y la generación de malos olores. El sistema debe ser accesible para permitir su lavado. Una frecuencia anual parece razonable. El clima efectivo del emplazamiento, la profundidad de las instalaciones y la velocidad de flujo tienen una incidencia clara en los riesgos de condensación. El uso de productos especializados, la utilización de agua con soluciones desinfectantes solo es posible si las pendientes permiten la evacuación para evitar el estancamiento. La limpieza deberá realizarse teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas reinantes para favorecer un buen secado. Preferiblemente la instalación dispondrá de registros para facilitar el acceso a la instalación. Ello es más fácil en las instalaciones de gran diámetro pero también es posible en las instalaciones de menor diámetro (Solé, 2010).

Las tareas de mantenimiento tienen como objetivo mantener en pleno funcionamiento la instalación y alcanzar la vida útil del edificio sin necesidad de grandes obras de reparación.

2.1.9 Rendimiento y Estudio Económico.

El rendimiento económico de los intercambiadores tierra aire es positivo para las aplicaciones de refrigeración ya que en climas templados si el sistema está correctamente diseñado permite prescindir de un sistema de aire acondicionado convencional con un gran ahorro aunque para ello es imprescindible que la construcción a climatizar posea un aislamiento eficiente.

El rendimiento de los intercambiadores por si solos como sistema de calefacción es claramente insuficiente. El pequeño incremento de temperatura no justifica el coste de la instalación. No obstante si se tiene en cuenta el beneficio económico en clima caluroso puede considerarse que existe un beneficio añadido en el precalentamiento del aire de ventilación en invierno. En otras palabras por el precio de un sistema de refrigeración en verano se obtiene también una pequeña ayuda en el sistema de calefacción en invierno que por sí sola no justificaría la inversión en el intercambiador como se muestra en la tabla 3, ejemplo de una casa unifamiliar europea con fines de visualizar una comparativa, (Solé, 2010).

Tabla 3 Rendimiento en refrigeración comparativa en una casa unifamiliar de 110m² (Solé, 2010).

Comparativa: casa unifamiliar de 110m²	Climatización reversible	Intercambador Tierra Aire
Coste de instalación	10000 Euros	3000 Euros
Coste de mantenimiento	Entre 100 y 150 Euros	Entre 50 Y 100 Euros
Mantenimiento	Cambio de filtros	Cambio de filtros. Limpieza anual
Consumo en verano	4500 kWh	250kWh
COP	De 1,5 a 3	De 25 a 30

La cuestión económica es el principal factor limitante a la hora de desarrollar estos sistemas de intercambio geotérmico. En cualquier caso, el beneficio ambiental está asegurado, pero si

sólo nos centramos en el beneficio económico existen ciertos casos en los que el rendimiento económico es mayor.

También depende en gran medida de la tipología de edificio que estemos proyectando, para todos aquellos edificios que ya prevean la utilización de climatización todo aire la implementación de estos sistemas supone un gasto menor que para aquellos que tengan que incluir todos los conductos y aparatos relacionados con el intercambiador de calor. Es por ello que estas instalaciones es más habitual verlas en espacios colectivos o vivienda unifamiliar con climatización por aire.

2.1.10 Criterios para diseñar un sistema ITA.

Un buen diseño contempla los siguientes criterios:

- a) Diseñar el uso que queremos dar al sistema en función del espacio a ventilar o climatizar (cálculo de cargas).
- b) Definir el caudal del aire necesario.
- c) Analizar la temperatura media del lugar.
- d) Definir el material del tubo.
- e) Calcular la extensión en metros de los tubos (conductos). Método de simulación dinámica. Este valor es dado, por un cálculo simulador, por el fabricante.

Además, una reducción de temperatura del flujo de aire será mayor si se toma en cuenta lo siguiente:

- Mayor sea el recorrido del aire dentro del tubo.
- Menor sea el diámetro del tubo.
- Menor sea la velocidad del aire dentro del tubo.
- Mayor sea la diferencia de temperatura

En general, las posibilidades de utilizar tubos enterrados dependerán del tamaño y el tipo del terreno, que incidirá directamente en la facilidad de incorporar tubos a diferentes profundidades y con la extensión adecuada.

En primera instancia, se debe asegurar que dentro del tubo se den condiciones de flujo turbulento o laminar, dependiendo el caso, y que el periodo de permanencia del flujo sea el suficiente para lograr el intercambio de calor entre el aire aspirado y el subsuelo. También es de suma importancia la velocidad del aire dentro del tubo del intercambiador geotérmico ITA, varios expertos aseguran que debe situarse entre 1 y 4 m/s (Cabezas, 2012).

2.1.10.1 Dimensionado del sistema ITA.

La influencia de las dimensiones del conducto, temperatura y velocidad de entrada del aire sobre la temperatura de salida del aire ha sido estudiada detalladamente por varios autores (Flores Larsen y Lesino, 2000; Gauthier et al., 1997; Mihalakakou et al., 1994). Las conclusiones más relevantes son las siguientes:

- a) La temperatura de salida del aire depende fuertemente de la temperatura de entrada.
- b) La variación diurna de la temperatura del suelo es aproximadamente sinusoidal, la amplitud decrece rápidamente en profundidad y el momento de la máxima y la mínima se desplaza con el tiempo existiendo un retraso en la medida que la onda térmica penetra el suelo.
- c) Las características del suelo son muy importantes: las propiedades térmicas del mismo influyen fuertemente el comportamiento térmico del sistema.
- d) A mayor longitud del conducto existe mayor transferencia de calor y el rendimiento del sistema aumenta. Dicha longitud no se puede prolongar indefinidamente para mejorar el rendimiento debido a que la temperatura de salida presenta un comportamiento asintótico con respecto a la longitud del conducto. Ello permite definir una longitud máxima a partir de la cual cualquier aumento influye muy poco en la temperatura de salida del aire por lo que se hace poco conveniente económicamente. Los valores usuales para longitud de conductos se encuentran en el intervalo comprendido entre los 10 y los 100 m.
- e) Para la velocidad del flujo del aire se consideran óptimos valores alrededor de 4 m/s para conductos de 20 cm de diámetro, existiendo un compromiso entre la potencia necesaria para hacer circular el aire y el acondicionamiento resultante. Los diámetros pequeños son preferibles desde un punto de vista térmico pero para una misma

velocidad de flujo presentan mayores pérdidas por fricción así que lo más adecuado es el cálculo del balance entre la transferencia de calor y el soplado de aire en los conductos. Valores entre 20 y 60 cm de diámetro son típicos pudiendo alcanzarse valores superiores al metro en grandes edificios (hoteles, centros comerciales, etc.).

- f) Es más eficiente un conjunto de conductos más cortos que menor cantidad de conductos de mayor longitud. El espaciado entre tubos debe ser aquel que permita que los conductos sean térmicamente independientes (Solé, 2010).

2.1.10.3 Cálculos.

Número de conductos a utilizar.

Para ello se tendrá que saber el caudal requerido por el edificio y la velocidad a la que queremos que se mueva el aire. El caudal se obtiene en tablas de Marco Normativo en función del edificio en el que se trabaje. Para la velocidad del aire se debe establecer un punto intermedio entre una velocidad baja, que genera un mayor intercambio de calor, pero con un caudal muy bajo; y una velocidad alta que permite trabajar con mayores caudales, pero con un menor flujo de calor. Se podría tener unas velocidades orientativas entre 5 y 10 m/s ya que no supone un problema de ruido. El cálculo del número de conductos es calcular el caudal que pasa por cada conducto (q_t) con el área transversal del conducto (A) en m^2 y la velocidad (v) en m/s, como se muestra en la ecuación 1.

$$q_t = A \cdot v \quad (1)$$

El número de conductos (n) será el número entero mayor al resultado de la división del caudal total del edificio (q_T) entre el caudal de cada uno de los conductos (q_t) en m^3/s , como se muestra en la ecuación 2. Para el caudal total se selecciona el caudal unitario descrito en el Marco Normativo y en función del tipo de edificio se obtiene el caudal final.

$$n = q_T / q_t \quad (2)$$

Una vez que se ha decidido estos parámetros tendremos que obtener la superficie de contacto necesaria para el intercambio con el terreno, y por tanto la longitud necesaria. A

mayor longitud mayor cambio en la temperatura del aire, pero como a medida que el aire avanza las temperaturas del aire y del terreno se acercan, existe un momento en el que el cambio de temperatura es despreciable con respecto a los metros de conducto. El cambio de temperatura es asintótico por lo que las longitudes recomendadas se sitúan entre 10 y 100 metros.

Para obtener la longitud de cada conducto se debe obtener el flujo de calor medio y la energía que se debe eliminar. Primero se calcula la temperatura media del aire (T_{ma}) en los conductos con la temperatura de entrada (T_{ae}) y la temperatura de salida (T_{as}) en °C, como se muestra en la ecuación 3.

$$T_{ma} = \frac{T_{ae} - T_{as}}{2} \quad (3)$$

Para calcular la resistencia térmica del conducto (R) utilizamos la ecuación descrita en proceso físico que se compone de la resistencia por conducción y por convección, como se muestra en la ecuación 4.

$$R = R_{conducción} + R_{convección} \quad (4)$$

Para calcular la resistencia por conducción suponemos una pared delgada con respecto al radio del tubo, por lo que se asemeja a una pared plana. En este caso se calcula como la relación entre el espesor (e) y la conductividad (λ) de la pared. Siendo el espesor en metros y la conductividad en W/mK, como se muestra en la ecuación 5.

$$R_{conducción} = e/\lambda \quad (5)$$

Y la resistencia por convección en función de la velocidad (v) del aire. Siendo la velocidad en m/s, como se muestra en la ecuación 6.

$$R_{convección} = \frac{1}{5.55 \cdot v^{0.8}} \quad (6)$$

Una vez obtenidos ambos datos el flujo de calor medio por unidad de superficie (Q_m) en el tubo es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie interna (T_{ma}) y externa del conducto ($T_{terreno}$) y al contrario de la resistencia térmica de la pared (R). Siendo la temperatura en °C o K y la resistencia térmica en m^2K/W , como se muestra en la ecuación 7.

$$Q_m = \frac{T_{ma} - T_{terreno}}{R} \quad (7)$$

El siguiente dato que vamos a calcular es la energía que debemos eliminar del aire (E_e) en Ws/m , para ello utilizaremos la siguiente expresión que se muestra en la ecuación 8.

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} + \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida} \quad (8)$$

Donde i es la entalpía en KJ/Kg que obtendremos introduciendo en el ábaco psicrométrico la temperatura y la humedad relativa. Y (V_e) es el volumen específico para ello realizamos la inversa de la densidad del aire en función de la temperatura.

Para finalizar la superficie de intercambio necesaria (S), viene dada por la siguiente expresión en m^2 que se muestra en la ecuación 9.

$$S = \frac{E_e \cdot q_t}{\phi m} \quad (9)$$

Una vez obtenida la superficie, la longitud se obtiene dividiendo el área (S) entre el perímetro del conducto (p) como se muestra en la ecuación 10 (Dias, 2018).

$$L = \frac{S}{p} \quad (10)$$

2.2 Design Builder

Design Builder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono (Econova, 2016).

Design Builder tiene una estructura modular, con un avanzado modelador 3D que funciona como núcleo y un conjunto de módulos de análisis acoplados a él. Actualmente el programa cuenta con 9 módulos como se muestra en la figura 29, cada uno de los cuales ofrece un tipo de tarea o análisis específico. Este enfoque le da a Design Builder una gran flexibilidad para cubrir los requerimientos particulares de sus usuarios (Design Builder, 2018).

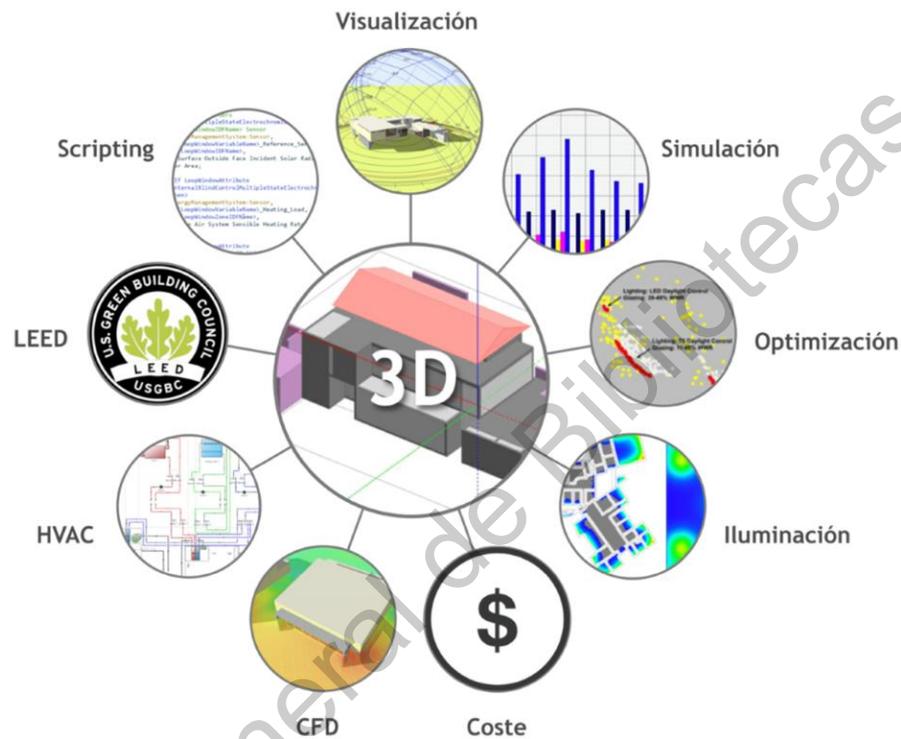


Figura 29 Módulos del programa Design Builder (Design Builder, 2018).

Las Opciones del programa tienen efecto en la aplicación en su conjunto, por lo que son completamente independientes de los archivos Design Builder. Entre otras cosas, permiten ajustar algunas características de la interfaz de acuerdo a los requerimientos del usuario. El diálogo de opciones del programa se puede abrir sólo desde el menú Herramientas.

Interfaz: Tipo de análisis predeterminado; Puede seleccionar el Tipo de análisis predeterminado para los nuevos modelos creados en DesignBuilder. La interfaz del programa se adapta al tipo de análisis seleccionado, mostrando solo los datos pertinentes. Algunas de las opciones disponibles actualmente:

1-EnergyPlus.

2-SBEM.

3-KLIMA Europa.

4-Versión portuguesa.

5-DBSim.

7-RT2012. 8-ES (CTE).

La traducción de la interfaz de Design Builder al español solo está completa para los tipos de análisis 1-EnergyPlus, 5-DBSim y 8-ES. DBSim, el método de cálculo propio de Design Builder, se encuentra aún en fase de desarrollo (García, 2014).

En este trabajo se utilizó el módulo de HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning), ya que permitió evaluar el sistema ITA conociendo su desempeño y a la vez se desarrolló el sistema, bajo un modelo conforme a los estándares de ASHRAE. La simulación fue con Energy Plus, pues es la que se adapta mejor a los requerimientos de este proyecto.

2.2.1 Módulo HVAC

Con el módulo HVAC, Design Builderes pionero en ofrecer acceso a la simulación detallada de sistemas de climatización que ofrece EnergyPlus. Mediante este módulo es posible modelar un amplio rango de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación mecánica, especificando los detalles de cada uno de sus componentes.

El módulo incluye una gran cantidad de plantillas de sistemas HVAC que se pueden cargar fácilmente en los modelos y personalizar de acuerdo con los requerimientos del usuario. Las características predefinidas de las plantillas, las funciones de autodimensionado y el mecanismo de agrupación de zonas permiten ahorrar mucho tiempo de trabajo, en comparación con otros programas similares. Sin embargo, los sistemas HVAC también se pueden definir manualmente desde cero para modelar sistemas personalizados (Design Builder, 2018).

El módulo HVAC se puede emplear para:

- a) Diseñar y evaluar sistemas HVAC completos, incluso de elevada complejidad, incluyendo todos los componentes que determinan su desempeño.
- b) Evaluar el uso de energías renovables acopladas a los sistemas mecánicos del edificio: solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, geotérmica.
- c) Desarrollar modelos conforme al estándar ASHRAE 90.1 para cumplir procesos de certificación ambiental y energética (Design Builder, 2018).

Características:

- d) El motor de EnergyPlus simula el edificio y sus sistemas de manera integrada y simultánea, mejorando la precisión de los cálculos respecto a otros programas que realizan cálculos secuenciales (como DOE2).
- e) Los sistemas HVAC se definen de manera gráfica, “arrastrando y soltando” componentes (zonas, circuitos de agua, condensación y aire, unidades terminales). Las conexiones entre los componentes se definen con la ayuda de guías de dibujo y referencias. El programa verifica automáticamente la integridad de los circuitos y la compatibilidad de las conexiones.
- f) Es posible agrupar zonas con sistemas HVAC similares, simplificando los diagramas de configuración y agilizando la especificación de datos.
- g) Se puede definir los sistemas HVAC a partir de un amplio rango de plantillas (con esquemas de principio predefinidos) o bien iniciarlos de cero. Se incluyen plantillas para todos los sistemas HVAC de referencia del estándar ASHRAE 90.1.
- h) Contiene una extensa biblioteca de componentes de EnergyPlus, incluyendo calderas, enfriadoras, baterías de frío y calor, ventiladores, bombas de calor, humidificadores, administradores de consigna y curvas de rendimiento.
- i) Es posible generar cualquiera de los resultados proporcionados por EnergyPlus, incluyendo las temperaturas de los nodos del sistema, los caudales y los niveles de humedad en intervalos sub-horarios.
- j) Ofrece una gran variedad de sistemas de distribución de aire, incluyendo vigas frías, aire directo, volumen de aire constante y variable, con doble ducto, recalentamiento, ventilación auxiliar.

- k) Múltiples calderas y enfriadoras en los circuitos de planta, con diversas posibilidades de administración de su funcionamiento a partir de cargas y programaciones.
- l) Los intercambiadores de calor pueden pasar energía térmica de un circuito a otro, lo que permite modelar una amplia gama de sistemas HVAC, incluso innovadores.

Un ejemplo de sistema incluido en Design Builder, es el modelado detallado de bombas de calor geotérmicas, incluyendo intercambiadores verticales, superficiales o de pozo (Design Builder, 2018).

2.2.2 Cálculos y simulación Energy Plus.

DesignBuilder ofrece tres tipos de cálculo mediante el módulo Simulación, todos basados en el motor de cálculo de EnergyPlus:

- a) Cálculos de Diseño de calefacción.
- b) Cálculos de Diseño de refrigeración.
- c) Simulaciones.

2.2.2.1 Cálculos de diseño de calefacción.

Los cálculos de diseño de calefacción se emplean fundamentalmente para dimensionar el sistema de calefacción, es decir, para determinar que potencia se requiere para cubrir siempre, con una certeza razonable, las cargas de calefacción del edificio. Design Builder permite llevar a cabo los cálculos de diseño de calefacción con un método similar a los planteados por organizaciones como ASHRAE, pero empleando su avanzado modelador 3D y el motor de cálculo de EnergyPlus. Los cálculos de diseño de calefacción con DesignBuilder tienen las siguientes características generales:

- a) No se emplean archivos de datos climáticos horarios, sino las condiciones climáticas de diseño especificadas en Datos del sitio > Datos climáticos para diseño de calefacción (estando en el nivel Sitio): Temperatura exterior de BS mínima, Velocidad del viento y Dirección del viento coincidentes.

- b) Los cálculos se efectúan en régimen estacionario, es decir, la temperatura exterior de bulbo seco se considera constante. Al ser cálculos estacionarios no se toma en cuenta ninguna programación incluida en el modelo.
- c) Se puede incluir las pérdidas de calor por infiltración (datos de Cerramientos), ventilación mecánica y ventilación natural programada (datos de HVAC), si estos componentes se encuentran establecidos correctamente en el modelo.
- d) Se toma en cuenta de manera detallada la transmisión de calor, mediante procesos conductivos y convectivos, entre las diversas zonas del edificio. Algunas zonas pueden incluso no tener sistema de calefacción.
- e) Las cargas de calefacción calculadas en todas las zonas del edificio se multiplican por un coeficiente de seguridad (Opciones de cálculo) y luego se suman para determinar la potencia requerida del sistema de calefacción (García, 2014).

2.2.2.2 Cálculos de diseño de refrigeración.

Los cálculos de diseño de refrigeración se emplean fundamentalmente para dimensionar el sistema de refrigeración, es decir, para determinar que potencia se requiere para cubrir siempre, con una certeza razonable, las cargas de refrigeración del edificio. Design Builder permite llevar a cabo los cálculos de diseño de refrigeración con un método similar a los planteados por organizaciones como ASHRAE y CIBSE, pero empleando su avanzado modelador 3D y el motor de cálculo de EnergyPlus. Los cálculos de Diseño de refrigeración con Design Builder tienen las siguientes características generales:

- a) No se emplean archivos de datos climáticos horarios. Las temperaturas exteriores se derivan de las condiciones climáticas de diseño especificadas en Datos del sitio > Datos climáticos para diseño de refrigeración (estando en el nivel Sitio), por ejemplo: Temperatura máxima de bulbo seco, Temperatura coincidente de bulbo húmedo, Temperatura mínima de bulbo seco.
- b) Los cálculos se efectúan en régimen periódico. Se simula un día de diseño (24 horas), con una curva periódica de temperaturas exteriores que genera el propio programa a partir de las temperaturas máxima y mínima establecidas en las condiciones climáticas de diseño (ver punto anterior). Esta aproximación permite tomar en cuenta el impacto

de la inercia térmica en el desfase de las cargas pico, lo que no sucede en los cálculos de diseño de calefacción.

- c) Se toma en cuenta el impacto de la radiación solar en el edificio. El recorrido aparente del sol y la radiación solar incidente durante el día de diseño se determinan automáticamente por el programa, considerando el Día y Mes establecidos en las Opciones de cálculo, así como los datos de ubicación del sitio y un índice de Claridad del cielo de 0.98.
- d) No se toma en cuenta ni la dirección ni la velocidad del viento.
- e) Se consideran las ganancias internas por personas, luminarias y equipos. Las variaciones en el tiempo de dichas ganancias se derivan de las programaciones empleadas en el modelo, de acuerdo a los parámetros establecidos en las Opciones de cálculo.
- f) Se puede incluir las pérdidas/ganancias de calor por infiltración (datos de Cerramientos), ventilación mecánica y ventilación natural programada (datos de HVAC), si estos componentes se encuentran establecidos correctamente en el modelo.
- g) Se toma en cuenta de manera detallada la transmisión de calor, mediante procesos conductivos y convectivos, entre las diversas zonas del edificio. Algunas zonas pueden incluso no tener sistema de refrigeración.
- h) Las cargas máximas de refrigeración calculadas en todas las zonas del edificio se multiplican por un coeficiente de seguridad (Opciones de cálculo) y luego se suman para determinar la potencia requerida del sistema de refrigeración (García, 2014).

2.2.2.3 Simulaciones.

A diferencia de los cálculos de diseño, empleados para dimensionar los sistemas de calefacción y refrigeración, las simulaciones permiten evaluar el desempeño ambiental y energético de los edificios en “tiempo real”, empleando datos climáticos horarios. Las simulaciones con Design Builder tienen las siguientes características generales:

- a) Las condiciones climáticas se definen mediante archivos de datos climáticos horarios con formato .epw (pestaña Datos del sitio, en el nivel Sitio).

- b) Las simulaciones se pueden efectuar para distintos periodos, desde un día específico hasta un año completo. Es posible simular periodos de particular interés, por ejemplo la semana más representativa de las condiciones de verano.
- c) Los edificios pueden ser simulados con sistemas de climatización (modo mecánico) o sin ellos (modo pasivo). En el primer caso, si se cuenta con el módulo HVAC, es posible modelar los sistemas HVAC detallados de EnergyPlus.
- d) Se toma en cuenta el impacto de la radiación solar en el edificio, considerando los datos de radiación directa y difusa disponibles en el archivo de datos climáticos horarios.
- e) Además de la opción de ventilación natural programada, es posible calcular la ventilación natural a partir de los datos de viento del archivo climático (dirección y velocidad), la posición de las aberturas en el edificio, su grado de apertura, etc.
- f) Se consideran las ganancias internas por personas, luminarias y equipos. Las variaciones en el tiempo de dichas ganancias se definen mediante programaciones.
- g) Se puede incluir las pérdidas/ganancias de calor por infiltración (datos de Cerramientos), ventilación mecánica y ventilación natural programada/calculada (datos de HVAC), si estos componentes se encuentran definidos correctamente en el modelo.
- h) Se toma en cuenta de manera detallada la transmisión de calor, mediante procesos conductivos y convectivos, entre las diversas zonas del edificio.
- i) Las simulaciones incluyen varios días de pre-simulación (warmup) para asegurar la correcta distribución del calor en la masa térmica del edificio. El proceso de pre-simulación continúa hasta que las temperaturas y las cargas en todas las zonas alcanzan la convergencia. Si no se logra la convergencia los cálculos continúan hasta cubrir los Días máximos de pre-simulación (Opciones de cálculo) (García, 2014).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

En este capítulo se desarrollan siete vertientes, la primera consta de definir los espacios del edificio que se van a climatizar para tener en cuenta el volumen requerido. La segunda, con los datos de dimensionado determinar el caudal de ventilación con respecto a los parámetros estipulados por INIFED Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, la cual se encarga de la normativa de las edificaciones educativas. Tercero, evaluar las condiciones climáticas del municipio de Tequisquiapan, temperaturas medias, máximas y mínimas así como los vientos predominantes. Cuarto, analizar las características del suelo donde se dispone el edificio CATAS, considerando el tipo de suelo y su capacidad y conductividad térmica. Quinto, elección de los materiales para los tubos del ITA. Sexto, diseño de un ITA para el edificio CATAS, el cual está dispuesto entre partes:

a) de acuerdo a los datos anteriores y ya que existen tres diferentes tipos de ITAS, se decide el tipo que más se adecue a las características del proyecto.

b) se recaudan los datos necesarios para realizar los cálculos del dimensionado del sistema con bases de termodinámica y transferencia de calor y

c) se diseña el proyecto ITA para el edificio CATAS, dando a conocer su configuración, planos arquitectónicos y de instalación así como renders.

Séptimo, se realizan tres simulaciones en el software Design Builder:

1) el edificio CATAS en su estado actual,

2) el edificio CATAS con un sistema de ITA y

3) el edificio CATAS con un sistema de climatización de uso convencional.

Todo lo anterior se ejemplifica en un esquema como se muestra en la figura 30.

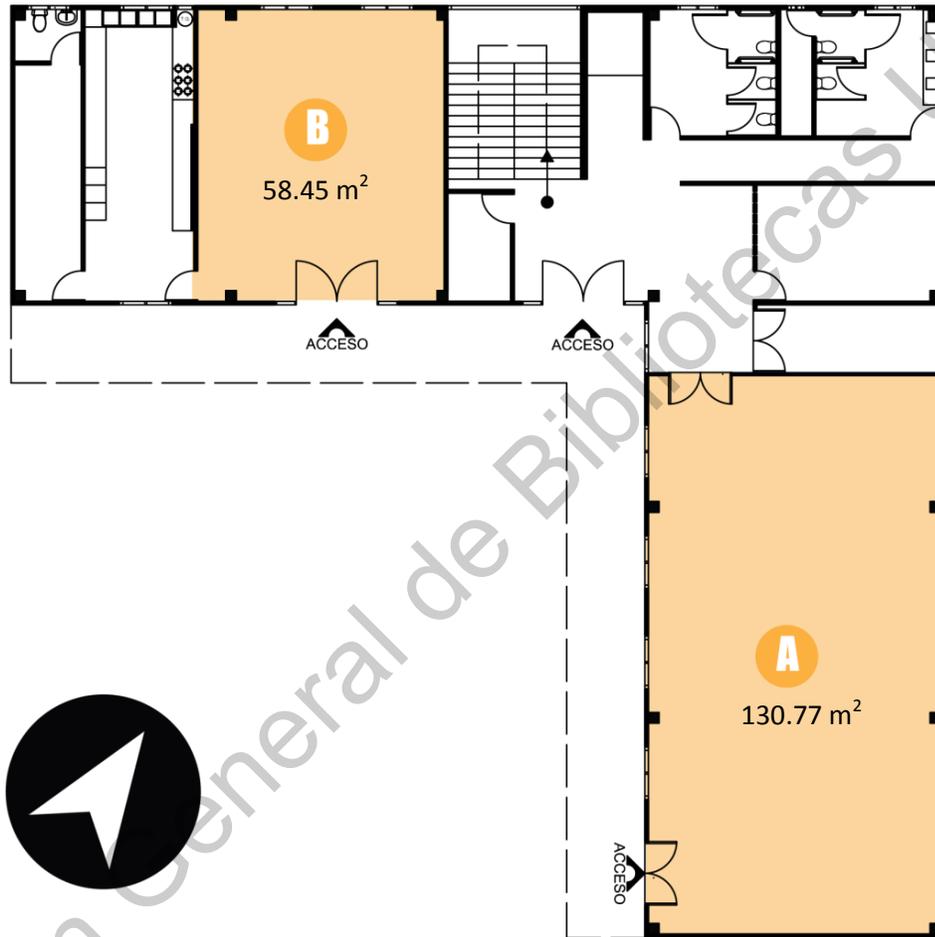
METODOLOGÍA



Figura 30 Esquema general de la metodología del capítulo III. Elaboración Propia.

3.2 Espacios del Edificio CATAS a Climatizar.

A continuación se muestran los espacios interiores del edificio CATAS, que se eligieron para dotarlos de una propuesta de climatización con el sistema ITA. Los espacios seleccionados se muestran en las siguientes tres figuras: 31, 32 y 33.

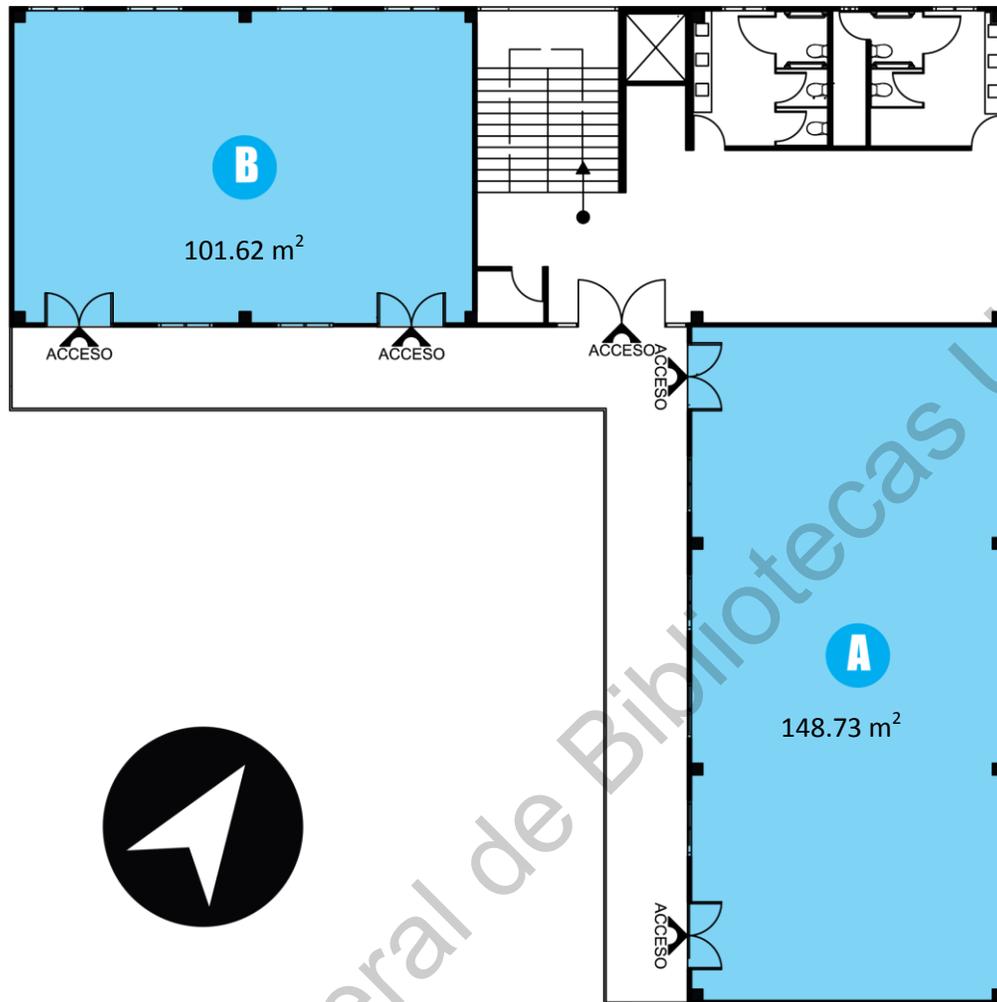


PRIMER NIVEL EDIFICIO CATAS

A MUSEO INTERACTIVO

B CAFETERÍA

Figura 31 Espacios a climatizar del primer nivel. Fuente: Elaboración propia.

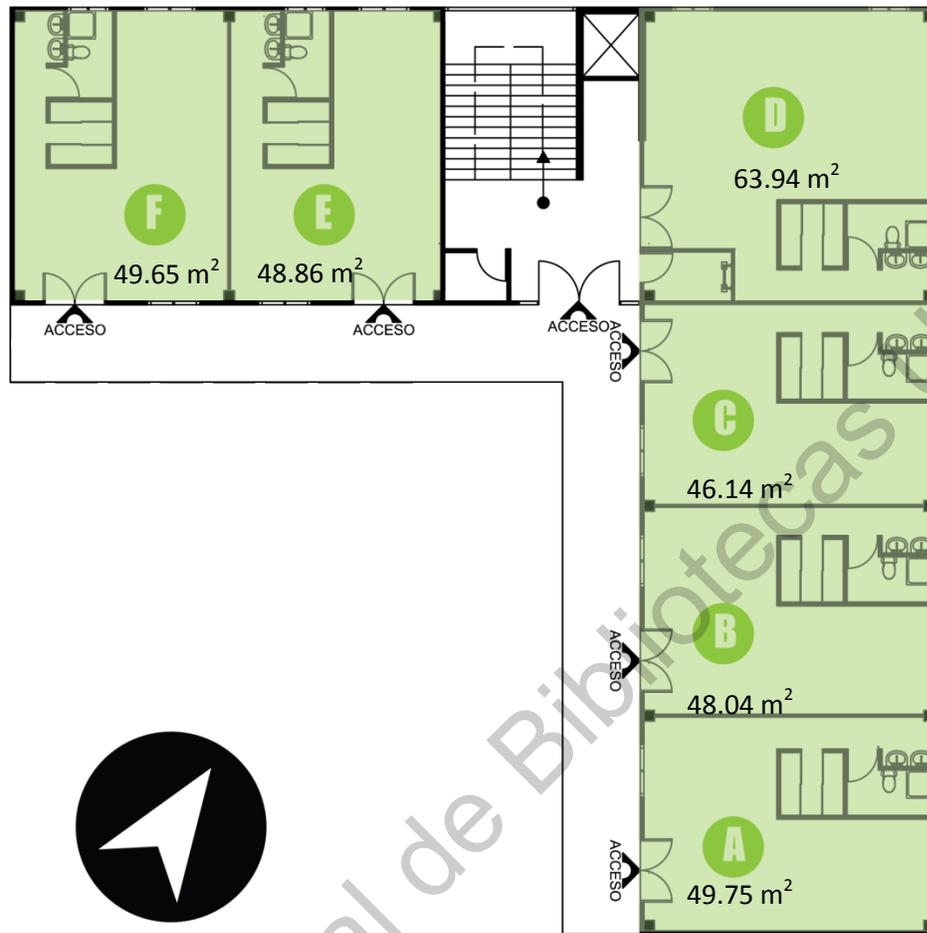


SEGUNDO NIVEL EDIFICIO CATAS

A SALONES

B LABORATORIO CATAS

Figura 32 Espacios a climatizar del segundo nivel. Fuente: Elaboración propia.



TERCER NIVEL EDIFICIO CATAS

- A** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS I
- B** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS II
- C** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS III
- D** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS IV
- E** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS V
- F** CUARTO PARA ACADÉMICOS FORANEOS VI

Figura 33 Espacios a climatizar del tercer nivel. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Caudal del aire requerido en CATAS.

El caudal del aire refrigerante necesario es la suma de la renovación del aire correspondiente a cada espacio habitado en función de la actividad a desenvolver dentro de estas, en otras palabras el caudal total de intercambio (Cabezas, Eficiencia Energética a través de utilización de Pozos Canadienses con el análisis de datos de un caso real "Casa Pomaret", 2012).

Para conocer el número de renovaciones de acuerdo a los locales seleccionados a climatizar, se buscaron los siguientes datos, estos conforme a la normativa.

1. Ventilación de acuerdo al Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa INIFED.

Las condiciones de ventilación de un local dependen de factores cuantitativos y cualitativos, tales como, contenido de oxígeno, ausencia de polvo y olores contaminantes, temperatura ambiente, movimiento y grado de humidificación del aire. Los volúmenes mínimos de aire recomendados y la renovación de los mismos, para un local escolar, deberán ser como se muestra en la tabla 4 (INIFED, 2011).

Tabla 4 Volúmenes mínimos del aire (INIFED, 2011).

Volúmenes mínimos de aire.	
Volumen disponible por alumno (m ³)	Número de renovaciones por alumno y por hora.
3	9
5	5
7	4
9	3

2. Asociación Mexicana de ventanas y cerramientos AMEVEC, menciona lo siguiente:

Que de acuerdo al reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) de España, se muestra la normativa de renovación del aire recomendado, como se muestra en la tabla 5, Asociación Mexicana de ventanas y cerramientos AMEVEC.

Tabla 5 Caudal de renovación de aire recomendado para locales de uso social (Morón, 2011).

Calidad del aire Interior.		Uso a que se aplica	Locales ocupados habitualmente (L/(s x persona))	Locales no ocupados habitualmente (L/(s x m ²))
Clase 1	Aire de óptima calidad.	Hospitales, clínicas, <u>laboratorios</u> y guarderías.	20	No aplicable
Clase 2	Aire de buena calidad.	Oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, <u>residencias</u> de ancianos y de <u>estudiantes</u>), salas de lectura, <u>museos</u> , salas de tribunales, <u>aulas de enseñanza</u> y asimilables y piscinas.	12.5	.83
Clase 3	Aire de calidad media.	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, <u>cafeterías</u> , bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.	8	.55

En la tabla 6 se resumen los datos de áreas a climatizar con su volumen correspondiente, para el edificio CATAS, datos que se necesitaron para la realización del cálculo del caudal de aire requerido.

Tabla 6 Áreas, volúmenes de los espacios en el edificio CATAS. Fuente: elaboración propia.

Superficies	Espacios	Áreas (m²)	Altura (m)	Volumen (m³)
Primer Nivel	Museo Interactivo.	130.77	3.86	504.77
	Cafetería.	58.45	3.86	225.62
Segundo Nivel	Laboratorio CATAS	101.62	3.86	392.25
	Salones.	148.73	3.86	574.10
Tercer Nivel	Cuarto para Académicos Foráneos I.	49.75	3.86	192.04
	Cuarto para Académicos Foráneos II.	48.04	3.86	185.43
	Cuarto para Académicos Foráneos III.	46.14	3.86	178.10
	Cuarto para Académicos Foráneos IV.	63.94	3.86	246.81
	Cuarto para Académicos Foráneos V.	48.86	3.86	188.60
	Cuarto para Académicos Foráneos VI.	49.65	3.86	191.65

Los valores de la tabla 6 junto con las renovaciones expuestas en la tabla 5, tomadas del RITE, permiten calcular el valor total de caudal de aire a suministrar. Donde renovación de aire por volumen es igual al caudal. No se incluye la aportación de aire refrigerante en los baños, escaleras, recibidores, cuartos de mantenimiento y bodega. El cálculo para determinar el caudal total a suministrar para el edificio CATAS se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Renovación del aire, caudal total a suministrar. Fuente: elaboración propia.

Espacios	Renovaciones / h (l/s)	Volumen (m³)	Caudal (m³/h)
Museo interactivo.	.83	504.77	418.96
Cafetería.	.55	225.62	124.09
Laboratorio CATAS	20	392.25	7,845
Salones.	9	574.10	5,166.9
Cuarto para Académicos Foráneos I.	.83	192.04	159.39
Cuarto para Académicos Foráneos II.	.83	185.43	153.91
Cuarto para Académicos Foráneos III.	.83	178.10	147.82
Cuarto para Académicos Foráneos IV.	.83	246.81	204.85
Cuarto para Académicos Foráneos V.	.83	188.60	156.54
Cuarto para Académicos Foráneos VI.	.83	191.65	159.07
Caudal total a suministrar			14,536.53

3.4 Propiedades del suelo del terreno CATAS.

Con el fin de conocer la estratigrafía del subsuelo en el área de proyecto, se realizaron dos pozos a cielo abierto con máquina retroexcavadora; PCA-1 y PCA-2, hasta una profundidad máxima de 0.6m. No se pudo realizar un sondeo de mayor profundidad debido a la alta resistencia del terreno (Cruz, 2016).

3.4.1 Estratigrafía y propiedades del subsuelo.

En la zona donde se realizó el Pozo a Cielo Abierto 1 (PCA-1) (Figura-34), se encontró en la superficie una arena limosa (SM) con un espesor promedio de 0.30 m. Subyacente a esta capa se observó un estrato de roca denominada toba cementada de una alta consistencia y dureza.

En el Pozo a Cielo Abierto 2 (PCA-2) (Figura-35), se encontró en la superficie un limo de baja compresibilidad (ML) de baja consistencia con contenido de materia orgánica, con espesor promedio de 0.30 m, bajo esta capa se observó una arena limosa (SM) con un espesor promedio de 0.30 m, subyacente a este material se observó un estrato de roca denominada toba cementada de una alta consistencia y dureza adecuada para apoyar la cimentación.

No se encontró nivel de aguas freáticas (NAF) a la profundidad explorada, tampoco hay evidencias de su presencia en esta zona (Cruz, 2016).



Figura 34 Se observa el material encontrado en el PCA-1 (Cruz, 2016).



Figura 35 Se observa el material encontrado en el PCA-2 (Cruz, 2016).

De acuerdo a los resultados de la mecánica de suelos para el proyecto CATAS, el resultado estratigráfico del suelo indica que después de 60cm de profundidad se observa en el estrato, material de roca, denominada “toba”. Véase tabla 8 para conocer su conductividad térmica.

Tabla 8 Tabla de asignación de litología, conductividad térmica (PROMOEENER-A, 2013).

LITOLÓGÍA	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m K)
TOBAS	>3
TOBAS ACIDAS	>3
TOBAS ANDESITICAS	>3
TOBAS CRISTALINAS CORNEANAS DE GRADO MEDIO	>3
TOBAS CRISTALINAS RIOLITICAS	>3
TOBAS ORBICULARES	>3
TOBAS SOLDADAS RIOLITICAS	>3

Fuente: Gráfica elaboración propia, datos: (México, 2006).

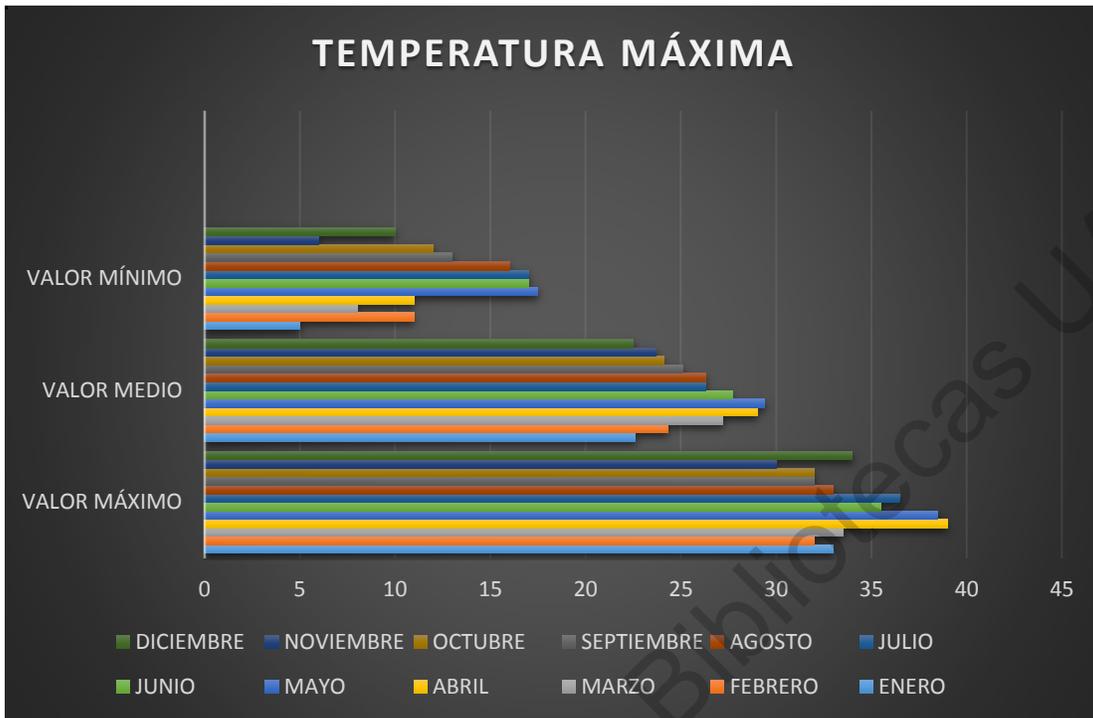
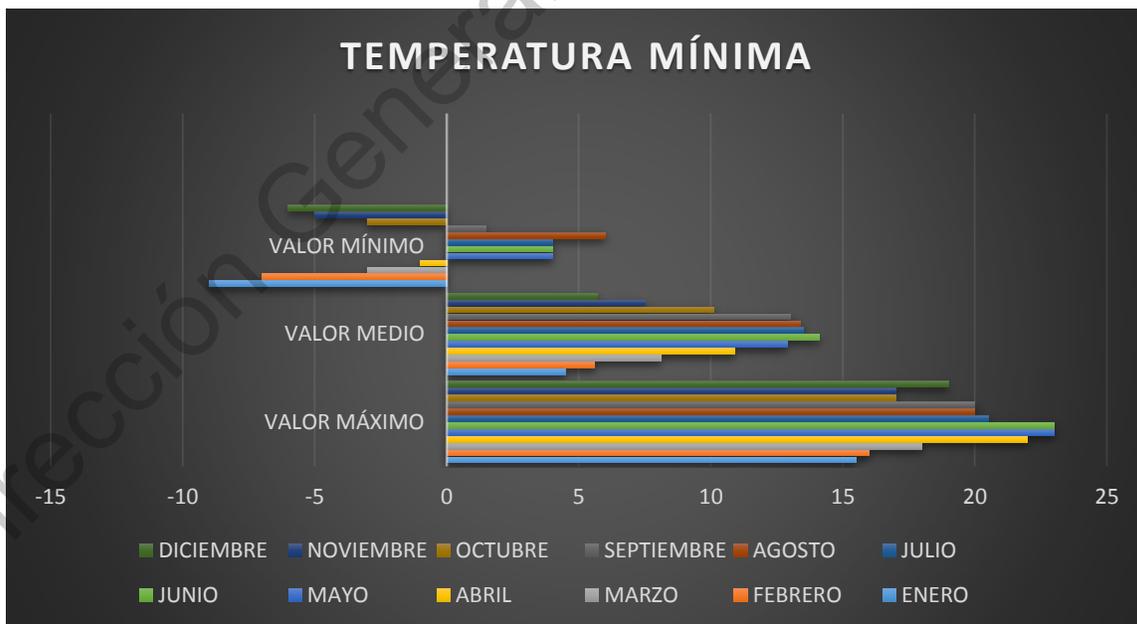


Tabla 10 Temperaturas mínimas de Tequisquiapan.

Fuente: gráfica elaboración propia, datos: (México, 2006).



En las tablas 9 y 10 se ingresaron los datos obtenidos de la página oficial del “Gobierno de Información Climatológica por Estado”, adquiriendo los datos de Tequisquiapan. Con estos

datos se sacó la temperatura promedio de las temperaturas mínimas y máximas anuales siendo estas 25.68°C de la temperatura máxima y 9.94°C de la temperatura mínima, el promedio de estas dos últimas nos da la **temperatura media anual = 17.81°C**.

El laboratorio de Geotecnia y materiales de la UAQ, en el estudio de suelo donde está ubicado el edificio CATAS, indica como climatología de Tequisquiapan lo siguiente: La temperatura media anual del estado es de 18°C, la temperatura máxima promedio es de 28°C y se presenta en los meses de abril y mayo, la temperatura mínima promedio es de 6°C durante el mes de enero (Cruz, 2016).

3.6.1 Confort Térmico determinado por INIFED.

Las temperaturas secas recomendables, para una humidificación relativa del aire de 50% y movimiento de 0 a 0.2 m/s, deberán ser de acuerdo a la tabla 11 (INIFED, 2011):

Tabla 11 Temperatura seca recomendable (INIFED, 2011).

Temperatura seca recomendable (HR=50%)	
Espacios	Temperatura
Aulas, laboratorios, bibliotecas, salas-lectura, cafeterías y administraciones.	18°C a 25°C

3.7 Materiales para el sistema ITA.

Los materiales elegidos para el sistema ITA, que se muestran en la figura 37, fueron tomados en cuenta de acuerdo a la investigación del capítulo II. Donde 4 fueron los documentos que se tomaron en cuenta con respecto a un ITA, que son: El terreno como Intercambiador (Dias, 2018), Estudio de viabilidad de la climatización de espacios interiores en la ciudad de Manizales mediante el sistema de Pozo Canadiense (Montoya, 2015), Estudio Energético de un recuperador de energía geotérmica aplicado a un edificio universitario (Barbado, 2016) y Eficiencia Energética a través de utilización de Pozos Canadienses con el análisis de datos de un caso real “Casa Pomaret” (Cabezas, 2012).

Para el material de la tubería, se optó por PVC, ya que de acuerdo a la literatura este es una material favorable de resistencia a la corrosión, al aplastamiento por estar enterrado,

resistente a ligeras deformaciones para soportar movimientos del terreno sin romperse, no es poroso ni permeable para evitar cualquier tipo de contaminación y tiene una superficie interior lisa para facilitar la evacuación de condensados. Por otro lado en el mercado tiene un costo relativamente bajo, más que una tubería de metal o ductos de concreto.

MATERIALES DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA ITA



Figura 37 Materiales del sistema ITA. Fuente: Elaboración propia.

3.8 Diseño de un ITA para el CATAS.

3.8.1 Tipología del sistema ITA.

De acuerdo al resultado obtenido en la tabla 7 el caudal total a suministrar es de 14,536.53 m³/h". Esto indica que existe demasiada superficie o un volumen de aire a climatizar excesivo, por este motivo la tipología indicada para suministrar dicho caudal es el de **Bloque Techelmann (rejilla)**, ya que es el indicado para construcciones con grandes caudales de ventilación.

Las galerías de captación y salida del aire deben tener un sistema de drenaje, ya sea por infiltración del terreno o condensación del aire. Además, debido a las exigencias el sistema debe trabajar con una o varias unidades de tratamiento de aire para controlar el caudal y la

velocidad y terminar de tratar el aire, ya que solo con los conductos no será suficiente. Estos conductos se disponen a modo de rejilla unidos mediante dos cámaras de aire, una de entrada y otra de salida. Esta rejilla de conductos se instala a una profundidad de unos 3 metros y es apropiada para caudales superiores a 300 m³/h (Dias, 2018).

3.8.2 Dimensionado del sistema ITA.

Un buen cálculo y elección de medidas y materiales supondrá un mejor tratamiento de aire y un ahorro económico notable. Es por ello que en lo que a dimensionado se refiere, se debe decidir el número de conductos, el diámetro interior de cada uno de ellos, el espesor de las paredes y la longitud de intercambio de calor (Dias, 2018).

3.8.2.1 Datos.

A continuación se definen los datos que se necesitan para la realización de los cálculos que se muestran en la tabla 12 y en las tablas 13, 14 y 15 se muestran los datos obtenidos de la carta psicrométrica en base a la temperatura de entrada y salida del sistema de tubos enterrados, teniendo en consideración la humedad relativa, la entalpia y volumen específico del aire. Estos datos son requeridos para el punto 3.8.2.2 Cálculos, para el dimensionado del sistema ITA.

Tabla 12 Datos requeridos para los cálculos de un diseño de sistema ITA.

Concepto	Cifra	Observaciones
Diámetro nominal DN , o diámetro exterior De (del conducto).	0.40m	En casos generales podremos tomar una media entre 20 y 40 centímetros. En el caso de grandes edificios se puede llegar hasta 60 centímetros de diámetro (Dias, 2018).
Diámetro interior del conducto Di	0.3842m	-
Espesor de las paredes del	0.0158m	Cuanto menor sea el espesor de la pared mayor intercambio de calor se producirá con el terreno. El conducto debe resistir los esfuerzos verticales y

conducto.		horizontales del terreno que lo rodea (Dias, 2018).
Caudal requerido por el edificio.	14.5 m³/s	Obtenido de la tabla no. 7 (De acuerdo a marco Normativo).
Velocidad del aire.	5 m/s	Establecer un punto intermedio entre una velocidad baja, que nos genera un mayor intercambio de calor, pero con un caudal muy bajo; y una velocidad alta que nos permite trabajar con mayores caudales, pero con un menor flujo de calor. Podemos tener unas velocidades orientativas entre 5 y 10 m/s ya que no nos supone un problema de ruido (Dias, 2018).
Conductividad Térmica	0,17 (W/mk)	Material de los Conductos de PVC.

Tabla 13. Datos de salida del aire para la temperatura en verano e invierno, obtenidos de la tabla psicrométrica que se muestra en la figura 38.

	Aire de salida
Temperatura (<i>T</i>)	18.038°C
Humedad relativa (<i>HR</i>)	50.020%
Entalpía (<i>i</i>)	34.471 KJ/Kg
Volumen Específico (<i>V_e</i>)	0.833 m ³ /Kg

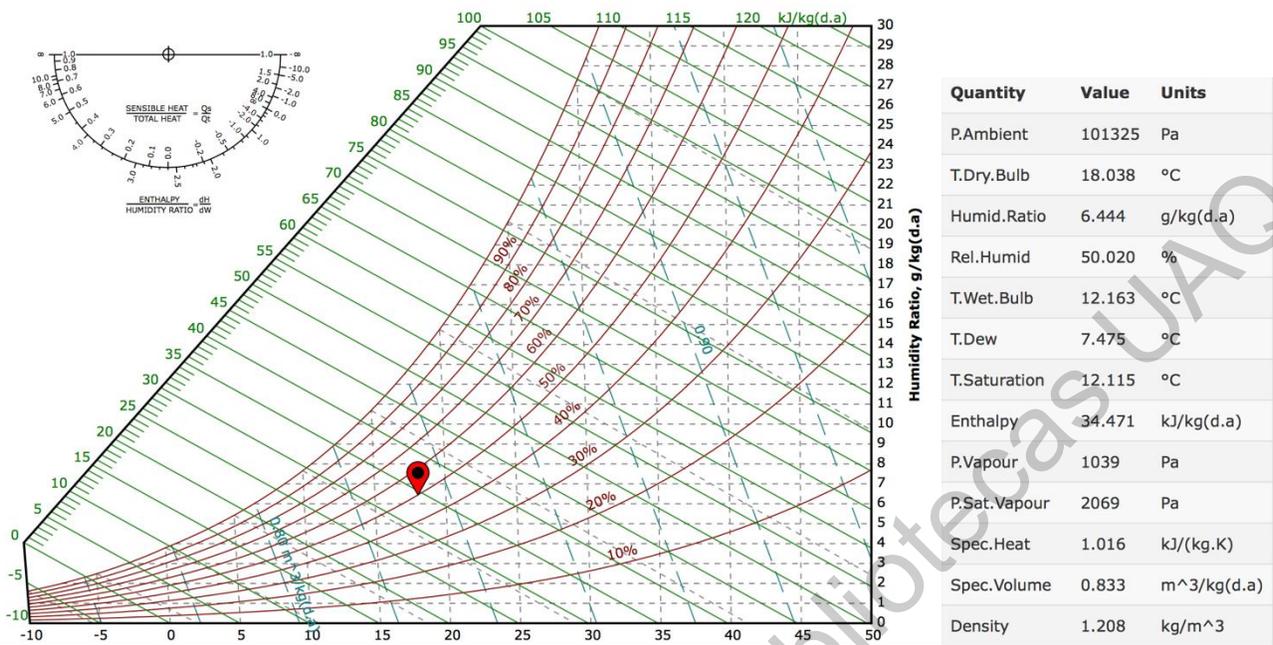


Figura 38 Carta Psicrométrica, para la obtención de datos. (resultado del ingreso de temperatura bulbo seco y humedad relativa para aire de salida de verano e invierno) (Carpet, 2019).

Tabla 14. Datos de entrada del aire para verano, obtenidos de la tabla psicrométrica que se muestra en la figura 39.

	Aire de entrada
Temperatura (T)	28.193°C
Humedad relativa (HR)	67.966%
Entalpía (i)	70.322 KJ/Kg
Volumen Específico (V_e)	0.876 m ³ /Kg

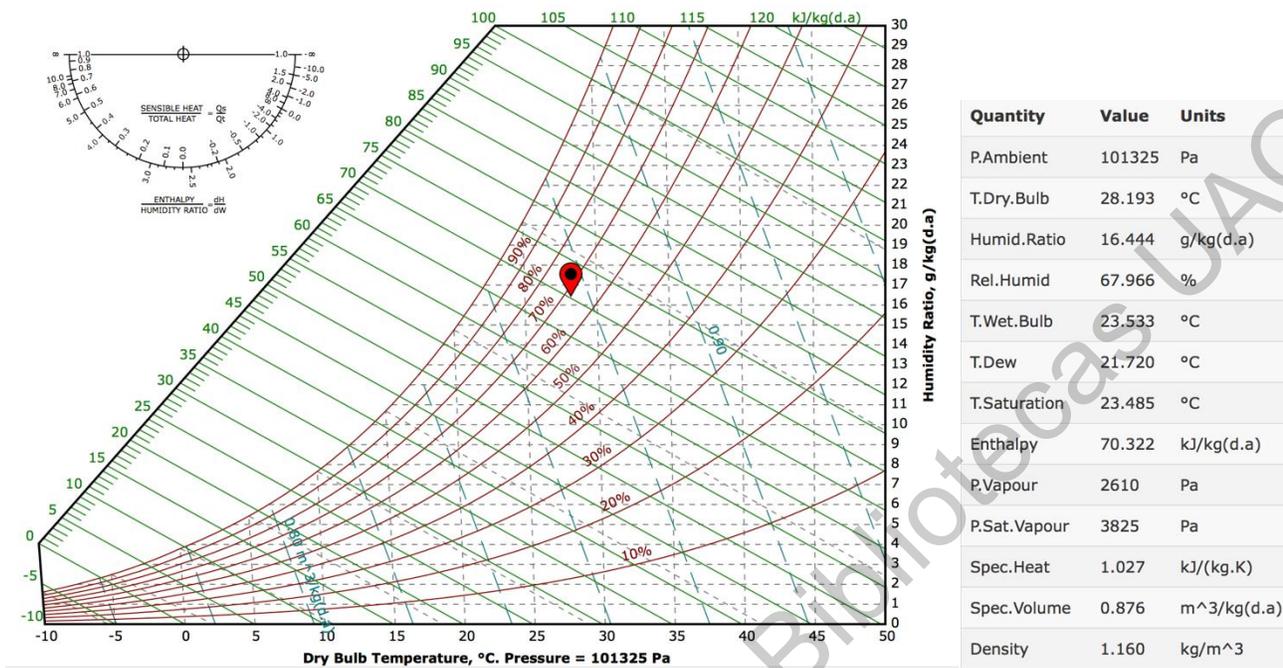


Figura 39 Carta Psicrométrica, para la obtención de datos. (resultado del ingreso de temperatura bulbo seco y humedad relativa para aire de entrada en verano) (Carpet, 2019).

Tabla 15 Datos de entrada del aire para invierno, obtenidos de la tabla psicrométrica que se muestra en la figura 40.

	Aire de entrada
Temperatura (T)	6.235°C
Humedad relativa (HR)	40.624%
Entalpía (i)	12.273 KJ/Kg
Volúmen Específico (V_e)	0.795 m ³ /Kg

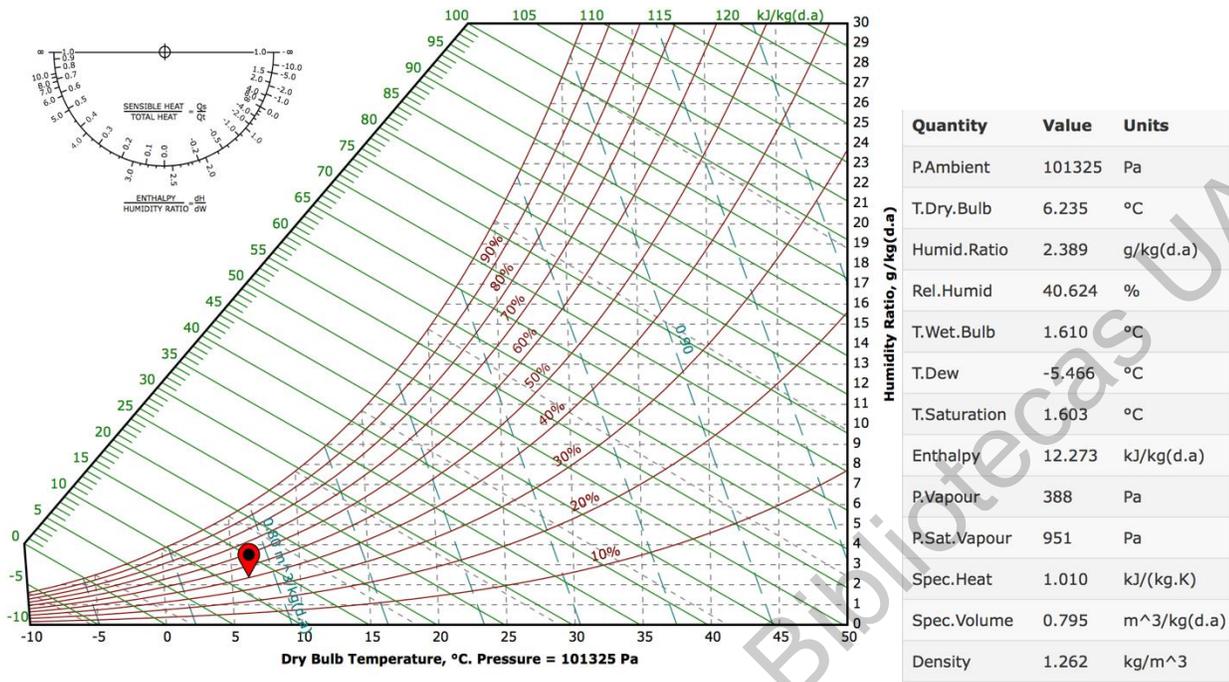


Figura 40 Carta Psicrométrica, para la obtención de datos. (resultado del ingreso de temperatura bulbo seco y humedad relativa para aire de entrada en invierno) (Carpet, 2019).

3.8.2.2 Cálculos.

- 1) Cálculo del número de conductos.

Con los datos de la Tabla 12 se puede obtener el caudal que pasa por cada uno de los conductos y por tanto averiguar cuantos tubos se necesitan. Para calcular el caudal de cada conducto (q_t) obtenemos el área transversal del conducto (A) y se multiplica por la velocidad (v) que se decidió.

$$A = \pi \left(\frac{DN}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{0.40}{2} \right)^2 = 0.126 \text{ m}^2$$

$$q_t = A \cdot v = 0.126 \cdot 5 = 0.628 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A = área transversal del conducto

DN = diámetro nominal del conducto (tabla 12)

q_t =caudal de cada conducto

v = velocidad (tabla 12)

El cálculo de número de conductos (n) se obtiene dividiendo el caudal total del edificio (q_T) entre el caudal de cada uno de los conductos (q_t).

$$n = \frac{q_T}{q_t} = \frac{14.5}{0.628} = \mathbf{23.08}$$

n = número de conductos

q_T = caudal (tabla 7)

Por lo que para generar el caudal necesario será imprescindible colocar veintitrés conductos enterrados.

2) Cálculo para la longitud de los conductos.

2.1) Se calcula el coeficiente de transmisión de calor del conducto (la tubería) (llámese Λ , con unidades $W/m^2 \cdot K$) se utilizar la siguiente ecuación:

$$\Lambda = \frac{1}{R_i} = \frac{\lambda}{\frac{D_e}{2} \ln \frac{D_e}{D_i}} = \frac{0.17 \frac{W}{mK}}{\frac{0.40}{2} \ln \frac{0.40}{0.3842}} = \mathbf{21.091}$$

Λ = coeficiente de transmisión de calor del conducto

λ = coeficiente de conductividad térmica del material de la tubería (tabla 12)

D_e = diámetro exterior del conducto (tabla 12)

D_i = diámetro interior del conducto (tabla 12)

2.2) El coeficiente de transmisión de calor del conducto (U) será más alto cuando el espesor de la pieza es pequeño y el material es muy conductivo, esto es lo ideal ya que facilita la conducción de calor entre la tierra y el aire, es decir, disipa correctamente el calor

del aire al terreno penetrando a través del material de la tubería. Se calcula de la siguiente forma:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{14.6} + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{14.6} + \frac{1}{\Lambda}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{14.6} + \frac{1}{21.091}} = \mathbf{8.628}$$

Se toma (h_i) como aproximadamente 14.6, siendo este el coeficiente superficial de transmisión de calor del conducto. Esta cifra es función de la velocidad del aire y de la forma y tamaño de la pieza.

2.3) Calculo para refrigeración:

La temperatura media (T_m) será la media entre la temperatura de entrada y la que se pretende tener de salida (dentro del edificio), esto es:

$$T_m = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2}$$

$$T_m = \frac{28.193 + 18.038}{2} = \mathbf{23.116}$$

T_m = temperatura media

$T_{entrada}$ = temperatura del aire exterior en verano (tabla 14)

T_{salida} = temperatura que se quiere en el interior del espacio a climatizar (tabla 13)

2.3.1) Si la tubería se encontrase enterrada a una profundidad (T_t) y la temperatura del terreno a esta profundidad fuese (T_t), entonces la capacidad de enfriamiento (C_e) del conducto se calcula de la siguiente forma:

$$C_e = \frac{\phi}{\Lambda} = U(T_m + T_t)$$

$$C_e = 8.628(23.116 - 17.81) = \mathbf{44.135}$$

La temperatura del terreno viene determinada por la media de la temperatura diaria.

2.3.2) La carga térmica a eliminar (E_e) por el sistema es la diferencia entre la energía del aire a la entrada y la energía del aire a la salida. Este cálculo se realiza mediante la diferencia de las entalpías del aire a la entrada y a la salida de la siguiente forma:

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} - \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida}$$
$$E_e = \left(\frac{70.322}{0.876}\right)_{entrada} - \left(\frac{34.471}{0.833}\right)_{salida} = \mathbf{38892.102}$$

$i_{entrada}$ = entalpia del aire de entrada (tabla 14)

$V_{e\ entrada}$ =volumen especifico del aire de entrada (tabla 14)

i_{salida} = entalpia del aire de salida (tabla 13)

$V_{e\ salida}$ =volumen especifico del aire de salida (tabla 13)

2.3.3) La superficie de intercambio necesaria para eliminar ese calor es función del caudal de aire que se mueve por el conducto y de la capacidad de enfriamiento del conducto por metro cuadrado. Calculada de la siguiente forma:

$$S = \frac{E_e Q}{C_e}$$
$$S = \frac{38892.102 \cdot 0.5796}{44.135} = \mathbf{510.747}$$

2.3.3.1) Donde el caudal de aire que ingresa al ducto (Q) viene dado por la expresión:

$$Q = V\pi r^2$$
$$Q = 5 \cdot \pi 0.1921^2 = \mathbf{0.5796}$$

Siendo(r) el radio interior del tubo.

2.3.4) Finalmente, es posible obtener la longitud del tubo (L) utilizando la expresión:

$$L = \frac{S}{2\pi r}$$

$$L = \frac{510.747}{2\pi \cdot 0.1921} = \mathbf{423.153}$$

La longitud final para la ventilación en verano debería ser de 423 m.

Ahora se realiza el cálculo para el momento más desfavorable en invierno.

2.4) Calculo para calefacción

$$T_m = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2}$$

$$T_m = \frac{6.235 + 18.038}{2} = \mathbf{12.137}$$

T_m = temperatura media

$T_{entrada}$ = temperatura del aire exterior en invierno (tabla 15)

T_{salida} = temperatura que se quiere en el interior del espacio a climatizar (tabla 13)

2.4.1) Capacidad de enfriamiento (C_e):

$$C_e = \frac{\phi}{A} = U(T_m + T_t)$$

$$C_e = 8.628(12.137 - 17.81) = \mathbf{-50.588}$$

2.4.2) La carga térmica a eliminar (E_e):

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} - \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida}$$

$$E_e = \left(\frac{12.273}{0.795}\right)_{entrada} - \left(\frac{34.471}{0.833}\right)_{salida} = \mathbf{-25946.418}$$

$i_{entrada}$ = entalpia del aire de entrada (tabla 15)

$V_{e\ entrada}$ = volumen especifico del aire de entrada (tabla 15)

i_{salida} = entalpia del aire de salida (tabla 13)

$V_{e \text{ salida}}$ = volumen especifico del aire de salida (tabla 13)

2.4.3) La superficie de intercambio necesaria para eliminar ese calor (S):

$$S = \frac{E_e Q}{C_e}$$
$$S = \frac{-25946.418 \cdot 0.5796}{-50.588} = 297.275$$

2.4.3.1) Donde el caudal de aire que ingresa al ducto (Q) viene dado por la expresión:

$$Q = V\pi r^2$$
$$Q = 5 \cdot \pi 0.1921^2 = 0.5796$$

2.3.4) Finalmente, es posible obtener la longitud del tubo (L) utilizando la expresión:

$$L = \frac{S}{2\pi r}$$
$$L = \frac{297.275}{2\pi 0.1921} = 246.31$$

La longitud final para la ventilación en invierno debería ser de 246 m.

3.9 Modelado y configuración en DESIGN BUILDER.

3.9.1 Modelado del edificio CATAS.

Con el objetivo de realizar la simulación adecuada, se desarrolla un modelo virtual en 3D por medio del software Design Builder en el que se contemplan, las dimensiones reales del proyecto, los materiales actuales, y sistema constructivo que se utilizó en la construcción del edificio. La primera etapa de la elaboración se desarrolla en la interfaz inicial del programa, como se muestra en la figura 41, ahí se encuentran las plantillas predeterminadas con las que cuenta el software al igual que los modelos establecidos. Para el caso de este análisis se crea, un proyecto nuevo.

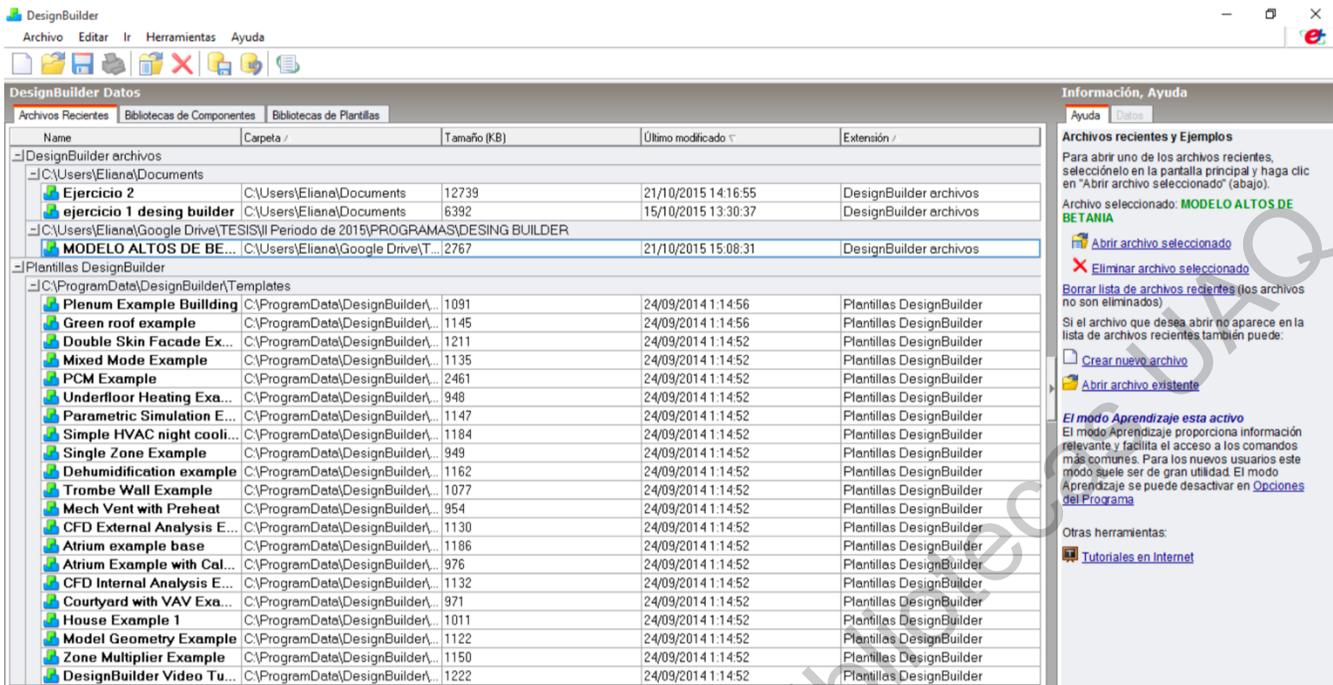


Figura 41 Interfaz inicial. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Al crear un “nuevo archivo”, la interfaz conduce al recuadro “nuevo proyecto”, que se muestra en la figura 42, donde es necesario asignar la información geográfica, para determinar el sitio exacto en donde se encuentra implantado el proyecto, se le da un nombre para su identificación, y se estipula en el menú el nombre del país y la ciudad en donde está localizado. En este caso sería México Querétaro, Tequisquiapan; solo que el software no cuenta con ficheros climáticos de la República Mexicana, así que fue necesario adquirir un archivo de datos climáticos. Para su obtención se recurrió a Energy Plus, el cual ofrece una base de datos con archivos de datos climáticos en formato .epw, el cual se descargó en el software de Design Builder en la opción de herramientas y procesador de archivos de datos climáticos como se muestra en la figura 43, en caso de no encontrarse la localidad requerida, Design Builder sugiere emplear archivos de localidades cercanas, siempre y cuando tenga características climáticas suficientemente parecidas. La localidad de Querétaro no fue encontrada así que se utilizó el archivo climático de la Ciudad de México, el cual tiene características climáticas parecidas a las del sitio. Este archivo consta de información anual, mensual, diaria y horaria de varios años, con parámetros de temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar y velocidad y dirección de vientos.



Figura 42 Creación de nuevo proyecto. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

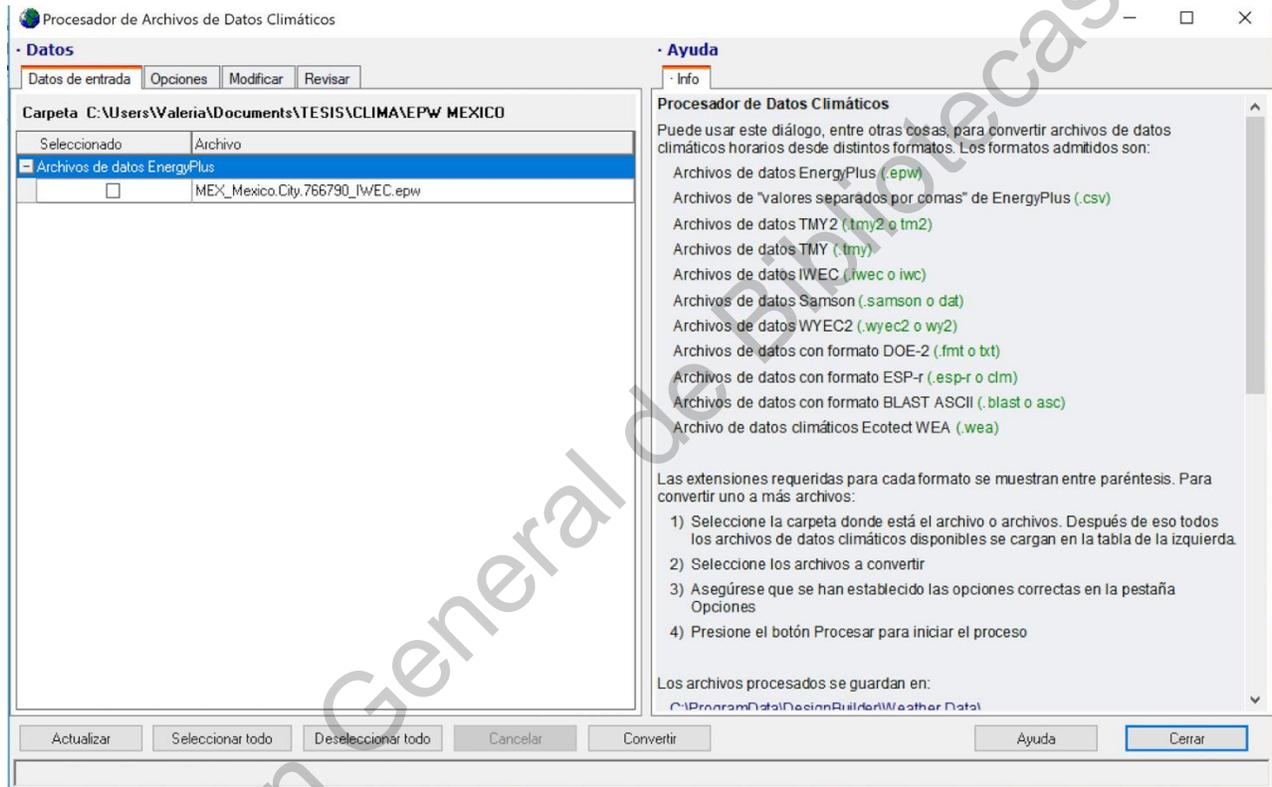


Ilustración 43 Carga del fichero climático de México en formato .epw Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Para poder modelar el edificio, antes, se configuran los datos del modelo en “datos del sitio” y “datos de la región”, como se muestra en la figuras 44 y 45. En la figura 44 en el apartado zona climática ASHARAE se colocó zona 3A, ya que es la indicada de acuerdo al fichero climático de México, el cual se cargó en este programa y en “detalles del sitio” en “orientación” se ingresó el correspondiente al edificio CATAS.



Figura 45 Datos de región, configuración. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Para comenzar el modelado del edificio se oprimió el icono “añadir edificio” y se comenzó con el trazado, generando los bloques en 3D del primer, segundo y tercer nivel, colocando las ventanas, puertas y particiones del edificio, como se muestra en las figuras 46, 47 y 48.

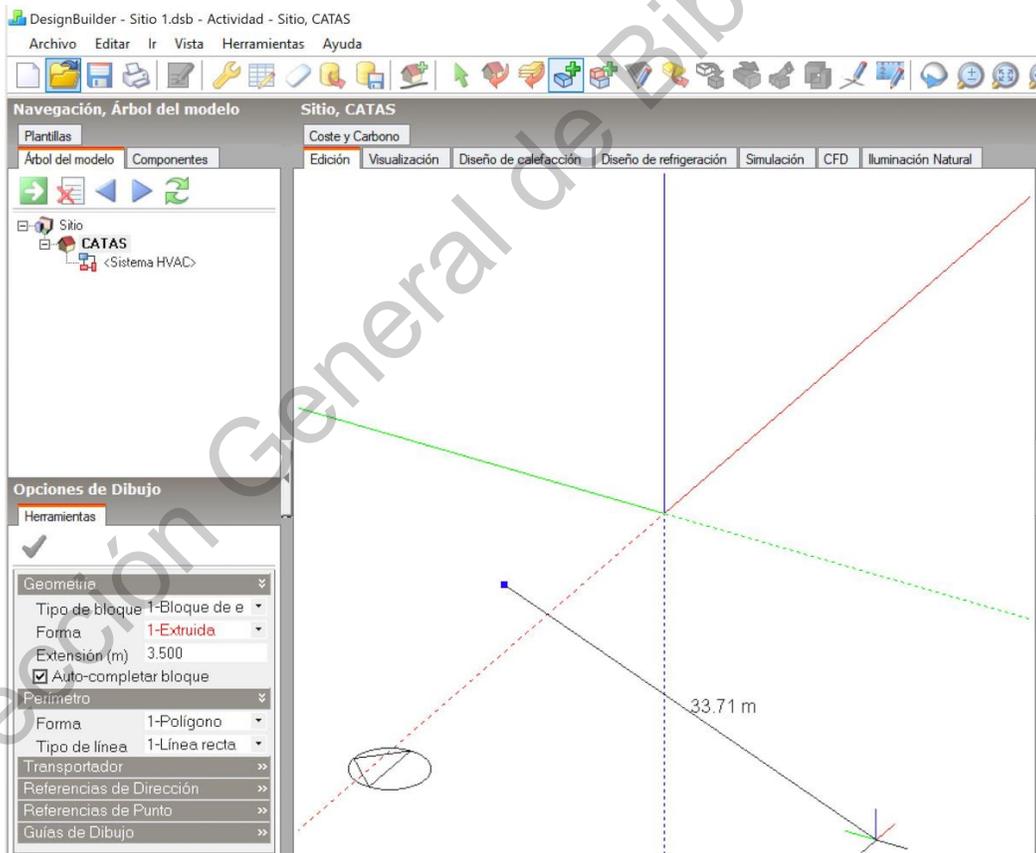


Figura 46 Comenzado del trazado del edificio CATAS. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

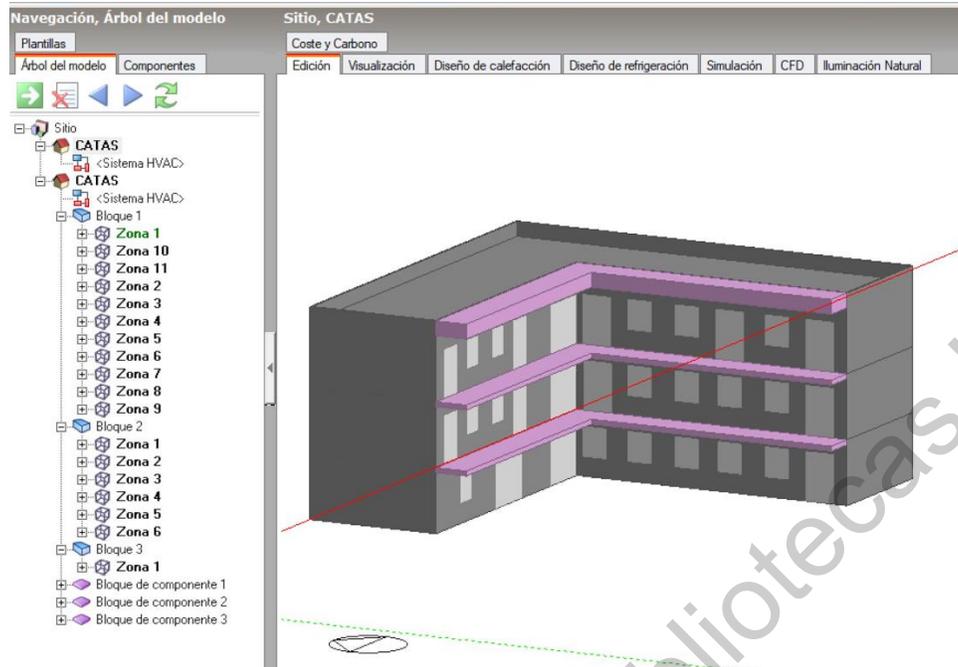


Figura 47 Modelado del edificio CATAS, vista frontal. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

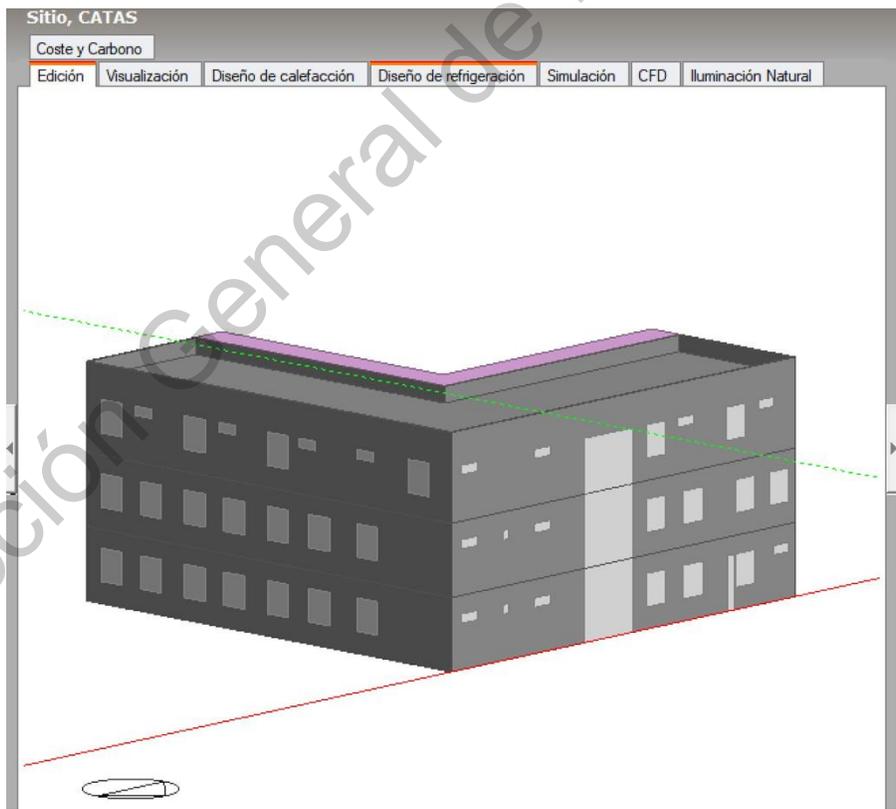


Figura 48 Modelado del edificio CATAS, vista posterior. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Una vez teniendo el modelo completo en DB, se configuraron los “Datos del Modelo”, en las pestañas de: *actividad, cerramientos y aberturas*.

Pestaña Actividad: en la opción de *plantilla* se seleccionó la función del edificio, en este caso se asignó la plantilla de “Universidad”, con características de laboratorio, desarrollo e investigación científico, como se muestra en la figura 49.

Otros datos que se configuraron en esta pestaña, fueron dos:

- a) *Condiciones metabólicas*. Se puede determinar la cantidad de calor producido por una persona al interior del apartamento. Esta actividad está predeterminada de acuerdo a cada zona específica en el software. Los datos que se ingresan en esta etiqueta son de vestimenta y de factor, y se seleccionan en base a las tasas metabólicas descritas por La ASHRAE, como se muestra en la figura 50.
- b) *Control Ambiental*. La figura 51 muestra la configuración para este rubro, donde se determinó el control ambiental para calefacción e invierno.

Los demás datos se actualizaron automáticamente, en base a la plantilla seleccionada y el fichero climático seleccionado.

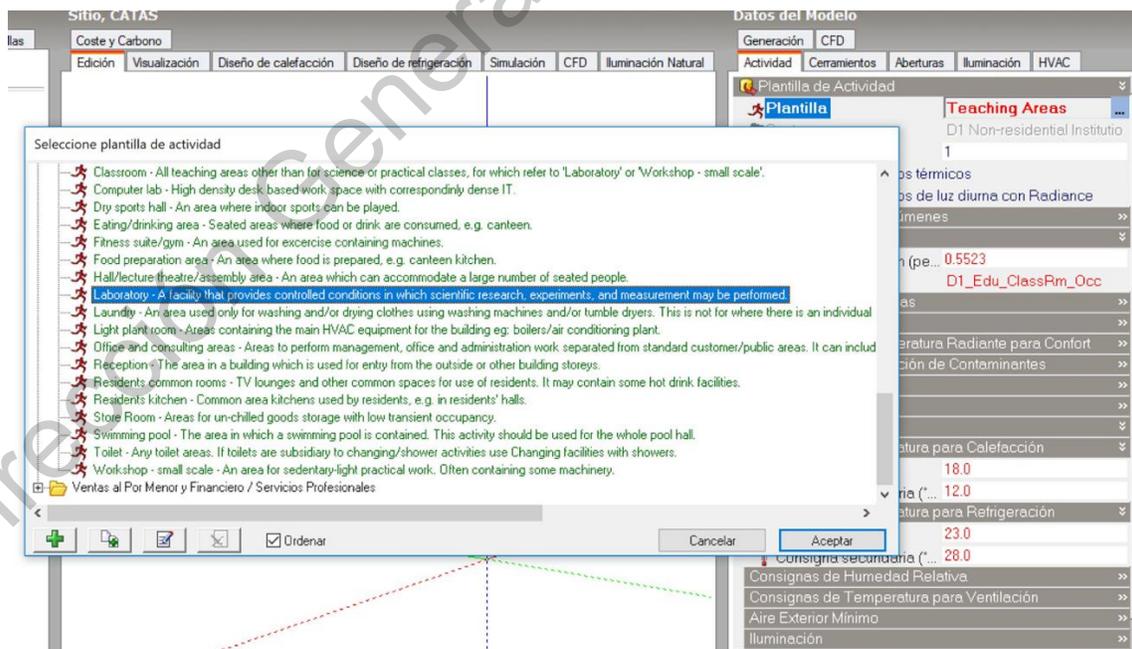


Figura 49 Datos del modelo, ACTIVIDAD. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.



Figura 50 Configuración de condiciones metabólicas. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.



Figura 51 Configuración control ambiental. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Pestaña Cerramientos: en este apartado los únicos datos que se configuraron fueron tres, como se muestra en la figura 52, la especificación de los muros exteriores que corresponde a muros de “Durock”, las cubiertas que corresponden a “losa-acero” y las particiones que corresponden a “muros de panel”.



Figura 52 Configuración CERRAMIENTOS. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Pestaña Aberturas: en este apartado se configuraron los datos de las ventanas, especificando el tipo de acristalamiento, marcos y abatimientos. Así como una autogeneración automática para las puertas, como se muestra en la figura 53.

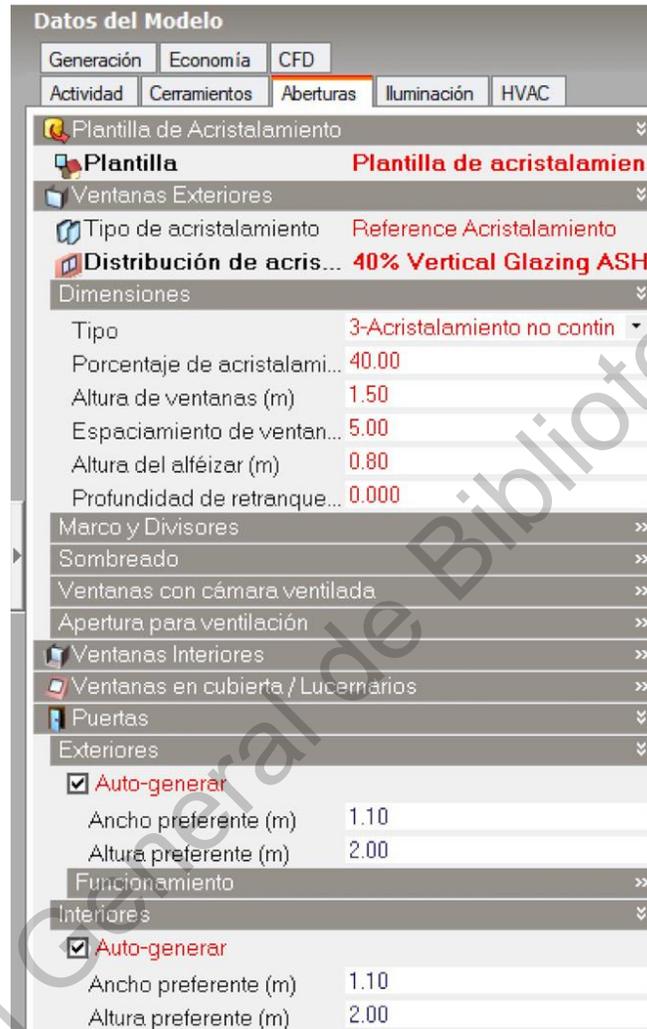


Figura 53 Configuración APERTURAS. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Las configuraciones anteriores se realizaron con la finalidad de especificar los datos reales del edificio CATAS, ya que, la ubicación, dimensionado y tipo de materiales de cada masa interfieren en la generación de la simulación.

3.9.2 Configuración del sistema ITA en el modelo de CATAS

Una vez ingresado el modelo CATAS en DB, se configuraron los datos en la pestaña "HVAC", primero se asignó el tipo de plantilla, el cual fue "mejores prácticas" y en automático se

activaron los parámetros de: ventilación mecánica, calefacción, refrigeración y tubo subterráneo. La configuración de ventilación mecánica, calefacción y refrigeración se muestran en la figuras 54.

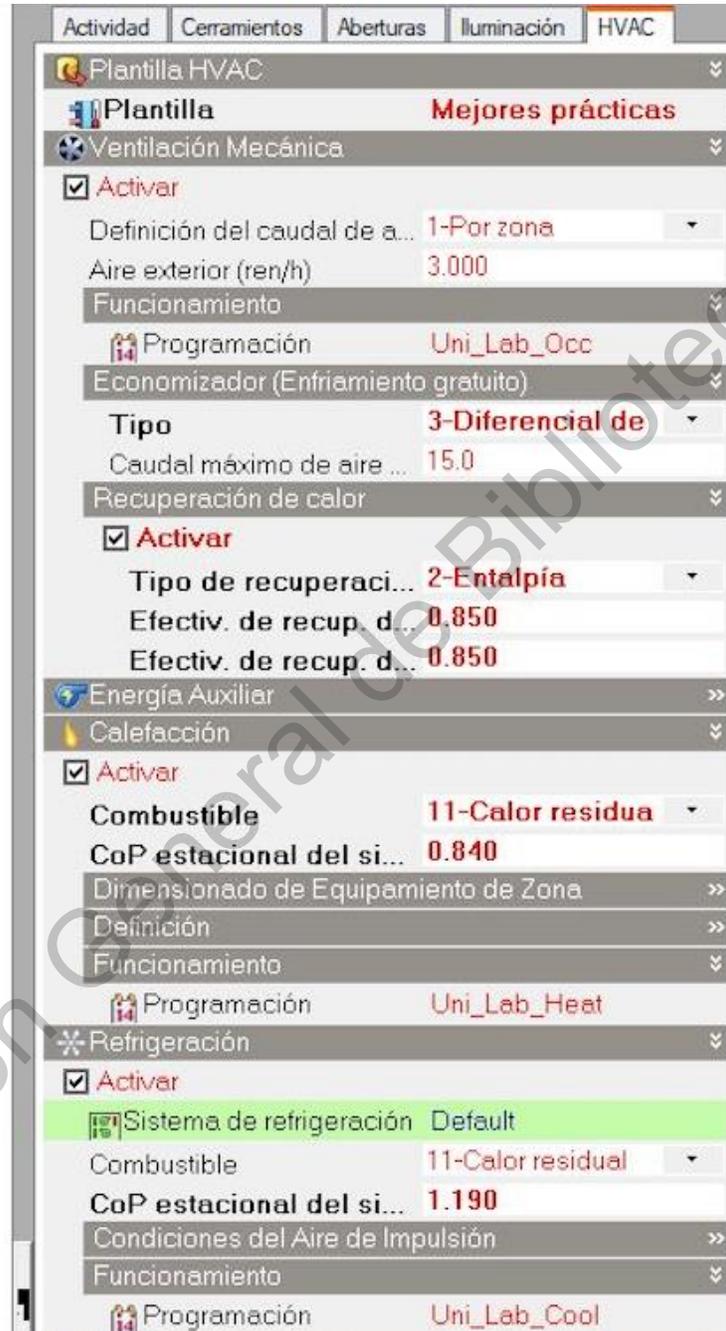


Figura 54 Configuración de HVAC. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Para la configuración de “tubo subterráneo” se colocaron los datos en base a las especificaciones que se enuncian a continuación:

1. Definición del caudal: se aplicó “caudal nominal” y el caudal que se ingreso fue el dato calculado en la tabla 7, para el diseño del ITA, como se muestra en la figura 55.

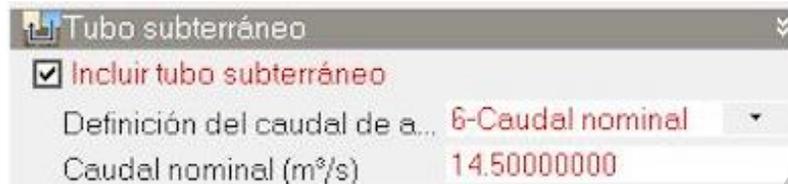


Figura 55 Configuración del caudal. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

2. Funcionamiento: la programación se generó en automático, de acuerdo a la configuración de la plantilla inicial, que fue de “Universidad: laboratorio, desarrollo e investigación científico”, como se muestra en la figura 56.



Figura 56 Configuración “funcionamiento”. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

3. Control:

- a) *Temperatura mínima de la zona al enfriar.* Esta es la temperatura interior (en ° C o ° F) por debajo de la cual se cierra el tubo de tierra. Este límite de temperatura inferior está destinado a evitar el sobre enfriamiento de un espacio y, por lo tanto, provocar una carga de calentamiento. Por ejemplo, si el usuario especifica una temperatura mínima de 20 ° C, se supone que el tubo de tierra estará disponible si la temperatura del aire de la zona es superior a 20 ° C. Si la temperatura del aire de la zona cae por debajo de 20 ° C, el tubo de tierra se apaga automáticamente (Design Builder, 2018).
- b) *Temperatura máxima de zona al calentar.* Esta es la temperatura interior (en ° C o ° F) por encima de la cual se cierra el tubo de tierra. Este límite de temperatura más alto está destinado a evitar el sobrecalentamiento de un espacio y, por lo tanto, provocar una carga de enfriamiento. Por ejemplo, si el usuario especifica una temperatura máxima de 20 ° C, se supone que el tubo de tierra está disponible si la temperatura del

aire de la zona es inferior a 20 ° C. Si la temperatura del aire de la zona supera los 20 ° C, el tubo de tierra se apaga automáticamente (Design Builder, 2018).

- c) *Temperatura delta*. Esta es la diferencia de temperatura (en ° C o ° F) entre las temperaturas de bulbo seco del aire interior y exterior por debajo de las cuales se cierra el tubo de tierra. Esto es para permitir que el tubo de tierra se detenga, ya sea si la temperatura exterior es demasiado cálida y podría calentar el espacio o si la temperatura exterior es demasiado fría y podría enfriar el espacio. Por ejemplo, si el usuario especifica una temperatura delta de 2 ° C, se supone que el tubo de tierra está disponible si la diferencia de temperatura entre la temperatura interior y exterior es de al menos 2 ° C. Si la temperatura del bulbo seco del aire exterior es inferior a 2 ° C más fría o más cálida que la temperatura del bulbo seco del interior, el tubo de tierra se apaga automáticamente (Design Builder, 2018).

En la tabla 16 se muestra la configuración elegida.

Tabla 16 Configuración de parámetro de CONTROL, datos ingresados en Design Builder.

Control	
Temperatura mínima	26
Temperatura máxima	21
Diferencia de Temperatura	1

4. Consumo eléctrico del ventilador:

- a) *Tipo de tubo subterráneo*. De impulsión es donde los valores de presión y eficiencia del ventilador definen el consumo eléctrico del ventilador y se agrega una cantidad apropiada de calor del ventilador a la corriente de aire (Design Builder, 2018).

- b) *Aumento de la presión del ventilador*. Este es el aumento de presión experimentado a través del ventilador (en Pascales (N / m²) o psi). Esta es una función del ventilador y juega un papel en la determinación de la cantidad de energía consumida por el ventilador. Este valor solo se ingresa para los tubos de tierra accionados por ventilador (Design Builder, 2018).

- c) Eficiencia total del ventilador.** Esta es la eficiencia total del ventilador (un número decimal entre 0.0 y 1.0). Esta es una función del ventilador y juega un papel en la determinación de la cantidad de energía consumida por el ventilador. Este valor solo se ingresa para los tubos de tierra accionados por ventilador (Design Builder, 2018).

En la figura 57 se muestra la configuración elegida.

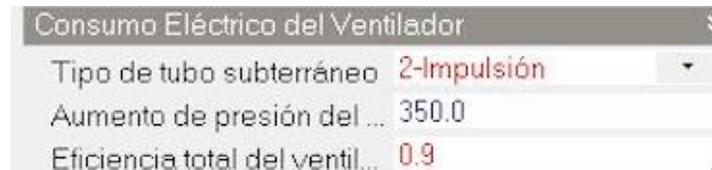


Figura 57 Configuración del “Consumo eléctrico del ventilador” Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

5. Especificaciones del tubo.

- a) Radio de la tubería.** Este es el radio del tubo / tubería de tierra. Esto juega un papel en la determinación de la cantidad de calor transferido desde el suelo circundante al aire que pasa a lo largo de la tubería (Design Builder, 2018).
- b) Espesor de la tubería.** Este es el grosor de la pared de la tubería. Esto juega un papel en la determinación de la cantidad de calor transferido desde el suelo circundante al aire que pasa a lo largo de la tubería (Design Builder, 2018).
- c) Longitud de la tubería.** Esta es la longitud total de la tubería. Esto juega un papel en la determinación de la cantidad de calor transferido desde el suelo circundante al aire que pasa a lo largo de la tubería. A medida que la longitud de la tubería se alarga, la cantidad de transferencia de calor aumenta (Design Builder, 2018).
- d) Conductividad térmica de tubería.** Esta es la conductividad térmica de la tubería. Esto juega un papel en la determinación de cantidad de calor transferida desde el suelo circundante al aire que pasa a lo largo de la tubería (Design Builder, 2018).
- e) Profundidad del tubo debajo de la superficie del suelo.** Esta es la profundidad de la tubería debajo de la superficie del suelo. Esto juega un papel en la determinación de la temperatura del suelo que rodea la tubería (Design Builder, 2018).

En la figura 58 se muestra la configuración elegida, de acuerdo a los datos tomados de la tabla 12, para los incisos a, c, d, y e. Para el inciso c: longitud de la tubería, se tomó del

cálculo realizado anteriormente para el diseño de dimensionado del ITA para verano, ya que se elige el valor más despreciable entre verano e invierno.

Especificaciones del Tubo	
Radio (m)	.20
Espesor (m)	0.0158
Longitud (m)	423.00
Conductividad térmica (W/m-K)	0.17
Profundidad desde la superficie (m)	3.00

Figura 58 Configuración del tubo. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

6. Calculo de la transferencia de calor del terreno.

- a) Condiciones del terreno. Esta cadena de caracteres alfa define la condición real del suelo que rodea el tubo de tierra y puede ser una de las siguientes opciones: pesado y saturado, pesado y húmedo, pesado y seco o ligero y seco. Esto determina la difusividad térmica y la conductividad térmica del suelo circundante, que juegan un papel en la determinación de la cantidad de calor transferido desde el suelo circundante al aire que pasa a lo largo de la tubería (Design Builder, 2018).
- b) Temperatura promedio. Esta es la temperatura promedio anual de la superficie del suelo directamente sobre el tubo de tierra, que juega un papel en la determinación de la temperatura del suelo que rodea la tubería (Design Builder, 2018).
- c) Amplitud de la temperatura. Esta es la amplitud de la temperatura de la superficie del suelo por encima del tubo de tierra, que desempeña un papel en la determinación de la temperatura del suelo que rodea la tubería. Esta es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima de la superficie del suelo para todo el año dividida por dos (Design Builder, 2018).
- d) Fase constante de la temperatura de la superficie del suelo. Esta es la constante de fase de la temperatura de la superficie del suelo directamente sobre el tubo de tierra, que desempeña un papel en la determinación de la temperatura del suelo que rodea la tubería en un momento particular. Este es el tiempo transcurrido desde el comienzo del año hasta que la temperatura de la superficie del suelo alcanza el valor mínimo del año (Design Builder, 2018).

En la figura 59 se muestra la configuración elegida.

Cálculo de la Transferencia de Calor del Terreno	
Condiciones del terreno	3-Pesado y seco
Temperatura promedio de la superficie del terreno (°C)	17.81
Amplitud de temperatura superficial del terreno (°C)	5.60
Constante de fase de la temperatura superficial	0.00

Figura 59 Configuración del cálculo de la transferencia de calor. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

7. Coeficiente de Flujo.

- a) Término constante coeficiente de flujo. Este número es parte de los parámetros de modificación especificados por el usuario que son función de factores ambientales. Este parámetro, sin embargo, es una constante en todas las condiciones y no se modifica por ningún efecto ambiental. Como resultado, no tiene dimensión (Design Builder, 2018).
- b) Término de temperatura coeficiente de flujo. Es parte de los parámetros de modificación especificados por el usuario que son función de factores ambientales. Este parámetro se modifica por la diferencia de temperatura entre las temperaturas de bulbo seco del aire interior y exterior. Las unidades para este parámetro son Celsius inversas (Design Builder, 2018).
- c) Término de velocidad coeficiente de flujo. Es parte de los parámetros de modificación especificados por el usuario que son función de factores ambientales. Este parámetro se modifica por la velocidad del viento que se experimenta fuera del edificio. Las unidades para este parámetro son s / m (Design Builder, 2018).
- d) Velocidad al cuadrado plazo coeficiente de flujo. Es parte de los parámetros de modificación especificados por el usuario que son función de factores ambientales. Este parámetro se modifica por el cuadrado de la velocidad del viento que se experimenta fuera del edificio. Las unidades para este parámetro son s² / m² (Design Builder, 2018).

En la tabla 17 se muestra la configuración elegida “Para el Coeficiente de flujo”

Tabla 17 Configuración de datos en Design Builder para el parámetro Coeficiente de flujo.

Coeficiente de flujo	
Constante	1.606
Temperatura	0.0202
Velocidad	0.000598
Velocidad al cuadrado	0.0

3.9.3 Configuración del modelo con un sistema de climatización convencional.

Para la configuración de un sistema convencional de climatización para el edificio CATAS en DB, se eligió un sistema de aire acondicionado y calefacción, seleccionado en la plantilla de la pestaña HVAC, el cual activo en automático los parámetros de ventilación mecánica, calefacción y refrigeración, como se muestra en la figura 60. Las figuras 61, 62 y 63 muestran las características del sistema convencional elegido.



Figura 60 Configuración HVAC para un aire acondicionado de enfriamiento y calefacción. Fuente: elaboración propia a partir de Design Builder.

Informe de datos (No editable)	
General	
Fan Coil Unit (4-Pipe). Air cooled Chiller	
Fuente	DB
Categoría	Genérico
Región	General
Simple	
Energía auxiliar anual (kWh/m²)	25.00
Coloración del Suelo en el Modelo	
Coloración de suelo	
NCM HVAC system type	
NCM HVAC system type	Fan coil systems
Ventilación Natural	
Activar	No
Ventilación Mecánica	
Activar	Si
Tasa (ren/h)	3.00
Ventiladores	
Tipo de ventilador	1-Impulsión
Aumento de presión (Pa)	150.0
Eficiencia total (%)	70.0
Economizador (enfriamiento gratuito)	
Tipo de economizador	1-Ninguno
Caudal máximo de aire exterior con eco...	15.0
Recuperación de calor	
Activar	No

Figura 61 Características del sistema convencional 1. Fuente: elaboración propia a partir de DB..

Calefacción	
Activar	Si
Combustible	2-Gas natural
Precalentamiento (hr)	1.0
CoP estacional del sistema de calefacción	0.85
Tipo de sistema de calefacción	1-Convectivo
Condiciones del Aire de Impulsión	
Temperatura máxima (°C)	35.00
Tasa de humedad máxima (g/g)	0.016
Refrigeración	
Activar	Si
Preenfriamiento (hr)	0.0
CoP estacional del sistema de refrigeraci...	1.80
Condiciones del Aire de Impulsión	
Temperatura mínima (°C)	12.00
Tasa de humedad mínima (g/g)	0.008
Humidificación	
Humidificación	No
Deshumidificación	
Deshumidificación	No

Figura 62 Características del sistema convencional 2. Fuente: elaboración propia a partir de DB.

Distribución de Temperatura del Aire	
Modo de distribución	1-Mezclado
Modo de interpolación	3-Delta T interior-exte
Condiciones superiores	
Temperatura (°C)	10.00
Carga térmica (W)	1000.00
Gradiente de temperatura (°C/m)	1.00
Condiciones inferiores	
Temperatura (°C)	0.00
Carga térmica (W)	0.00
Gradiente de temperatura (°C/m)	0.00
Alturas	
Altura del termostato (m)	1.50
Altura de retorno del aire (m)	3.50
Coste	
Coste por unidad de área (GBP/m²-Sup.Su...	150.00
Coste de HVAC por carga de refrigeración ...	1459.00
Coste de HVAC por carga de calefacción (...)	1459.00

Figura 63 Características del sistema convencional 3. Fuente: elaboración propia a partir de DB.

CAPÍTULO IV Resultados.

4.1 Configuración del sistema ITA para el edificio CATAS

De acuerdo al resultado de los cálculos realizados en la metodología anterior, así como los datos obtenidos de caudal, temperatura, tipo de suelo y todos los datos necesarios para un correcto diseño de intercambiador tierra aire, la configuración del sistema para el edificio CATAS queda de la siguiente manera:

La velocidad de paso del aire por los tubos está directamente relacionada con el número de entradas. La configuración optada es de “Bloque Techelmann (rejilla)”, que es de tres niveles, como se muestra en la figura 64 y 65, la instalación constara de 23 tubos dispuestos en dos líneas de ocho tubos y una línea de siete tubos, cada uno con una longitud de 18.40m dando una longitud total de 423.20m, esta última longitud se tomó en cuenta con el resultado del cálculo más desfavorable entre verano e invierno. La velocidad de paso de cada tubo es de 5 m/s. Los tubos deben ser soterrados de la siguiente manera, con una pendiente del 2% hacia el edificio:

1. Primera línea de ocho tubos a 2.5 m de profundidad, bajo tierra.
2. Segunda línea de siete tubos a 3.2m de profundidad, bajo tierra.
3. Tercera línea de ocho tubos a 3.9 m de profundidad, bajo tierra.

Los tubos deberán ser de PVC con medidas de un diámetro nominal de 40cm y con un espesor de 2.8cm. La separación de los tubos es de 90cm, en sentido horizontal como se muestra en la figura 64 y una separación de 70cm en sentido vertical como se muestra en la figura 64.

La toma de aire será visual, como se muestra en la figura 65 compuesta por tres tomas individuales las cuales sobresalen 1.5m del terreno a la superficie, ubicadas del lado este del edificio, que recogerán el aire del exterior y a través de los tubos mencionados, se introducirán a la cámara 1, en la cual posteriormente se extrae el aire mediante ventiladores de impulsión hacia la cámara 2 y su posterior reparto para la ventilación del edificio. La entrada y salida del aire por el sistema de intercambio es producida a través de dos cámaras, ubicadas una a

cada extremo, con la finalidad de obtener una circulación equilibrada por todos los tubos. Cada cámara tendrá un acceso para su posterior mantenimiento.

Los planos con el dimensionado diseñado se encuentran en el apartado de anexos.

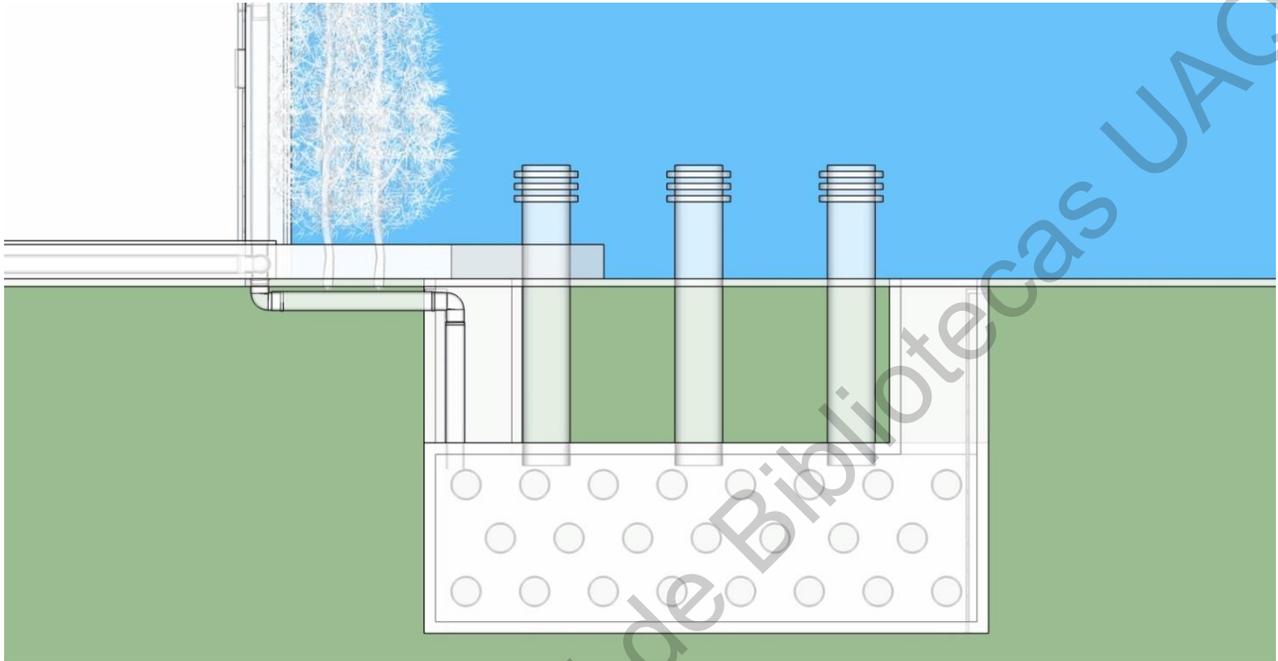


Figura 64 Corte cámara 1 del sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

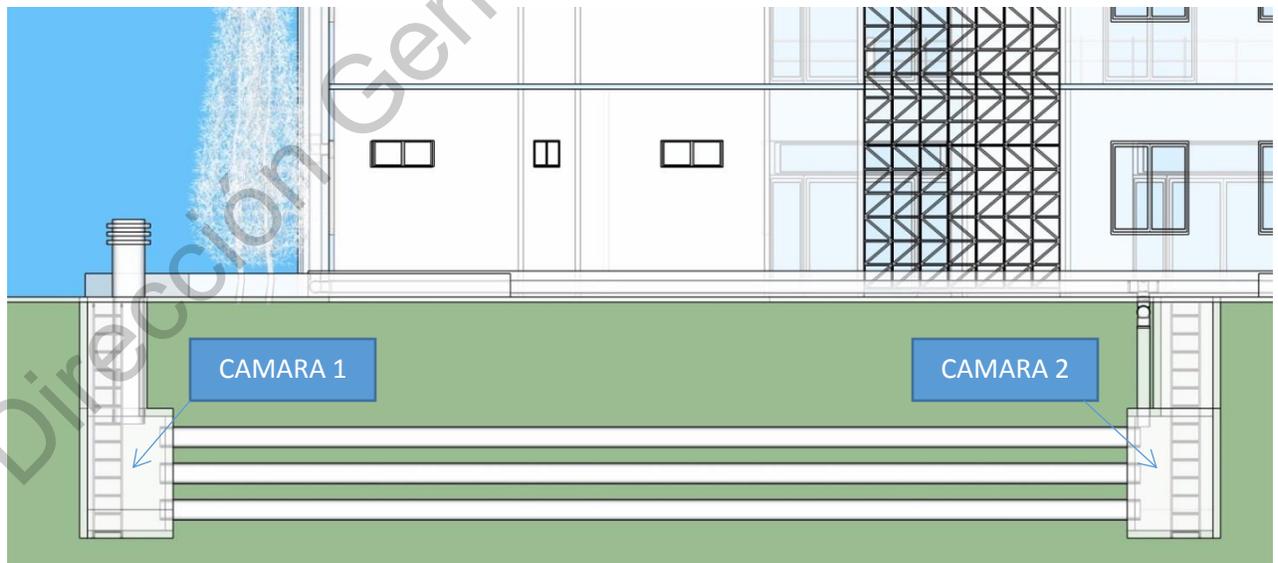


Figura 65 Cámara 1 (lado izquierdo), cámara 2 (lado derecho). Fuente: elaboración propia.

4.2 Diseño del ITA en el edificio CATAS.

A continuación se muestran vistas y renders; resultado del proceso metodológico para el diseño y dimensionado de un sistema ITA para el edificio CATAS. Los planos arquitectónicos, de instalación y detalles constructivos se encuentran en el apartado de Anexos.

Render 1: Muestra la planta general del edificio CATAS con la implementación del diseño de sistema ITA; donde se puede observar las ubicaciones de: dos registros para el acceso a las cámaras con fines de mantenimiento, las tres tomas de aire y los conductos de tubos que alimentan al edificio para su climatización.

Render 2: Vista isométrica que muestra las tres tomas de aire y la disposición del diseño para ocultar los conductos de tubería que alimentan al edificio CATAS

Render 3: Vista frontal que muestra las dos cámaras y la disposición de los tubos soterrados que componen el sistema ITA.

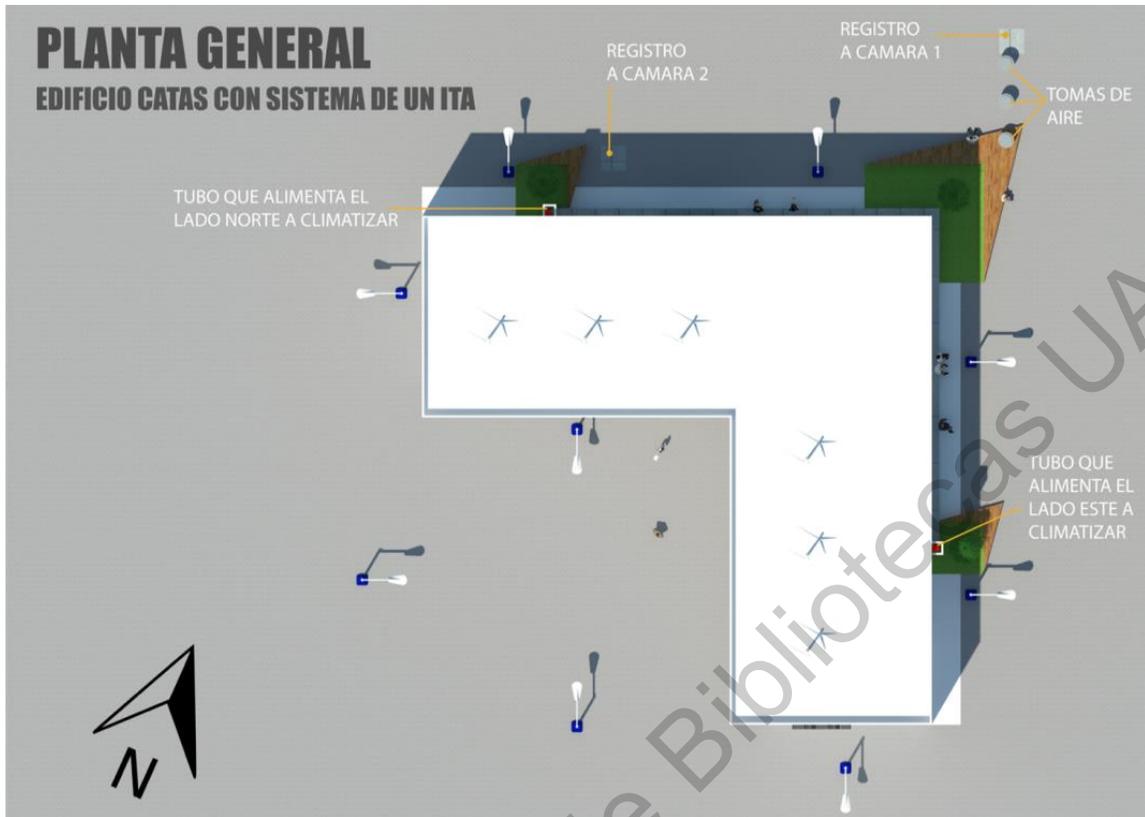
Render 4: Vista posterior que muestra las dos cámaras y la disposición de los tubos soterrados que componen el sistema ITA.

Render 5: Fachada suroeste se observan la disposición de las cámaras y los tubos soterrados que componen el sistema ITA.

Render 6: Fachada noreste se observan la disposición de las cámaras y los tubos soterrados que componen el sistema ITA.

Render 7: Fachada este se observan la disposición de las cámaras y los tubos soterrados que componen el sistema ITA.

Render 8: Fachada oeste se observan la disposición de las cámaras y los tubos soterrados que componen el sistema ITA.



Render 1 Planta general del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.



Render 2 Edificio CATAS muestra instalación exterior del sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

VISTA FRONTAL

EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 3 Vista frontal del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

VISTA POSTERIOR

EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 4 Vista posterior del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

FACHADA SUROESTE
EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 5 Fachada suroeste del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

FACHADA NORESTE
EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 6 Fachada noreste del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

FACHADA ESTE

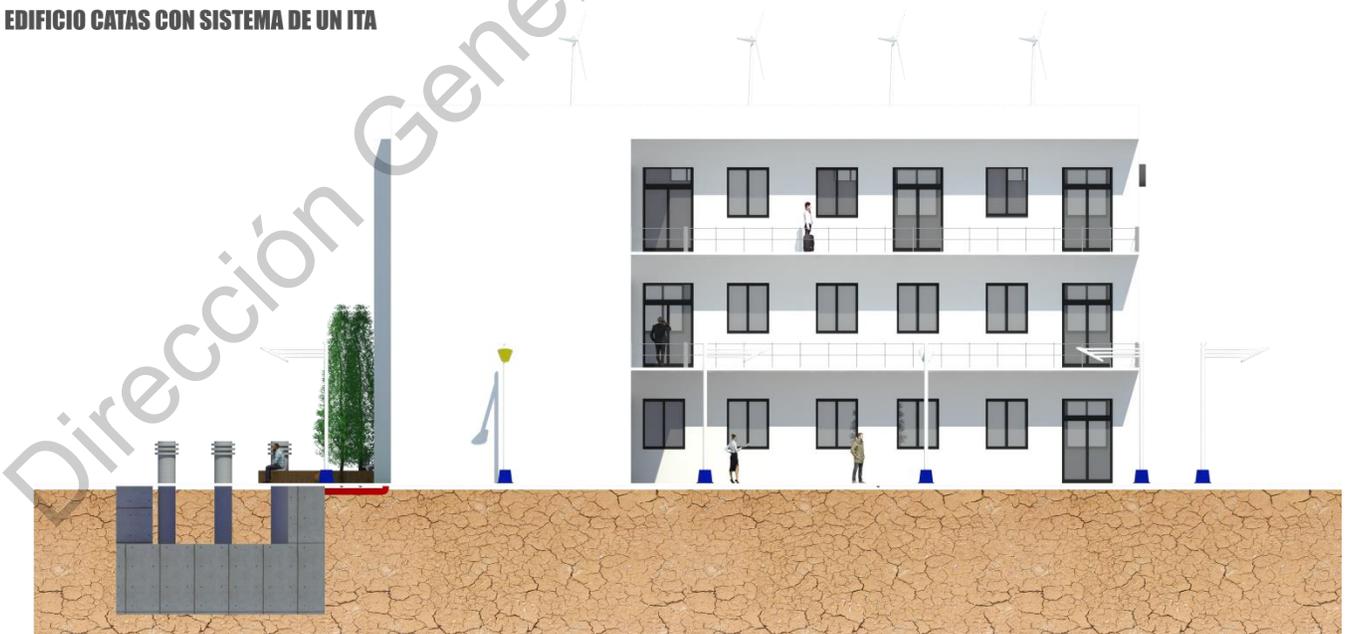
EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 7 Fachada del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

FACHADA OESTE

EDIFICIO CATAS CON SISTEMA DE UN ITA



Render 8 Fachada oeste del edificio CATAS con sistema ITA. Fuente: elaboración propia.

4.3 Resultados de la simulación en Design Builder con motor Energy Plus.

Una vez que se tuvo el modelado del edificio CATAS en el software DB, se prosiguió a la realización de tres simulaciones la primera, del edificio en su estado actual, es decir sin ningún sistema de climatización, la segunda con el sistema de Intercambiador Tierra Aire en el CATAS y la tercera, con un sistema de tipo convencional. Las aberturas, distribución y medidas del edificio fueron respetadas, para obtener resultados precisos en la simulación.

Para poder realizar los cálculos fue necesario ingresar los datos climáticos de la ciudad de México, datos de clima que se asemejan al sitio donde está emplazado el edificio CATAS, ya que el software no cuenta con archivos climáticos del municipio de Tequisquiapan, cabe señalar que el manual de DB sugiere ingresar otro archivo climático que se asemeje al clima que se desea simular siempre y cuando no exista un archivo climático del lugar.

Existen diferentes motores para la realización de los cálculos, para este caso se eligió el motor de simulación energética Energy Plus, que se encuentra en el software DB, el motivo de su elección fue que el motor permite 3 funciones: 1) Entender cómo funciona “internamente” determinados cálculos, para validar o comprender qué está sucediendo en una determinada simulación. 2) Detecta fallos y los comunica al equipo de desarrollo y 3) Relativiza la fiabilidad de la simulación energética.

4.3.1 Simulación del CATAS en su estado actual.

Para la simulación del edificio CATAS en su estado actual, sin ningún sistema de climatización, se recurrió a la opción de “Diseño de calefacción” para observar el comportamiento de la temperatura en invierno, al interior del edificio.

Se obtuvo que teniendo una temperatura de -5°C , temperatura máxima que se presenta en el CATAS cuando es temporada de invierno, la temperatura operativa del edificio se mantiene baja con 1.02°C , en la figura 66 se puede observar la gráfica. Se observó, que efectivamente, el edificio no brinda confort térmico en una circunstancia de temporada de invierno ante una temperatura máxima, la norma de INIFED marca una temperatura confortable para invierno de 18°C .



Figura 66 Grafica de Diseño de Calefacción del edificio CATAS sin ningún sistema de climatización. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

Para la temporada de verano se simuló el CATAS teniendo en cuenta la ventilación natural que brinda el edificio, al abrirse las ventanas. La simulación fue programada para el día más caluroso del año, 15 de julio, con fines de ver el comportamiento de temperatura al interior del edificio en el caso más extremo de calor. Se obtuvo que las temperaturas más altas del día se presentaban por la tarde de las 12:00 a las 18:00 horas y tomando en cuenta la temperatura más alta del día a las 16:00 horas; existe una temperatura al exterior del bulbo seco de 32.46°C, y el interior se mantenía con una temperatura operativa de 32.46°C, como se muestra en la figura 67. Se observó que para la temporada de verano en un día cálido el edificio CATAS no brinda confort térmico, ya que por norma de INIFED una temperatura de confort es de 18°C a 24°C

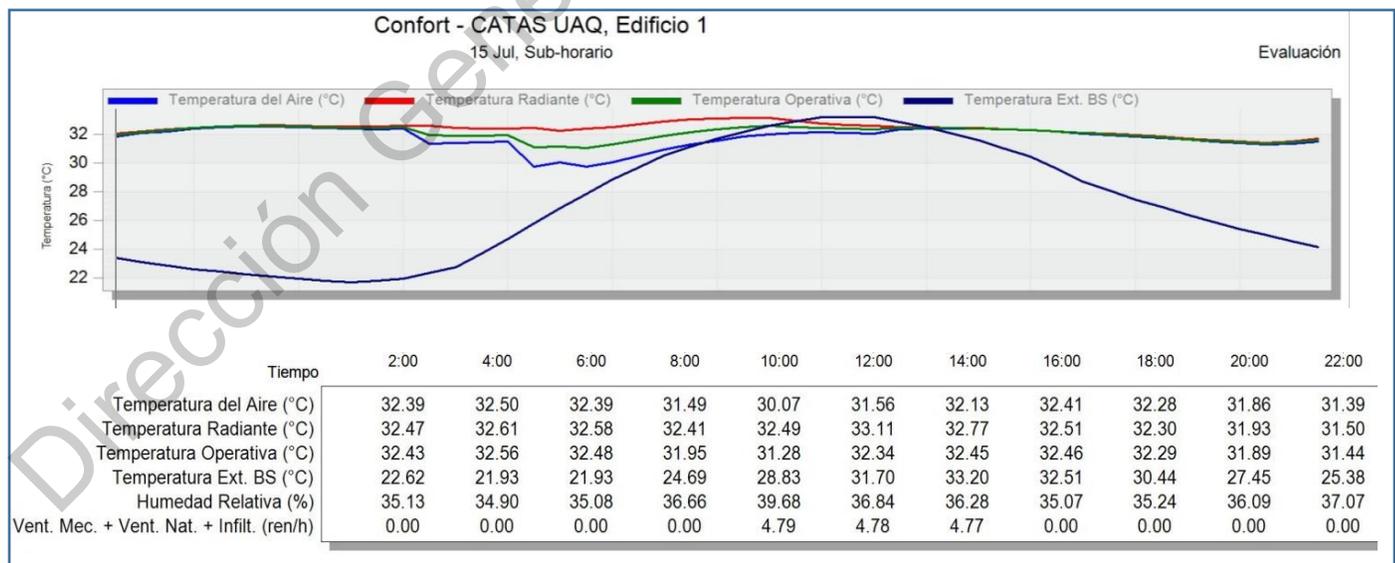


Figura 67 Gráfico y tabla del diseño de refrigeración en el edificio CATAS, sin sistema de climatización. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

4.3.2 Simulaciones del CATAS con sistema ITA y sistema convencional.

La primera simulación fue de "Confort" en un periodo anual, para ambos casos, el primer caso fue con sistema de ITA donde la temperatura exterior anual del bulbo seco fue de 16.86°C con una temperatura operativa anual al interior de 22.39°C, como se muestra en la figura 68, para el segundo caso, con sistema convencional la temperatura exterior anual del bulbo seco, de igual manera, fue de 16.86°C pero con una temperatura operativa anual al interior de 22.37°C, como se muestra en la figura 69.

Tomando en cuenta el reglamento de INIFED donde marca un rango de temperatura aceptable para espacios interiores educativos de los 18°C a los 24°C, ambos casos logran estándares de confort térmico; esto nos indica que implementando un sistema de ITA con la configuración diseñada se puede logra estándares permisibles de confort al igual que un sistema de tipo convencional.

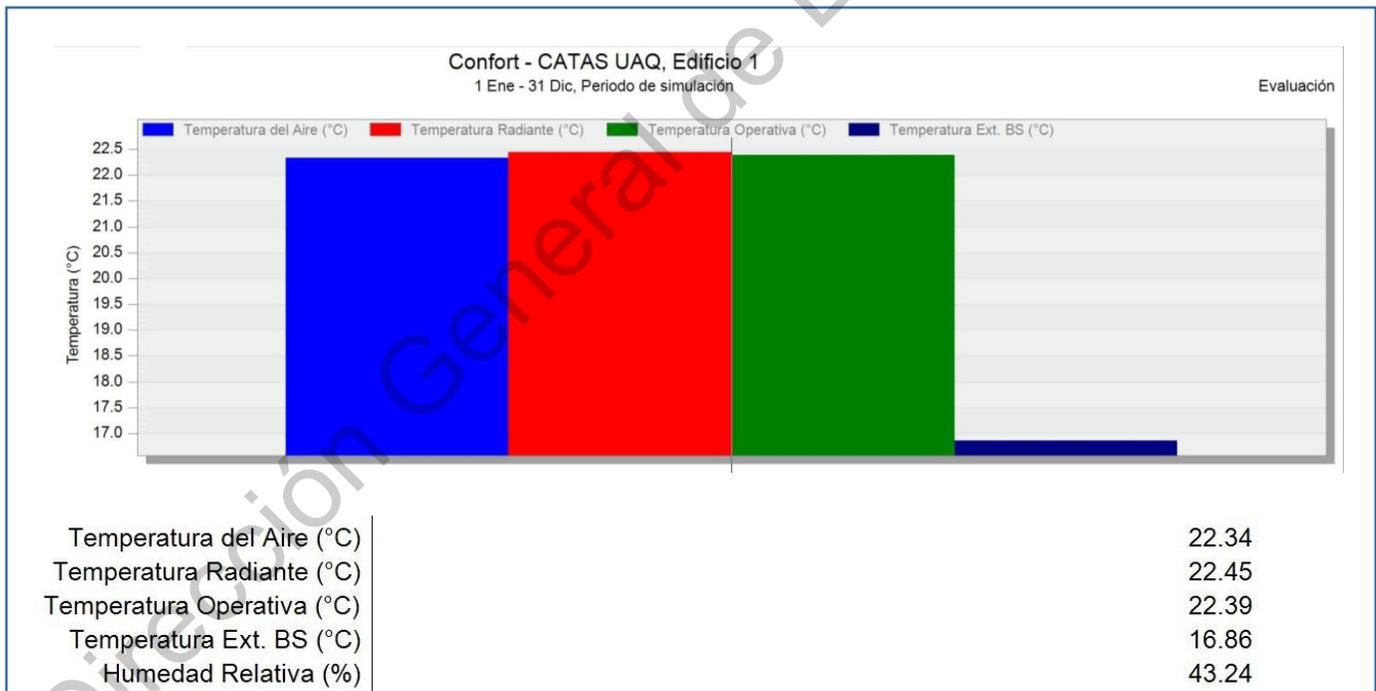


Figura 68 Gráfico y tabla de resultados, Simulación de Confort, del edificio CATAS, con sistema ITA. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

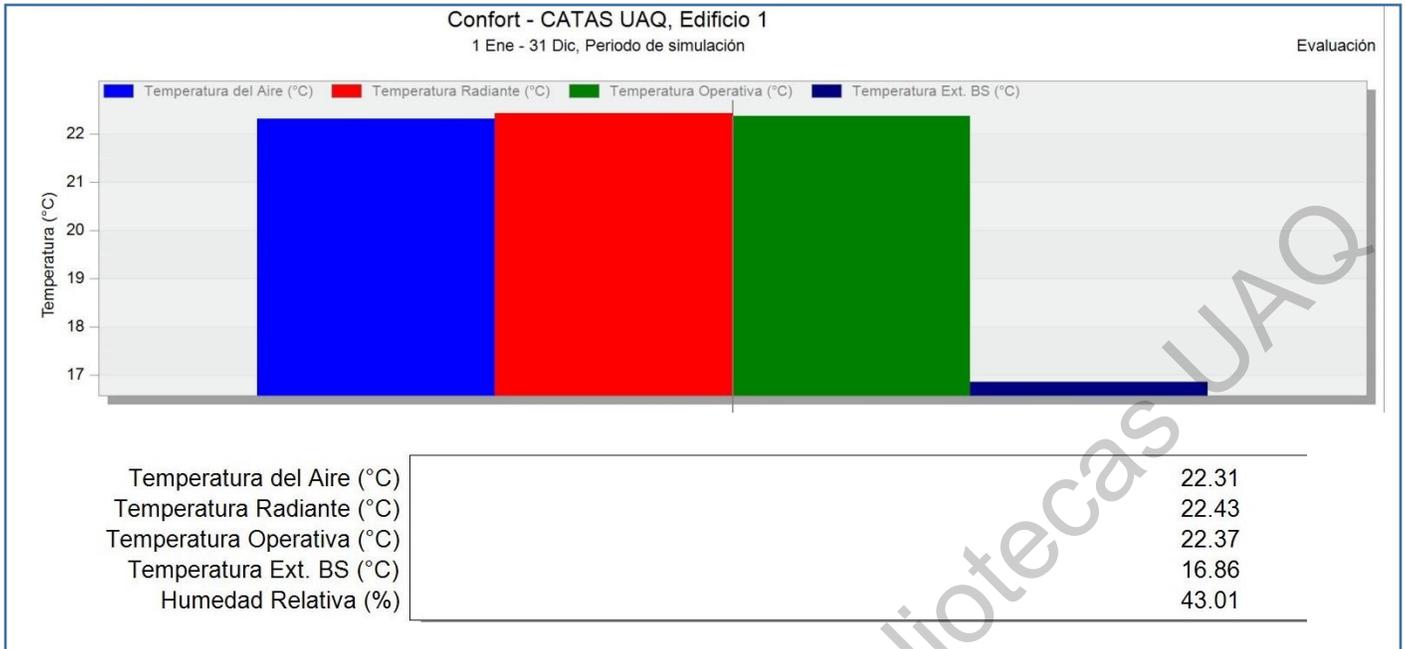


Figura 69 Gráfico y tabla de resultados Simulación de Confort, del edificio CATAS, con sistema convencional. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

Para la simulación de “Diseño de calefacción” los resultados del comportamiento de temperatura al interior del edificio en temporada de invierno tomando en cuenta la máxima de -5°C, son de una temperatura operativa de 18.87°C, en ambos casos, como se muestran en las figuras 70 y 71.

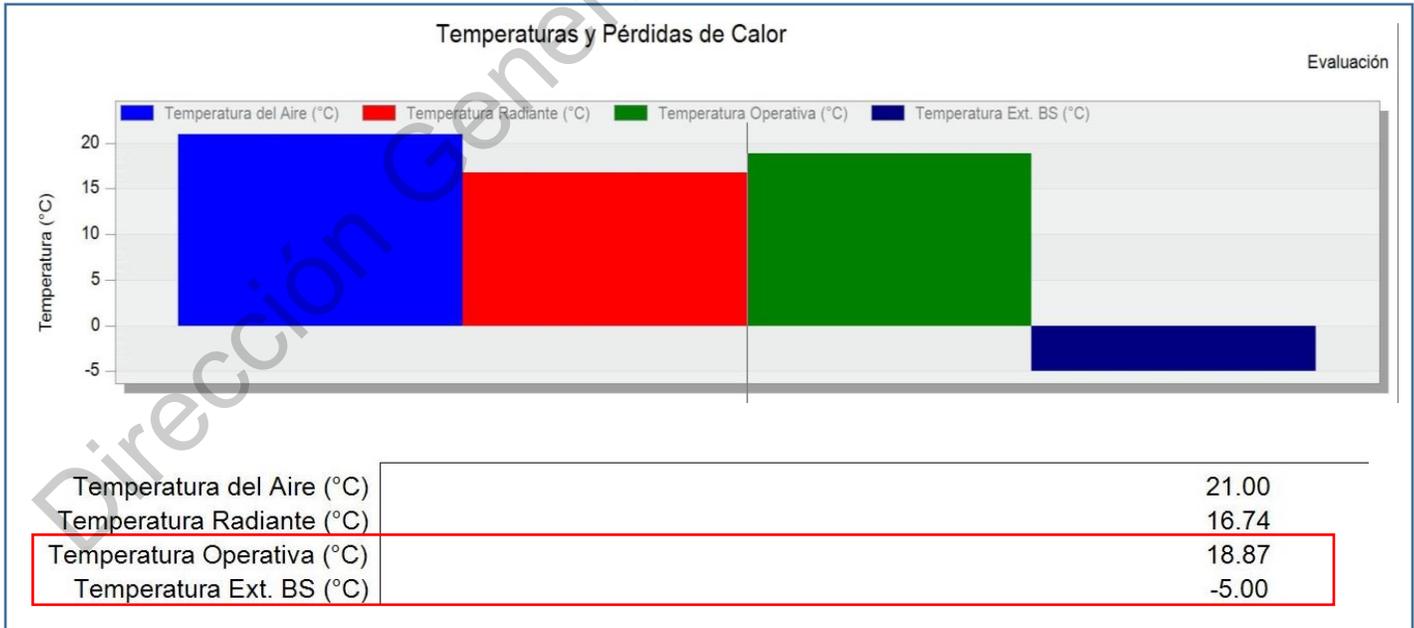


Figura 70 Gráfico y tabla de resultados de Diseño de Calefacción, del edificio CATAS, con sistema ITA. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

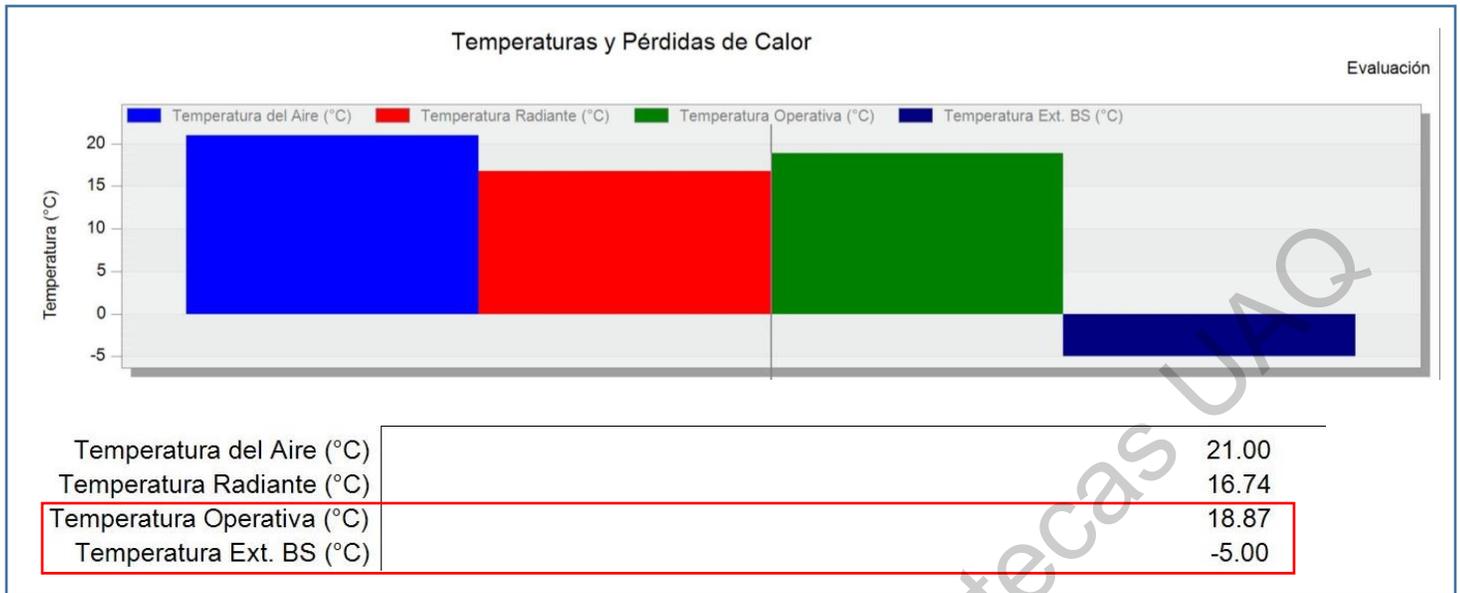


Figura 71 Gráfico y tabla de resultados de Diseño de Calefacción, del edificio CATAS, con sistema de calefacción. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

Para la temporada de verano la simulación fue de “Diseño de refrigeración” sub horaria del día 15 de julio, día más caluroso, con una temperatura de entrada de 32.51°C a las 16:00 horas y logro una temperatura operativa de 26.75°C, en ambos casos, como se muestran en las figuras 72 y 73.

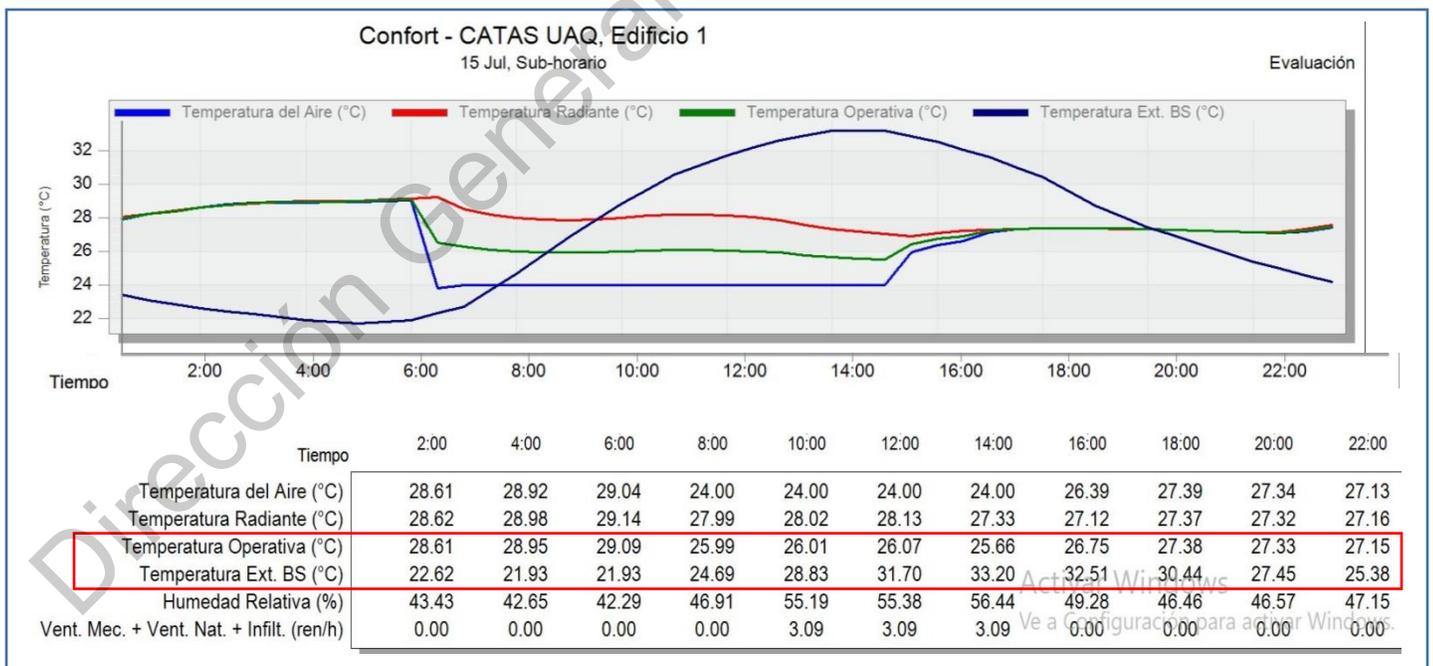


Figura 72 Gráfico y tabla de resultados de Diseño de Refrigeración, del edificio CATAS, con sistema ITA. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

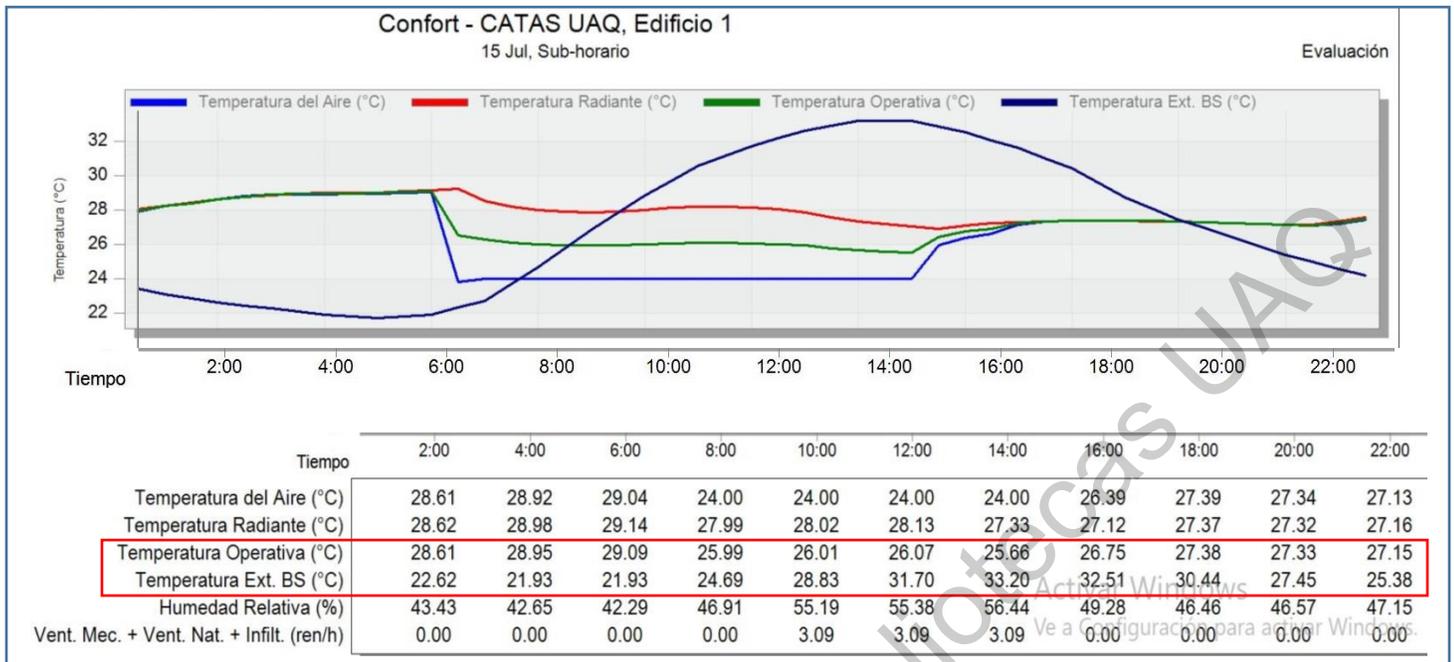


Figura 73 Gráfico y tabla de resultados de Diseño de Refrigeración, del edificio CATAS, con sistema de aire acondicionado. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

La simulación también arroja datos de consumos totales, donde se pudo observar el consumo energético con ambos sistemas en el edificio CATAS, para el sistema ITA el consumo anual fue de 12594.96 kwh como se muestra en la figura 74 y para el sistema convencional el consumo anual fue de 19491.08 kwh como se muestra en la figura 75. Dio una diferencia significativa de 6896.12 kwh, esto demostró que el sistema ITA logro un ahorro energético significativo en comparación con uno de tipo convencional.

Cabe señalar que el diseño del sistema ITA genero un consumo energético, debido a que el área que se consideró fue para un edificio de tres niveles con una superficie de espacios a climatizar de 745.95m² requiriendo un caudal generoso, esto con llevo a que en el diseño se implementara un sistema mecánico de extractores para la impulsión del aire. Existen casos donde los caudales son mucho menores y no se requiere de un sistema mecánico, al ser así no hay existencia de ningún consumo energético.

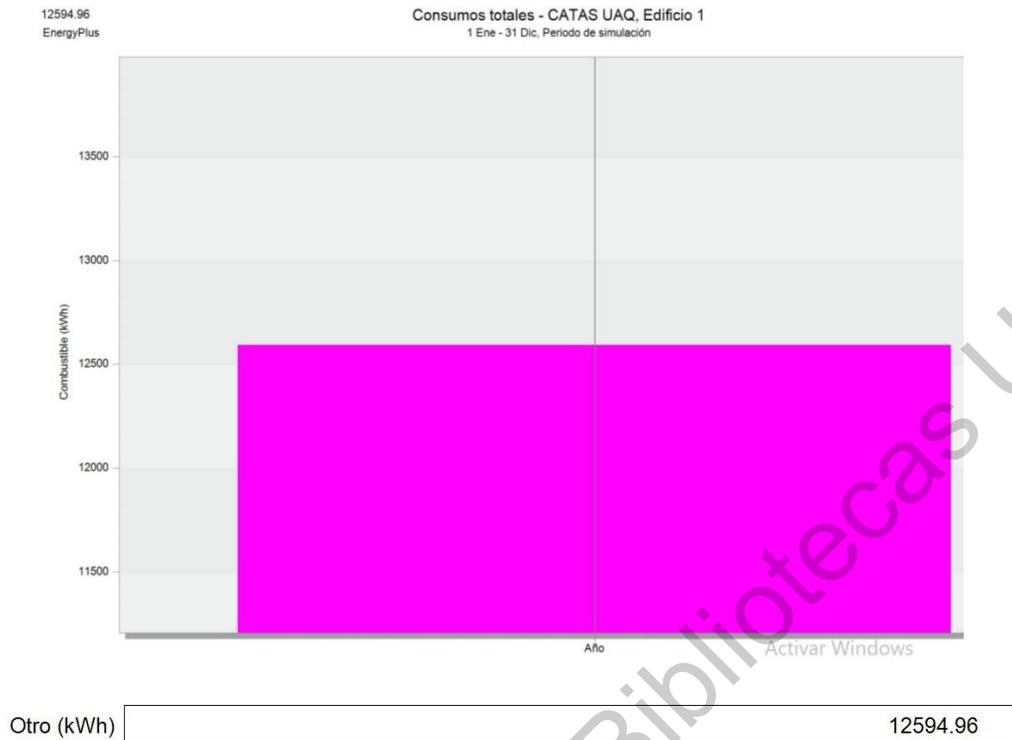


Figura 74 Gráfico de resultados Simulación de Consumos Totales, del edificio CATAS, con sistema ITA. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

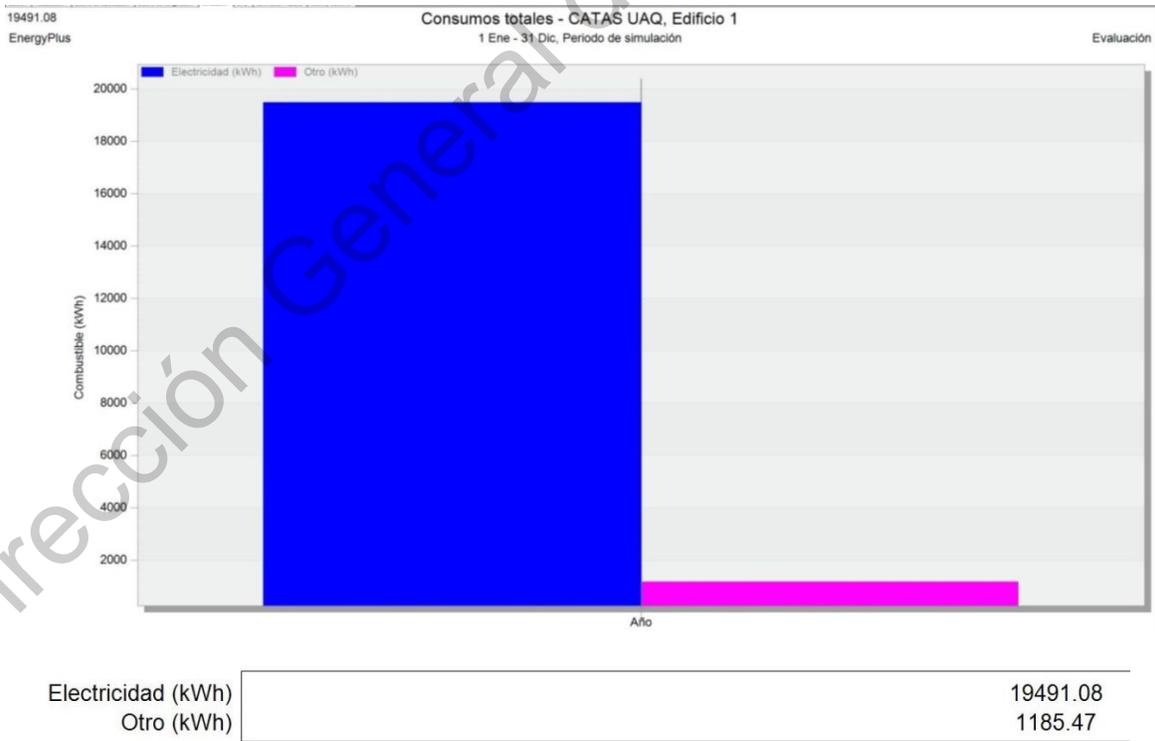


Figura 75 Gráfico de resultados de Simulación de Consumos Totales, del edificio CATAS, con sistema convencional. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

Por último se muestran los resultados de las emisiones de CO2 en kg, que emitiría el edificio CATAS si se utilizara el sistema de climatización de tipo convencional propuesto en las anteriores simulaciones, los cuales arrojaron 11811.58kg de CO2 como se muestra en la figura 76. Esto es un indicador de alta contaminación debido a que las emisiones de CO2 van acompañadas por diversas emisiones de hollín, humo, metales pesados y otros contaminantes que afectan a la mayoría de los organismos vivos y en los seres humanos es toxico en altas concentraciones.

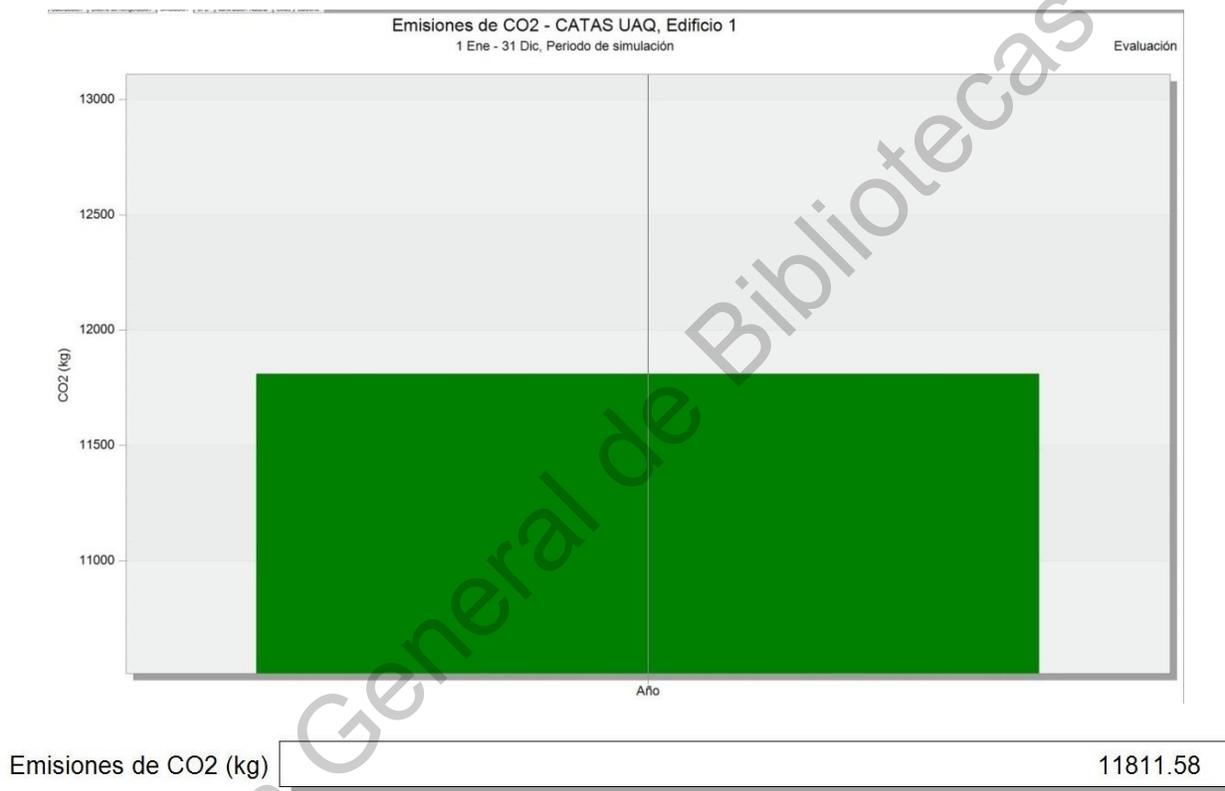


Figura 76 Gráfica de resultados de Simulación de Emisiones CO2, del edificio CATAS, con sistema convencional. Fuente: elaboración propia con Energy Plus.

CAPÍTULO V Conclusiones.

Una vez investigado el diseño para un intercambiador tierra aire, efectuado los cálculos para su diseño en el edificio CATAS y realizado el análisis de las simulaciones para el edificio en su estado actual, con sistema ITA y con un sistema de climatización de tipo convencional, se pueden observar ciertos aspectos que se exponen en los siguientes apartados:

- En cuanto a la regulación mexicana del sistema ITA la normativa es insuficiente debido a su poca implantación en los edificios. Actualmente se debe recurrir a diversas normativas para cada apartado concreto de la instalación. Un desarrollo específico de las normas, podría suponer un avance significativo en la extensión del sistema. Y además se promovería la utilización de medidas de acondicionamiento sostenible en los edificios de nueva planta.
- El emplazamiento del proyecto condiciona la viabilidad de estos sistemas. Para el edificio CATAS, que ya está construido, la implementación del sistema ITA representaría nueva excavación a una profundidad aproximada de 4m para soterrar los 23 tubos de 18.10m de longitud, más las dimensiones de las dos cámaras, en este caso el sitio donde se encuentra el CATAS, que es una universidad, por el momento no existe construcción aledaña donde se propone la instalación del sistema, cabe señalar que existen proyectados edificios futuros, sin embargo podría ser ventajoso en el sentido de que el día que se realicen las excavaciones para nuevos edificio aledaño al CATAS de ubicación norte, se aproveche y se instale el sistema ITA.
- Ya que el espacio requerido para la instalación de un sistema ITA por su dimensión es amplio, es conveniente se proyecte antes de la ejecución de una obra, para que quede soterrado bajo la construcción del complejo a climatizar. La implementación del sistema ITA para nuevos edificios es viable siempre y cuando exista espacio alrededor del complejo a climatizar en la ubicación idónea de acuerdo a las características ambientales.
- Para la implementación del sistema ITA siempre tendrán que tomarse en cuenta las características del suelo y condiciones medio ambientales para asegurar si es factible su instalación o no. La ubicación del CATAS y las condiciones del sitio, si permiten una instalación del sistema ITA, aunque deberá tomarse en cuenta el costo de excavación que es alto y por ser un edificio de tres niveles, se debe proporcionar el aire acondicionado en alturas altas, esto supone impulsión del aire a cierta velocidad por medio de extractores dando pie a un consumo energético mínimo; y siendo un sistema sustentable de energía activo. Los sistemas de ITA son sustentables de energía pasiva cuando no se utiliza extractores de impulsión.

- La zona climática en la que se situó la instalación también afecta a la viabilidad de la instalación. En climas templados, como Querétaro, el aire pre tratado por los conductos con un ligero aporte de energía alcanza fácilmente la temperatura de confort, tanto en verano como en invierno. En zonas con temperaturas más extremas la utilización del terreno es claramente insuficiente y, aunque mejore significativamente las temperaturas exteriores de partida, es necesario un gran aporte de energía para alcanzar una temperatura adecuada. De este modo la utilización del sistema es preferible en climas templados, que es el caso del CATAS, donde en ciertos momentos puede ser suficiente para la climatización interior.
- Sin ningún sistema de climatización en el CATAS los usuarios mencionaron que en verano se siente calor en el edificio y en invierno lo sienten muy frío, los resultados de la simulación de diseño de calefacción y refrigeración efectuada para el CATAS en su estado actual, comprueban dicha afirmación.
- Las temperaturas logradas al interior del CATAS con sistema ITA y sistema de tipo convencional son casi parecidas, logrando confort con ambos sistemas con una diferencia mínima promedio de 0.02°C , ya que alcanzan el rango de confort dictado por INIFED de 18°C a 24°C , como lo muestran los resultados de las simulaciones con ambos sistemas en el CATAS.
- Aunque las dos climatizaciones de tipo convencional y de ITA para el CATAS, lograron confort térmico, en este caso de estudio ambos sistemas mostraron generar consumos energéticos. El sistema ITA lo genero ya que fue necesario, en su diseño, un sistema mecánico para la impulsión del aire; debido a que el caudal a cubrir era alto para climatizar espacios ubicados en un edificio de tres niveles, por otro lado para el sistema de uso convencional el consumo energético fue mucho más alto con una diferencia anual mayor de 6896.12 kwh, esto implica un gasto económico alto para el CATAS. Se considera 1 kwh en \$3.60 por la CFE tomado en cuenta como "Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión. Con este dato obtenemos que el edificio CATAS tendría un gasto anual económico de \$70167.888 si utilizara un sistema de tipo convencional, para lograr confort térmico. Con esto se concluye que al usar un sistema ITA para lograr confort térmico en el edificio CATAS, se obtiene un mayor beneficio de ahorro económico.

- Debido a que los resultados demostraron que un sistema convencional para la obtención del confort térmico en el edificio CATAS generan un consumo de 19491.08 kwh anual, que equivale a 11811.58kg emisiones CO₂, comprueba que para obtener confort térmico este sistema queda descartado y se hace viable el sistema ITA ante el hecho de que el Protocolo de Kioto tiene como objetivo reducir emisiones CO₂ y en el 2009 la conferencia sobre el cambio climático en la ONU, así como la Agencia Internacional de Energía, ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), Acuerdo de Paris y Agenda 2030 dan comunicado del hecho necesario de una revolución internacional de las tecnologías energéticas.

CAPÍTULO VI Prospectivas.

- El desarrollo del diseño de Intercambiador tierra Aire, planteado en esta tesis, provee de información suficiente para quienes decidan implementar este tipo de tecnologías sustentables, en los proyectos arquitectónicos con la finalidad de ganar confort térmico y ahorro energético ya que en territorio Mexicano donde el suelo tiene propiedades de conductividad térmica y existencia de climas templados, hacen propicio la ejecución de estos sistemas ITAS.
- Las simulaciones que se efectuaron en el software Design Builder; permite a los interesados conocer una manera ventajosa de ingresar las configuraciones de sus diseños en los proyectos que contemplen un sistema ITA, para poder así comprobar su buen funcionamiento, ya que antes de la ejecución edilicia del proyecto podrán corroborar su viabilidad o hacer los ajustes necesarios para un buen diseño del sistema.
- Por otro lado el rendimiento del sistema ITA puede optimizarse, con la utilización de un sistema automatizado de control, esto invita a que esta tesis sea una base referente para el seguimiento de futuras investigaciones en automatización del sistema Intercambiador Tierra Aire.

BIBLIOGRAFÍA

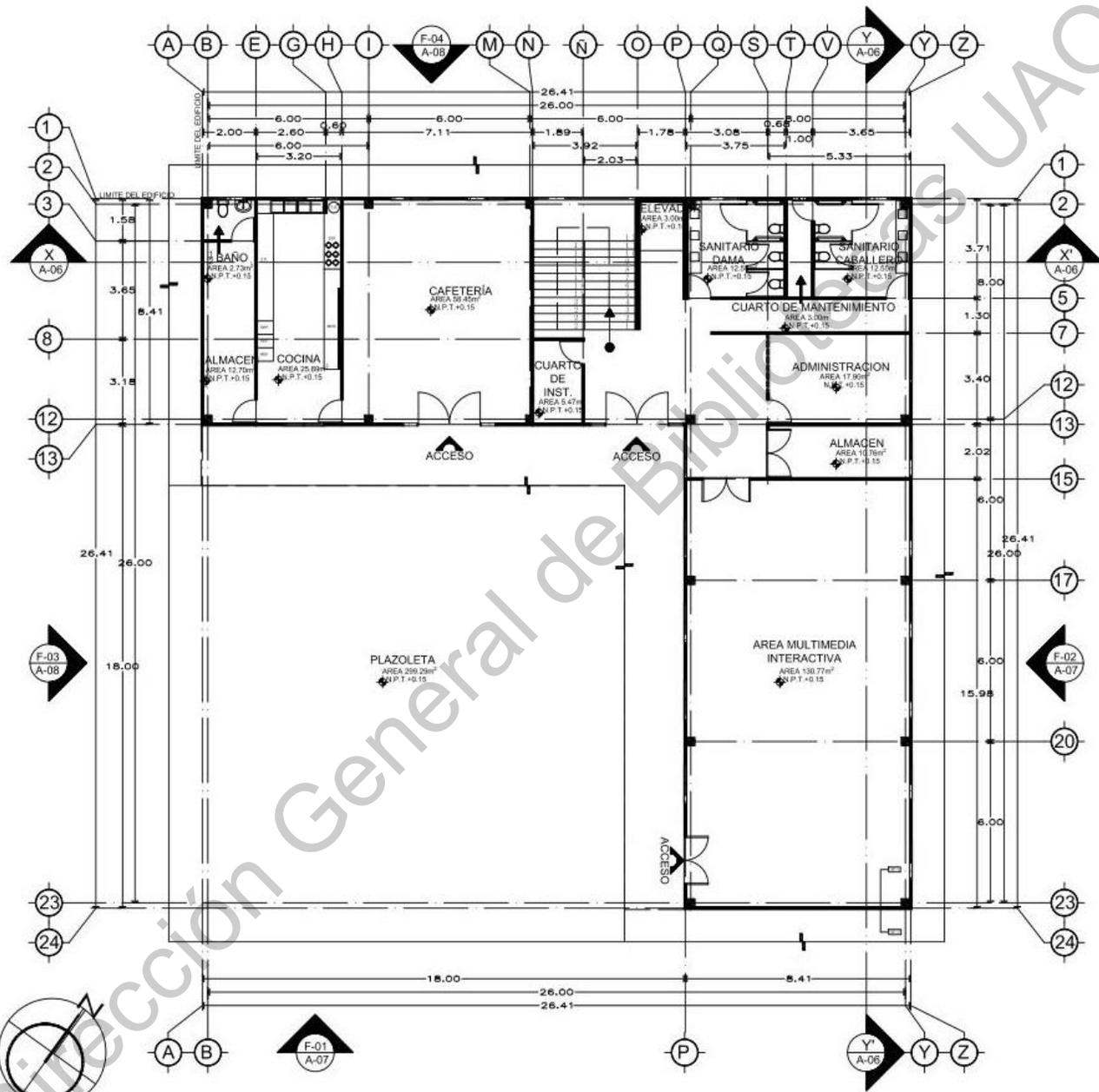
- Plan de desarrollo del campus Tequisquiapan.* (2015). Obtenido de http://planeacion.uaq.mx/docs/novedades/Plan_Desarrollo_Campus_Tequisquiapan.pdf
- Design Builder.* (2018). Obtenido de Soluciones Arquitectónicas y Urbanas Sustentables S.A. de C.V.: <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/modulo-hvac>
- Magazine.* (2018). Obtenido de <http://andresestevez.mx/magazine/noticias/item/14238-inauguran-centro-academico-de-tecnologia-avanzada-sustentable-un-edificio-autosustentable>
- Sostenibilidad para todos ACCIONA.* (2018). Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/acuerdo-de-paris-en-que-consiste/?gclid=Cj0KCQjwh6XmBRDRARIsAKNIhDHX2W2FljNErYLSZQogFYn_hrv6g7Apf-rzx1YoFfc_2hkw_DzgSbkaAqOpEALw_wcB
- Agrawal, K. K. (2018). *A review on effect of geometrical, flow and soil properties on the performance of Earth air tunnel heat exchanger.* India: ELSEVIER.
- Balter, J. (2012). *Confort Termico y Consumo Energetico en Edificios Vidriados.* Argentina.
- Barbado, S. V. (2016). *ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN RECUPERADOR DE ENERGÍA GEOTÉRMICA APLICADO A UN EDIFICIO UNIVERSITARIO.* Tesis, Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, España.
- Bordoloia, N. (2018). *An intense review on the latest advancements of Earth Air Heat Exchangers.* India: ELSEVIER.
- Cabezas, A. M. (2012). *Eficiencia Energética a través de utilización de Pozos Canadienses con el análisis de datos de un caso real "Casa Pomaret".* Master, Escuela Politecnica Superior de Edificación de Barcelona, Catalonia.
- Cabezas, A. M. (2012). *EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL "CASA POMARET".* Barcelona: Universidad Politecnica de Catalonia.
- Carpet, F. (2019). *Free Online Interactive Psychrometric Chart.* Obtenido de Fly Carpet: <http://www.flycarpet.net/en/PsyOnline>
- Castilla, M., Alvarez, J., Berenguel, M., Perez, M., Rodriguez, F., & Guzman, J. (Julio de 2010). Técnicas de Control del Confort en Edificios. (RIAI, Ed.) *Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 7(3), 5-24.
- Chávez, J. L. (2014). *Municipio de Tequisquiapan.* Tesis, UNAM, Queretaro.

- Cid, C. G. (2015). Intercambiador Tierra aire. Sistema pasivo para la reducción de demanda energética. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- Cruz, R. G. (2016). *CENTRO ACADÉMICO Y DE TECNOLOGÍA AVANZADA SUSTENTABLE (CATAS)*. Universidad Autónoma de Queretaro, Laboratorio de Geotecnia y Materiales. Queretaro: UAQ.
- Días, S. M. (2018). *El terreno como Intercambiador*. Madrid.
- Econova, G. E. (2016). *GestorEnergético.com*. Obtenido de Gestor Energético : <https://www.gestor-energetico.com/aprender-design-builder/>
- Farrás, J. G. (2001). Control ambiental en interiores.
- García, A. O. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. En A. O. García, *Manual de ayuda DesignBuilder en español*. España: sol-arq.
- García, T. C. (2017). *EGADE IDEAS*. Obtenido de <https://egade.tec.mx/es/ideas/acuerdo-de-paris-de-la-cop-21-cuanto-ha-avanzado-mexico>
- Higiene, I. N. (2007). Confort Térmico. Madrid.
- Hollmuller. (2006). *A new ventilation and thermal storage technique for passive cooling of buildings: thermal phase-shifting*. Suiza: Université de Geneve.
- Hollmuller, P. (2005). *Rafrâichissement par geocooling. Bases pour un manuel de dimensionnement*. Suiza: Université de Geneve.
- INIFED. (2011). *Volumen 3 Habitabilidad y Funcionamiento Tomo I Diseño Arquitectónico*. Norma , Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos Construcción e Instalaciones, México.
- Lopez, O. R. (2015). *RENDIMIENTO EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR GEOTÉRMICO UTILIZANDO UNA GEOMETRÍA HÍBRIDA*. Mexico: CIDESI.
- Merçon, M. G. (2008). *Confort Térmico y Tipología*. Catalunya.
- México, G. d. (2006). *Información Climatológica por Estado*. Obtenido de smn.cna.gob.mx: <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=qro>
- Montoya, A. M. (2015). *ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA CLIMATIZACIÓN DE ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE MANIZALES, MEDIANTE EL SISTEMA DE POZO CANADIENSE*.
- Morillón, G. D., & Morales, J. D. (2012). *Énergia para el edificio sustentable*. México D.F.: Terracota SA de CV.
- Morón, I. R. (2011). "RENOVACIÓN DE AIRE EN LOS HABITÁCULOS, NECESIDAD EN EL DISEÑO CONTEMPORÁNEO DE EDIFICIOS. CON VENTANAS HERMÉTICAS Y EFICIENTES LOGRAMOS UNA VENTILACIÓN INTELIGENTE". (AMEVEC, Ed.) México: AMEVEC.

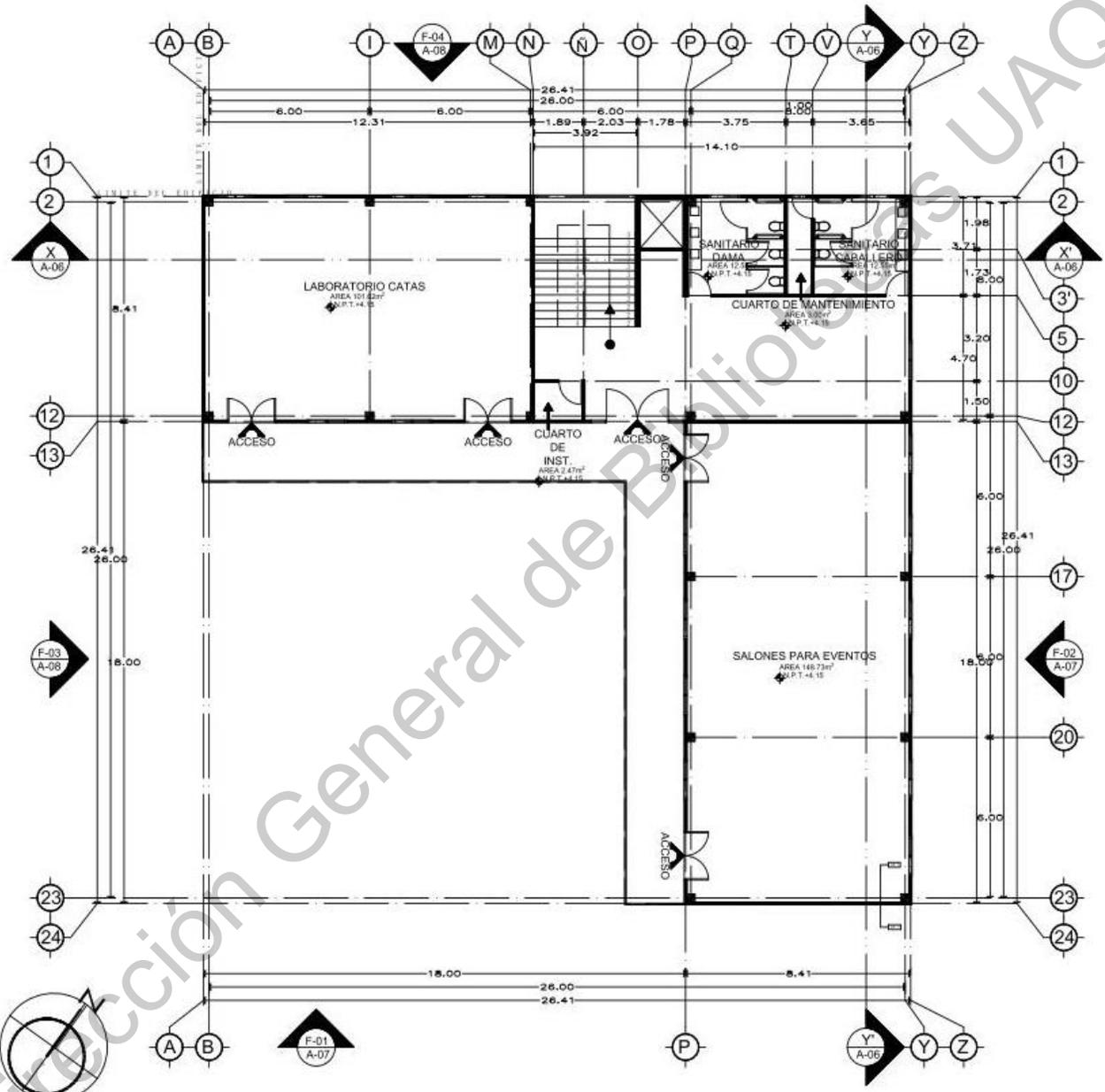
- Obando, G. J., & Montoya, A. M. (2015). *ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA CLIMATIZACIÓN DE ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE MANIZALES, MEDIANTE EL SISTEMA DE POZO CANADIENSE*. Proyecto, Universidad Nacional de Colombia, Arquitectura, Manizales.
- Olgay. (1963).
- PROMOEENER-A. (2013). *GUIA DEL POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS*.
- Querétaro, R. Q. (15 de diciembre de 2017). *Quadratin Queretaro*. Recuperado el 2019, de <https://queretaro.quadratin.com.mx/inaugura-uaq-edificio-sustentable-tx/>
- Quiston, M. (2007). *Calefaccion Ventilacion y Aire Acondicionado*. Limusa Wiley.
- San Juan, D. (23 de JULIO de 2018). *Cero grados celsius*. Obtenido de 0GRADOS.COM.MX: <https://0grados.com.mx/una-normativa-para-el-confort-termico/>
- Santoyo, E. (2010). *Energia Geotermica*. Mexico: Ciencia.
- SEGOB. (2019). *Diario Oficial de la Federación*. (S. d. Gobernación, Productor) Obtenido de dof.gob.mx: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5518364&fecha=09/04/2018
- Singha, R. (2018). *Recent advancements in earth air tunnel heat exchanger (EATHE) system for indoor thermal comfort application: A review*. South Africa e India: ELSEVIER.
- Solé, J. E. (2010). INTERCAMBIADORES TIERRA-AIRE Y TÉCNICAS EMPARENTADAS. EJEMPLOS Y EXPERIENCIAS. II CONGRESO DE ENERGIA GEOTERMICA EN LA EDIFICACION Y LA INDUSTRIA. GEOENER, At MADRID. Geo Ener.
- Sweatman, P. (2016). *Marco Político de Largo Plazo para la Eficiencia Energética*. Marco Politico, SENER, Mexico.
- Unidas, N. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Vegas. (2016). *4. Estudio energético de un recuperador de energía geotérmica aplicado a un edificio universitario*.
- Ventures, C. L. (2018). *Weather Spark*. Obtenido de Clima promedio de Tequisquiapan: <https://es.weatherspark.com/y/6059/Clima-promedio-en-Tequisquiapan-México-durante-todo-el-año>
- Wadel, G. (2009). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1.
- Zabalza, I. (2009). *Repensar edificios mediante el análisis de ciclo de vida*.

ANEXOS

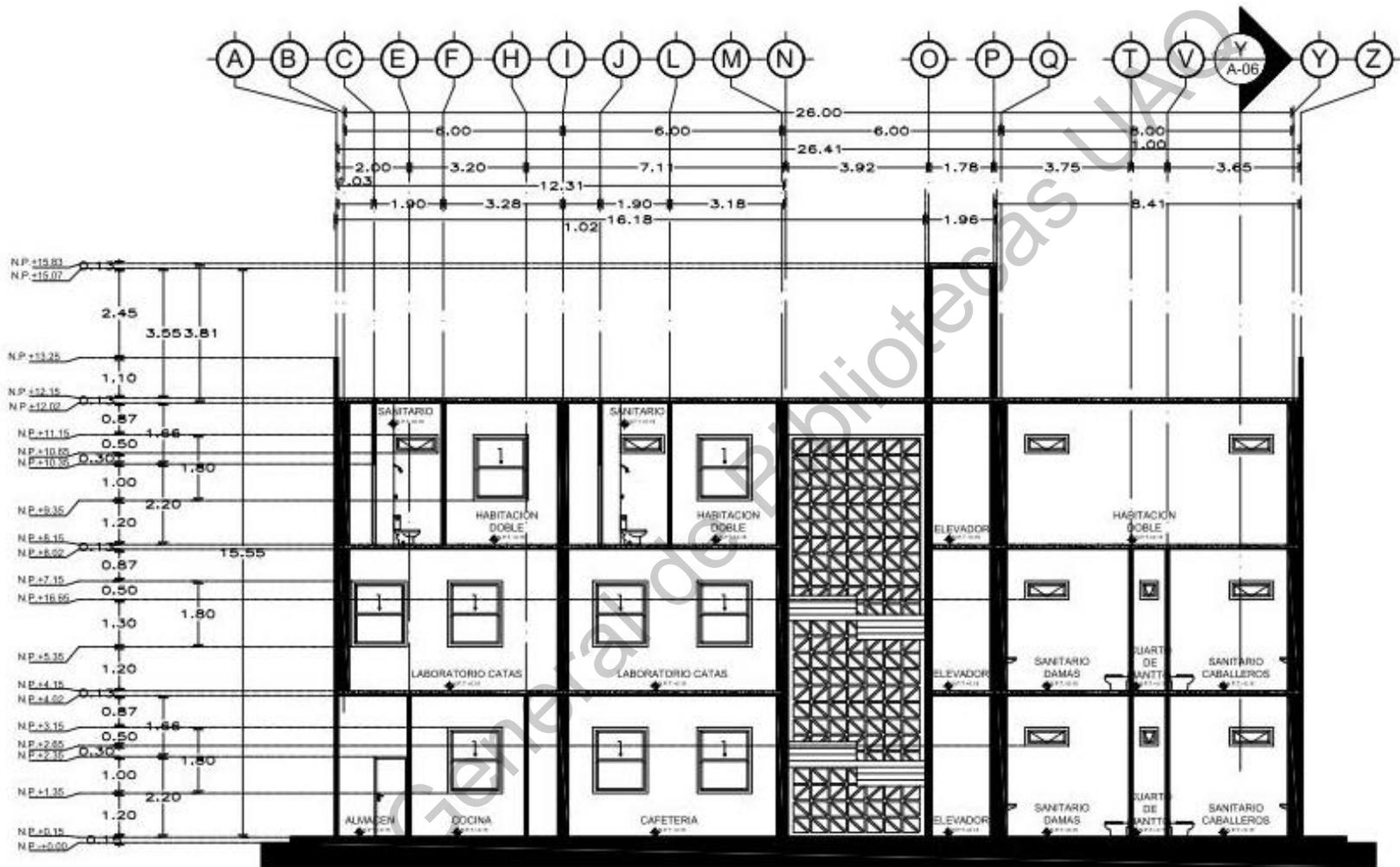
Dirección General de Bibliotecas UAQ



PRIMER NIVEL EDIFICIO CATAS
 ESCALA 1:100

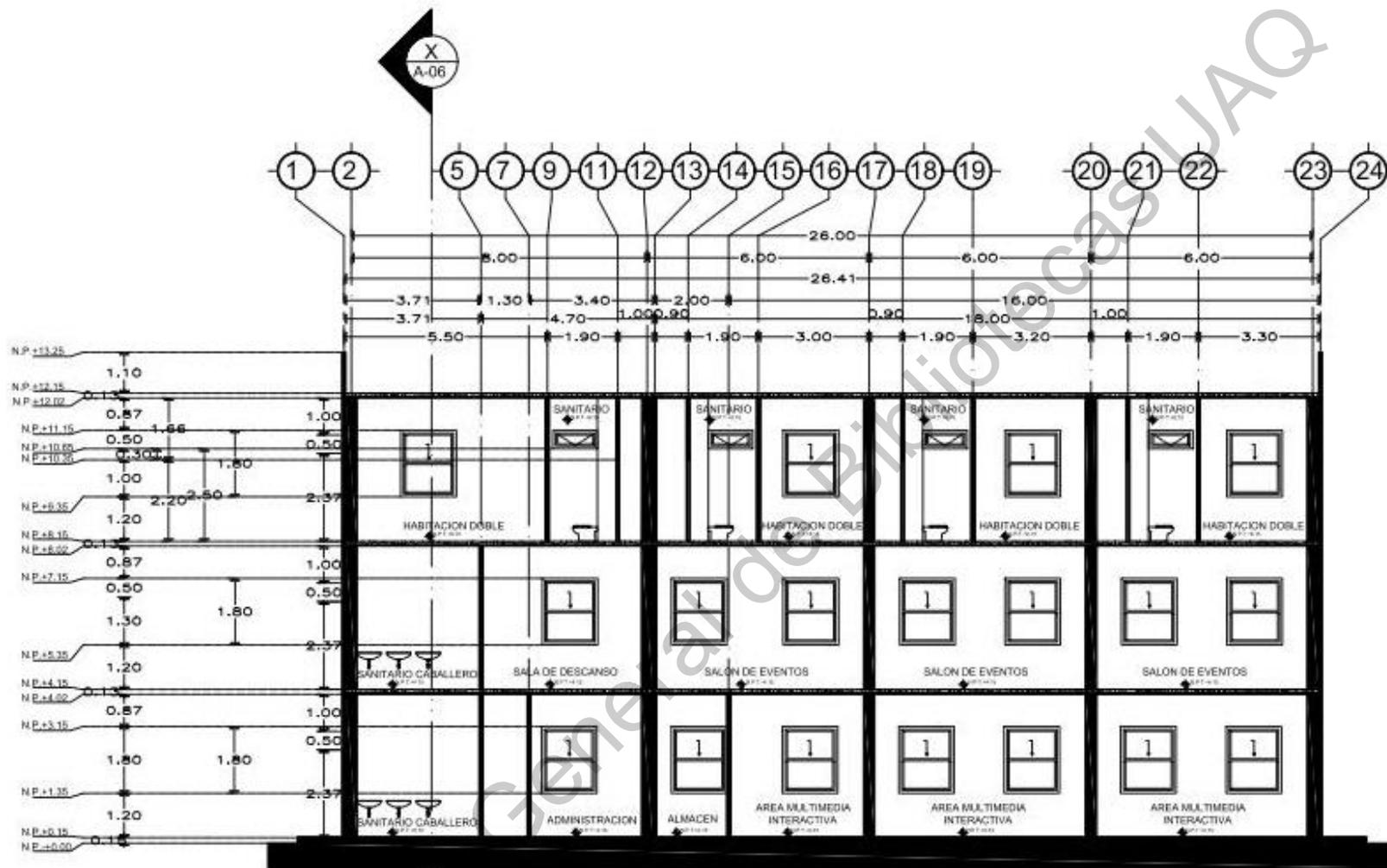



SEGUNDO NIVEL EDIFICIO CATAS
 ESCALA 1:100



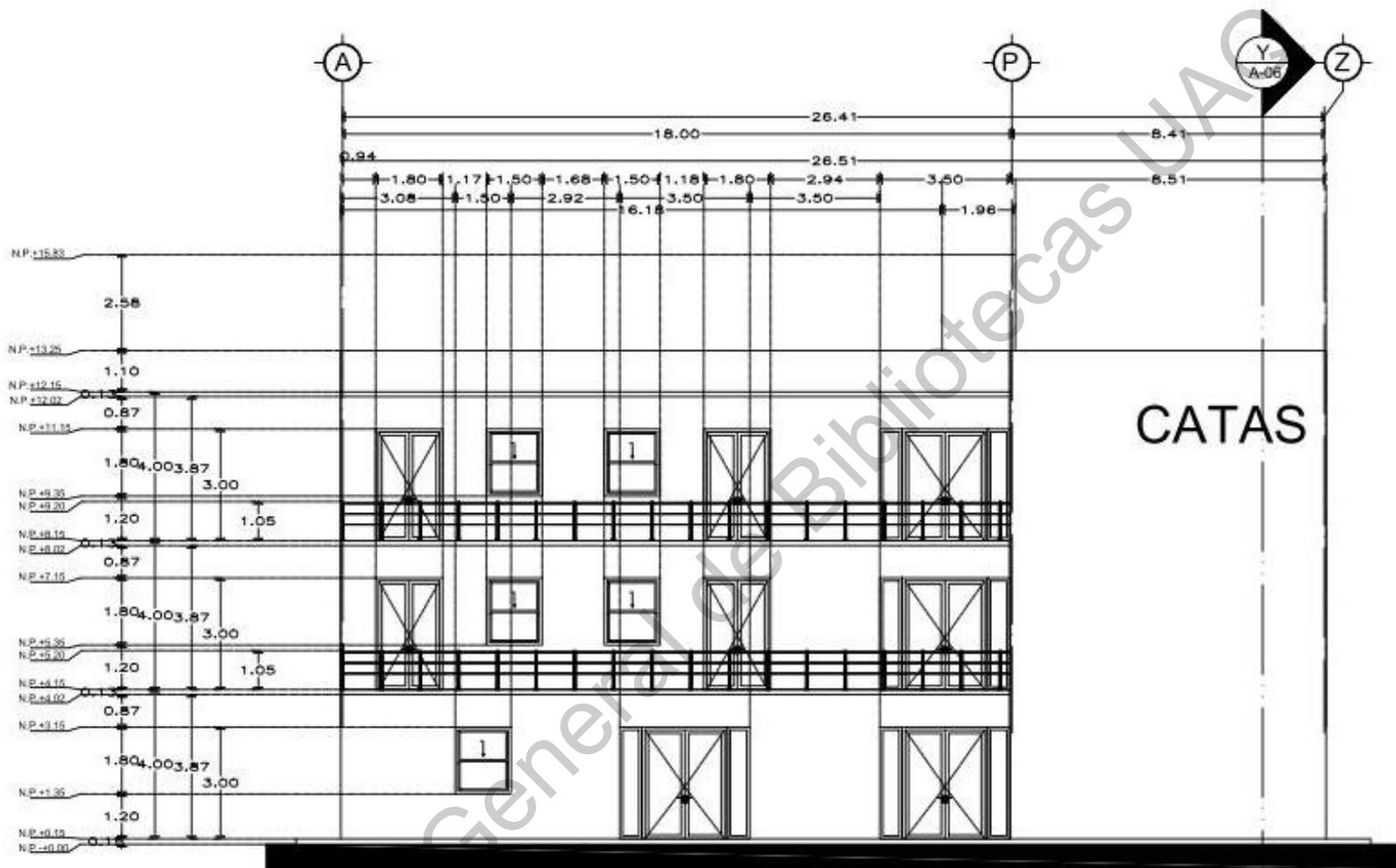

CORTE LONGITUDINAL X-X'
 ESCALA 1:100

Dirección



CORTE LONGITUDINAL Y-Y'
ESCALA 1:100

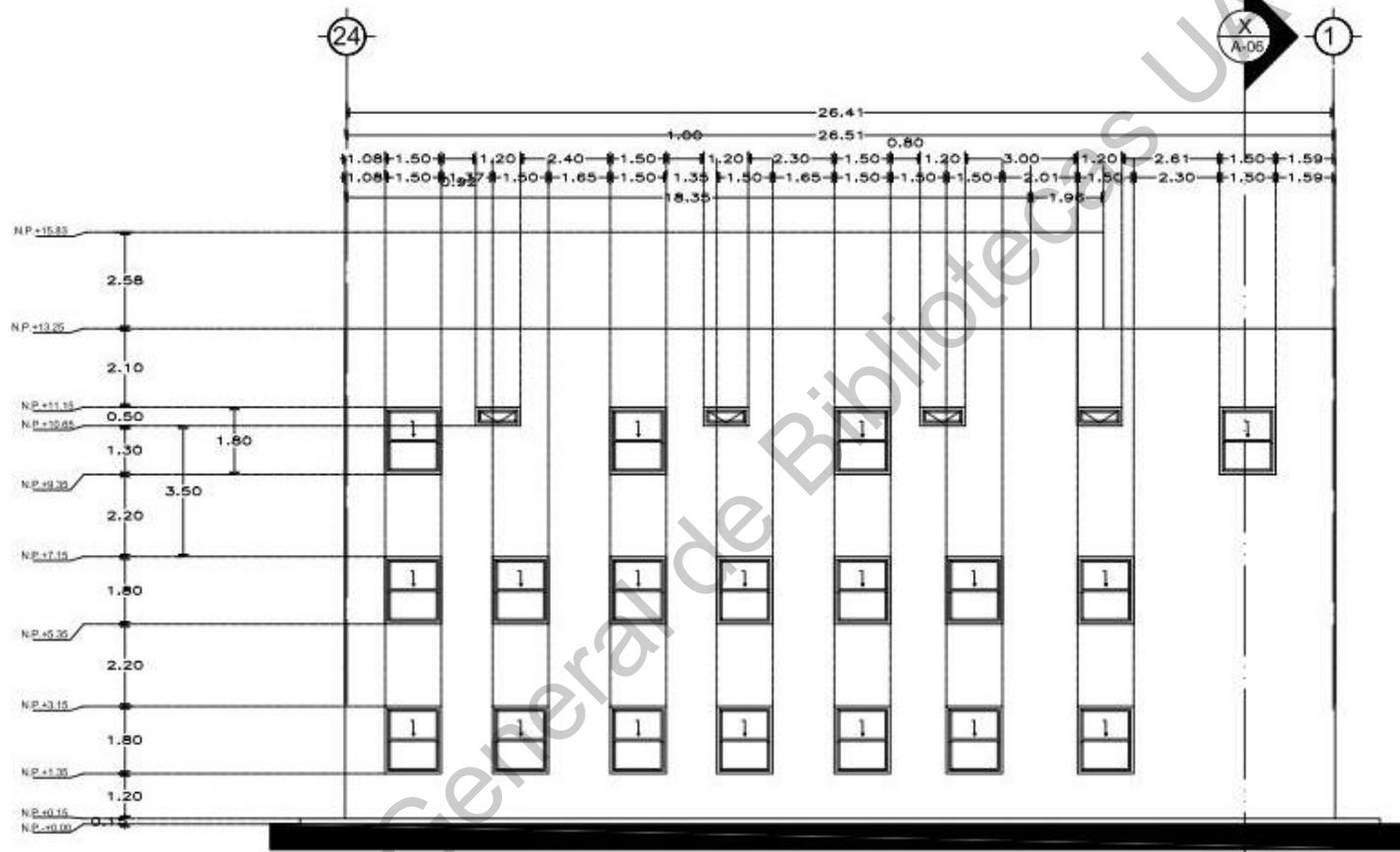
Dirección



F-01 FACHADA PRINCIPAL EDIFICIO CATAS

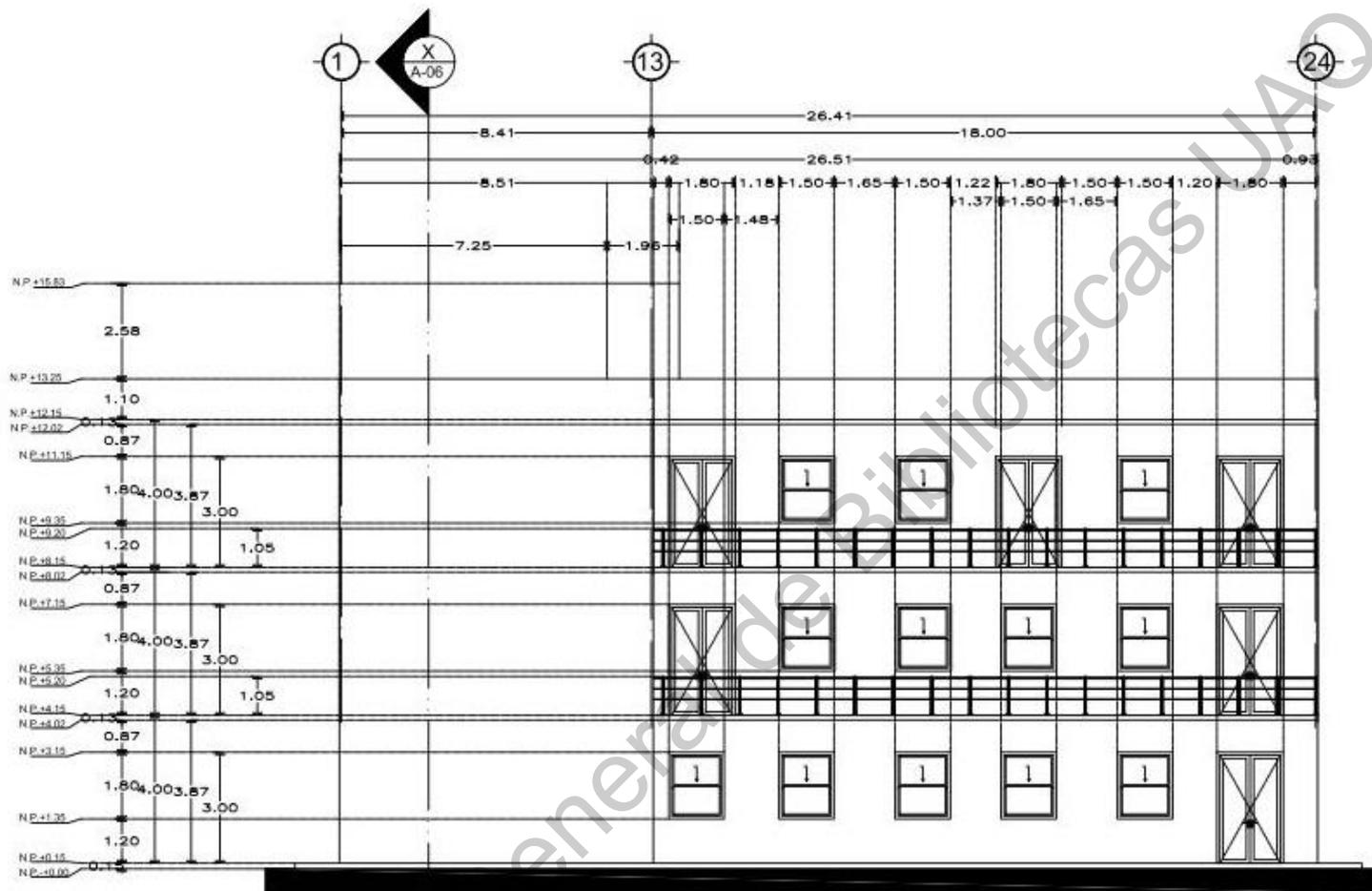
ESCALA 1:100

Dirección General de Bibliotecas UAG



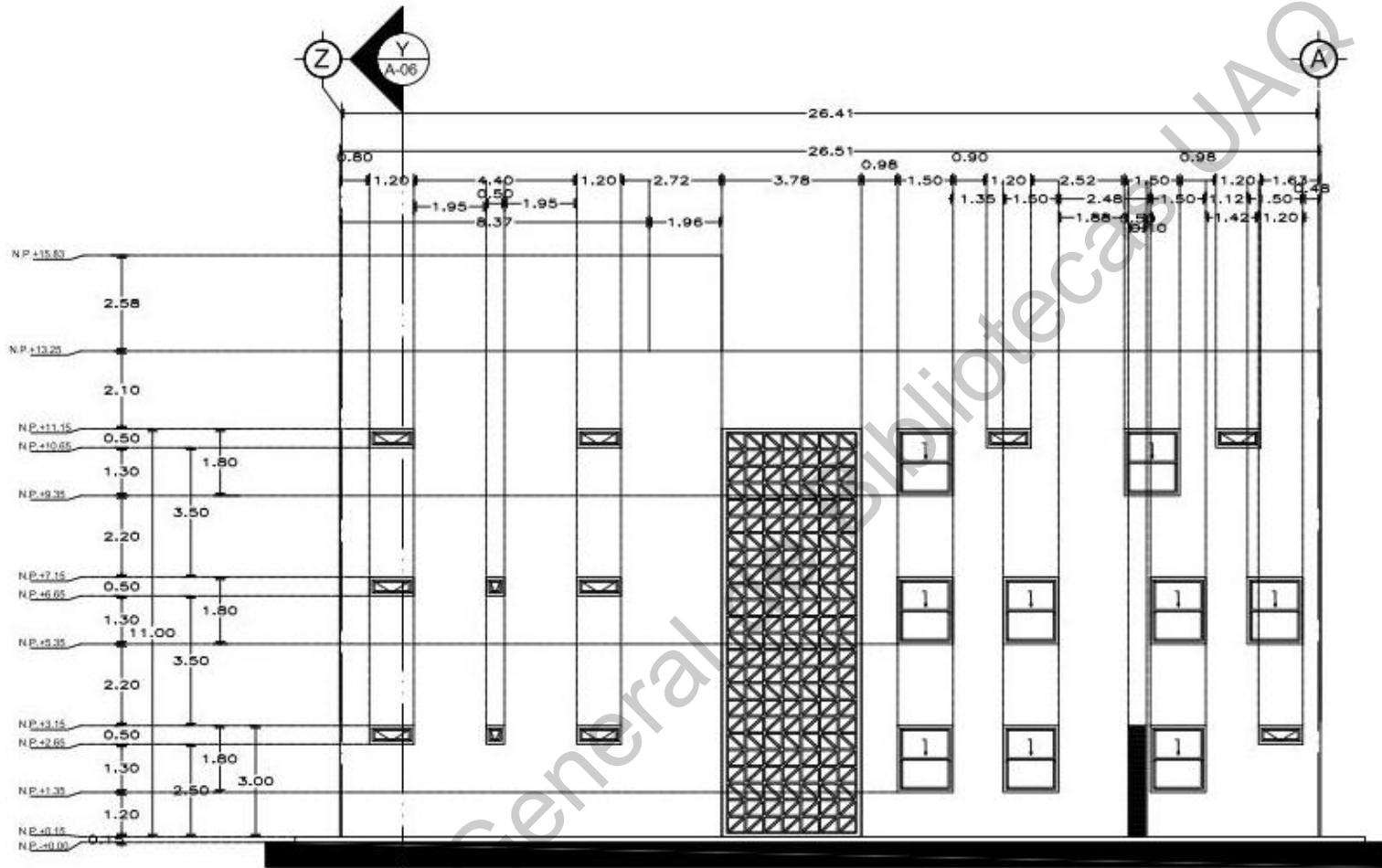
F-02 FACHADA LATERAL DERECHA EDIFICIO CATAS
 ESCALA 1:100

Dirección General de Bibliotecas UAMQ



F-03 FACHADA LATERAL IZQUIERDA EDIFICIO CATAS

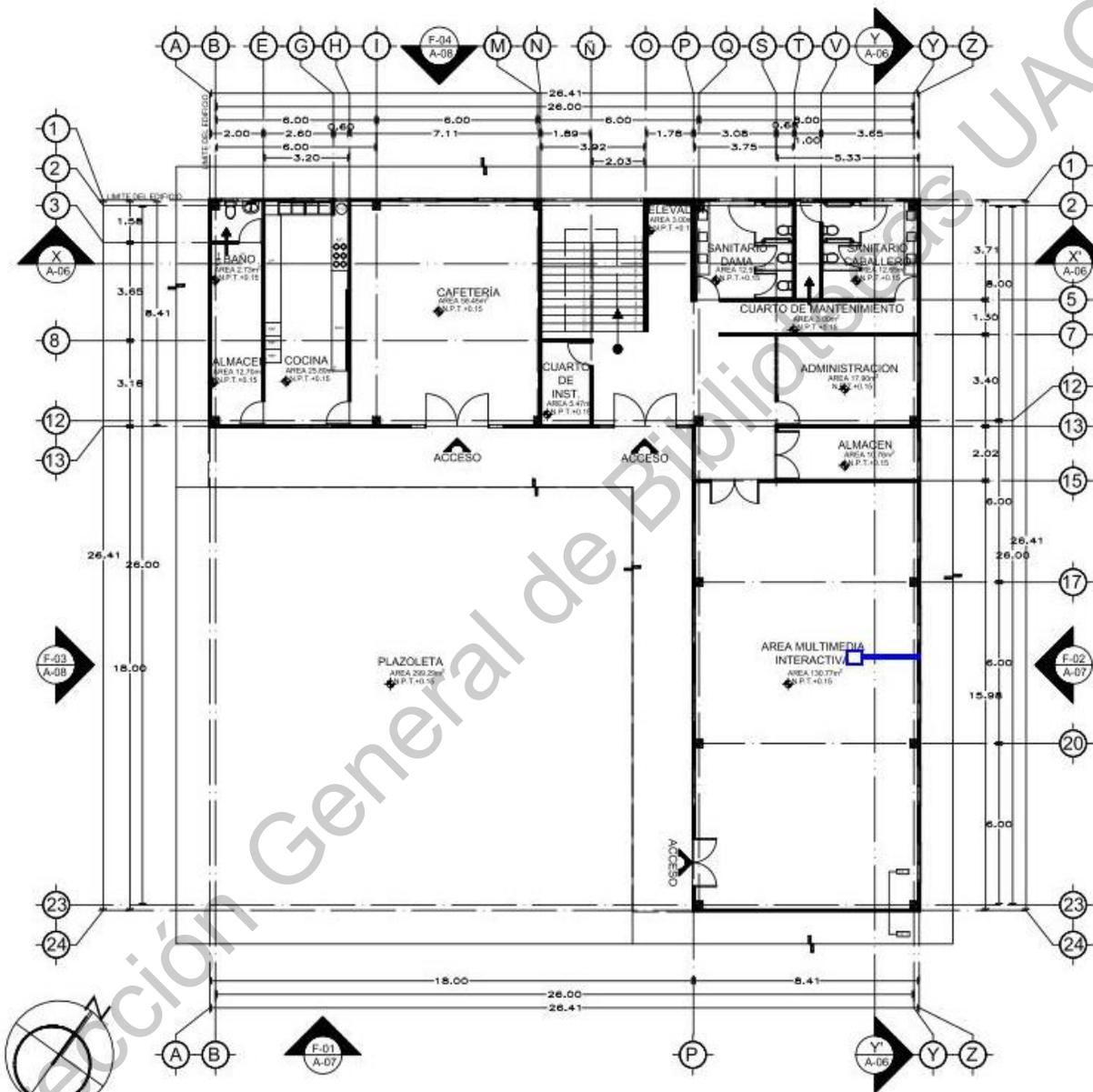
ESCALA 1:100



F-04 FACHADA POSTERIOR EDIFICIO CATAS

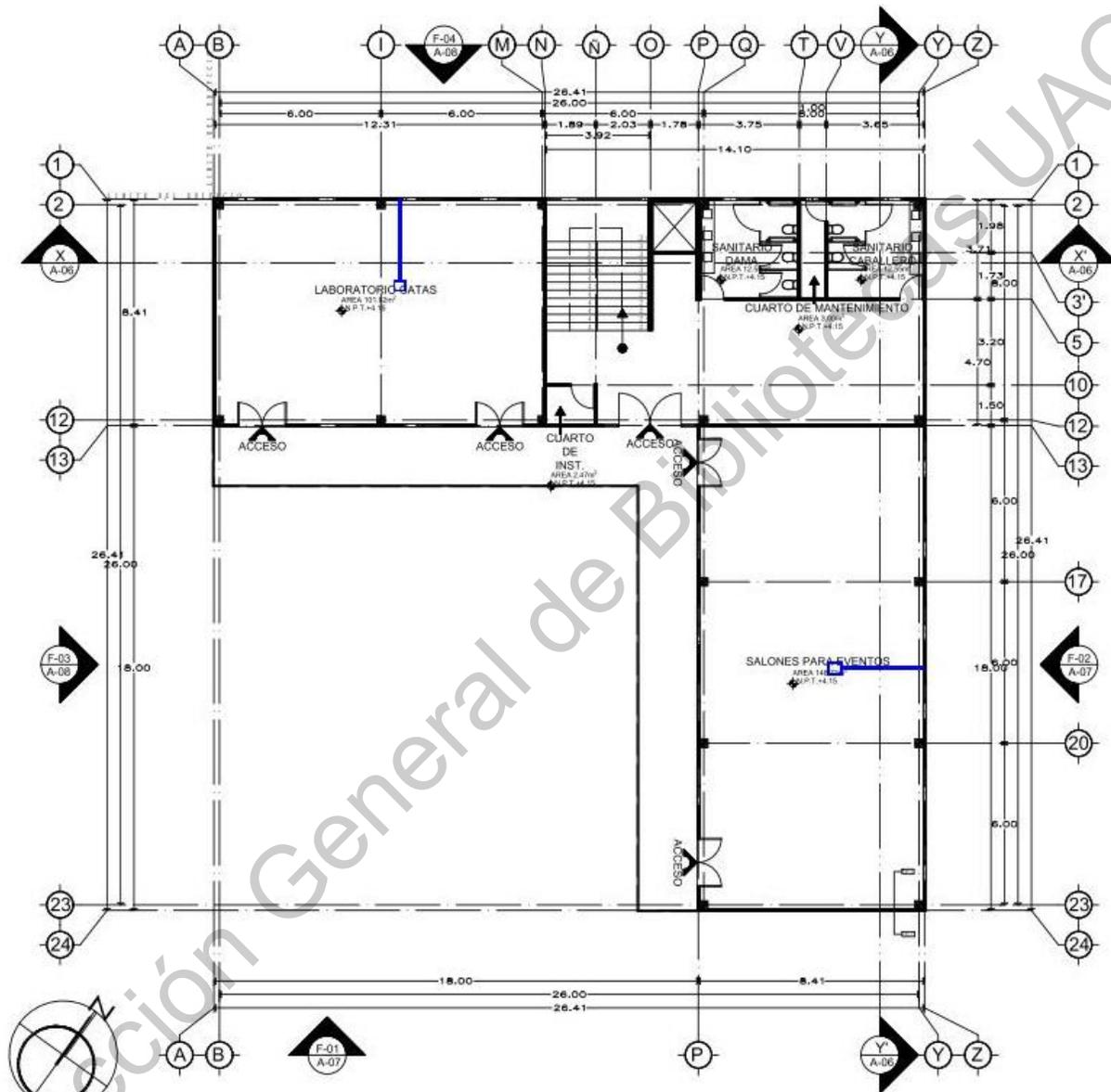
ESCALA 1:100

Dirección General



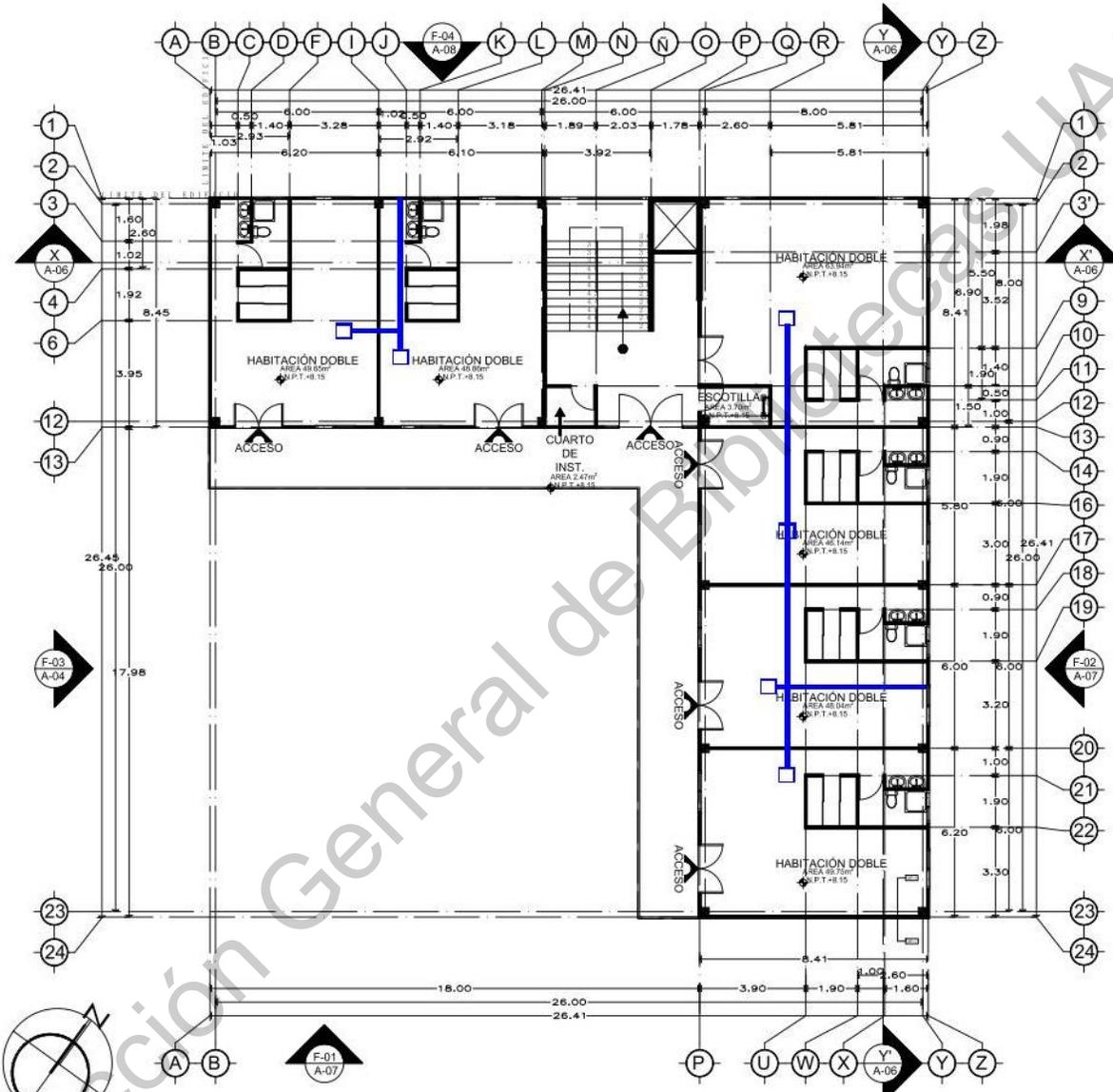
PRIMER NIVEL

DISPOSICIÓN DE LA TUBERIA DEL SISTEMA ITA



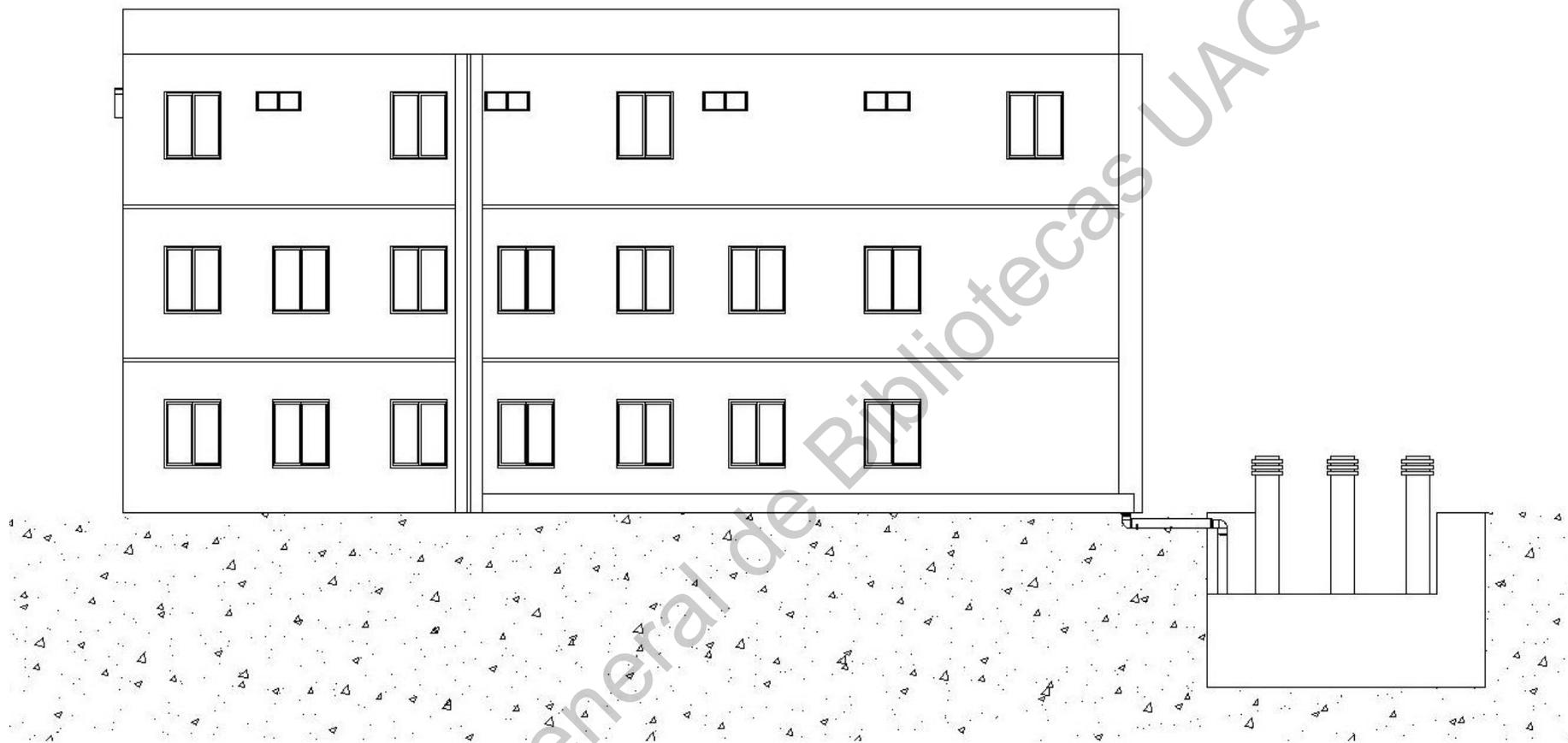
SEGUNDO NIVEL

DISPOSICIÓN DE LA TUBERIA DEL SISTEMA ITA

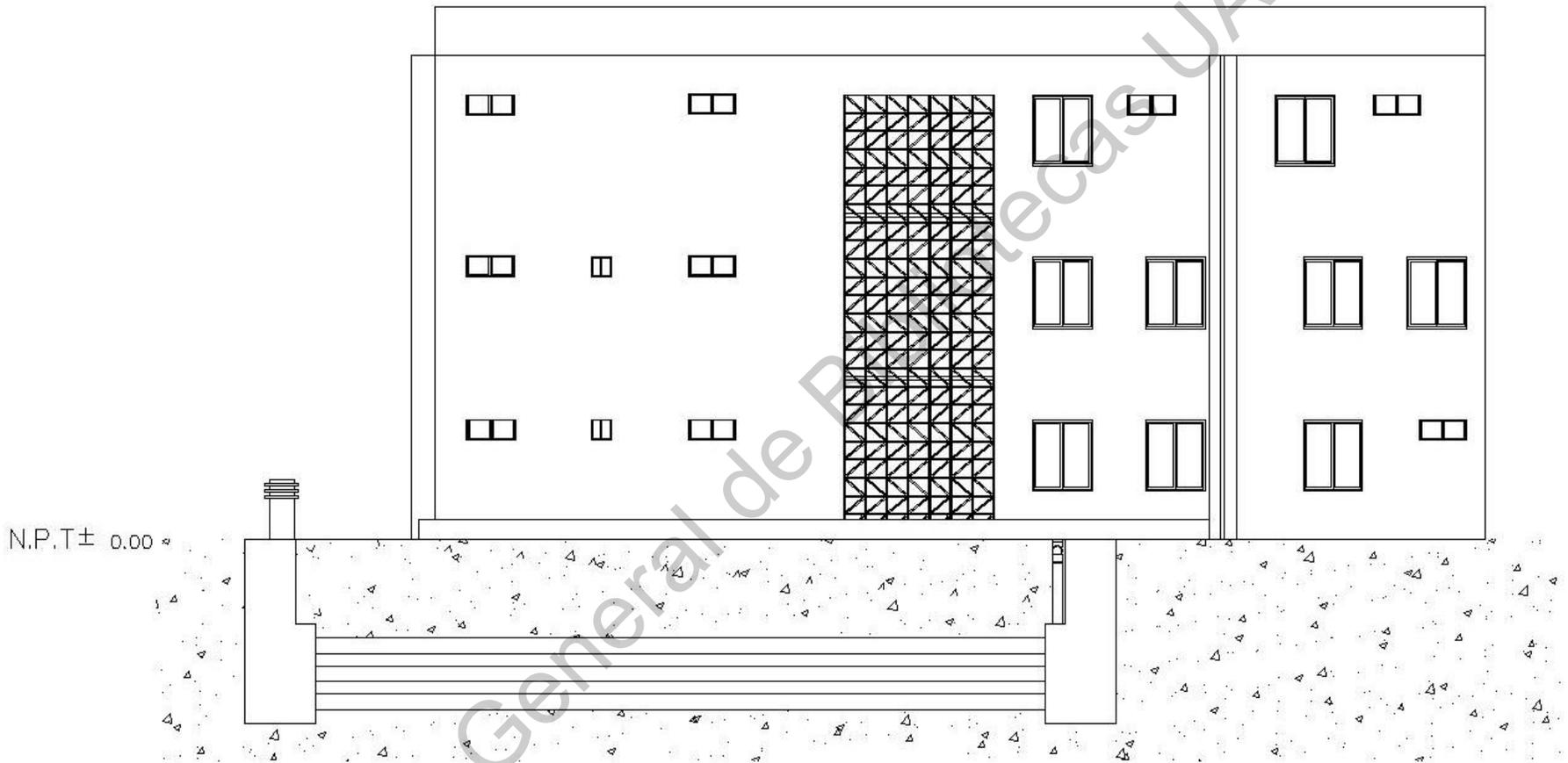


TERCER NIVEL

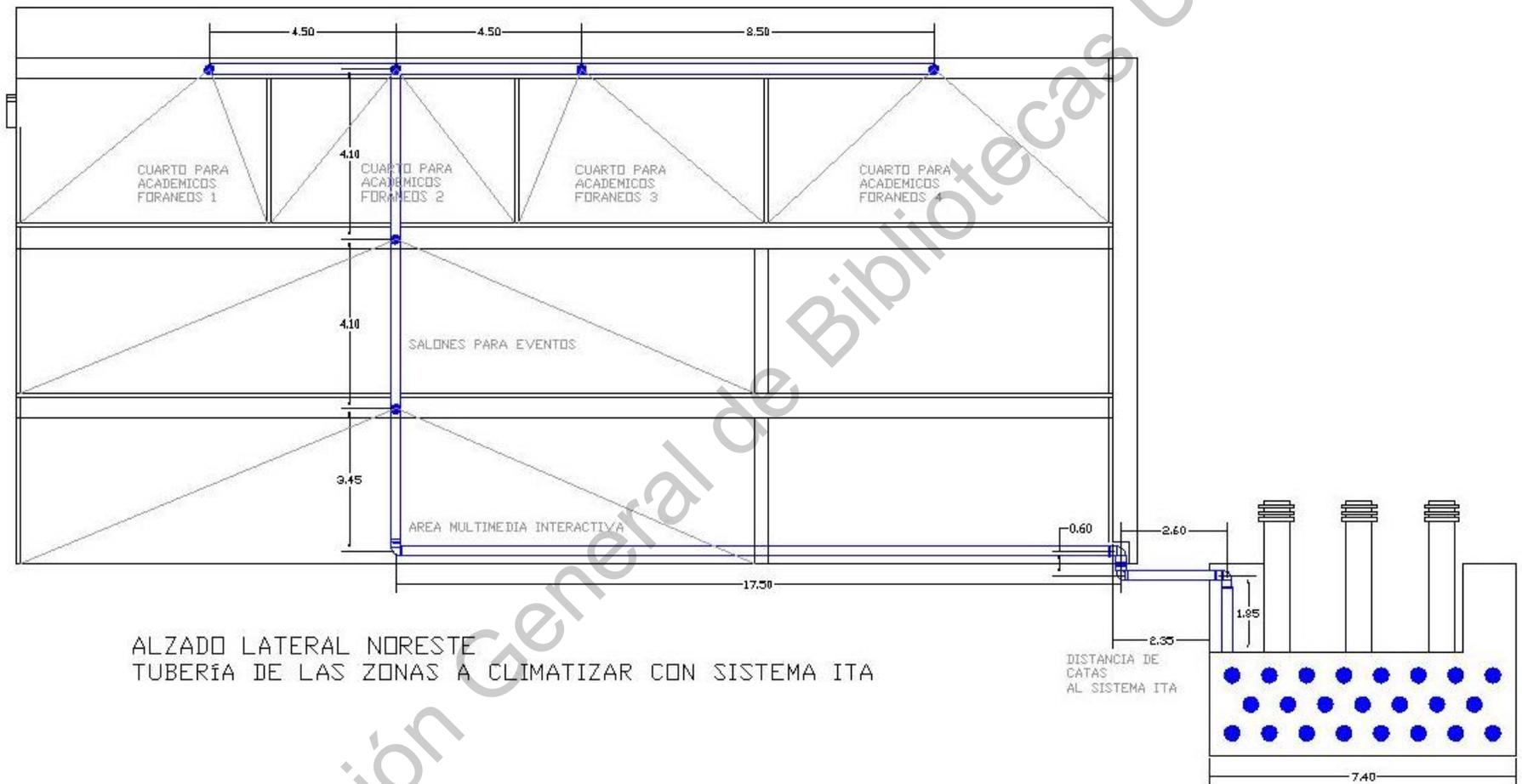
DISPOSICIÓN DE LA TUBERIA DEL SISTEMA ITA



FACHADA LATERAL NORESTE ESQUEMATICO
SISTEMA INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE
EN EL EDIFICIO CATAS

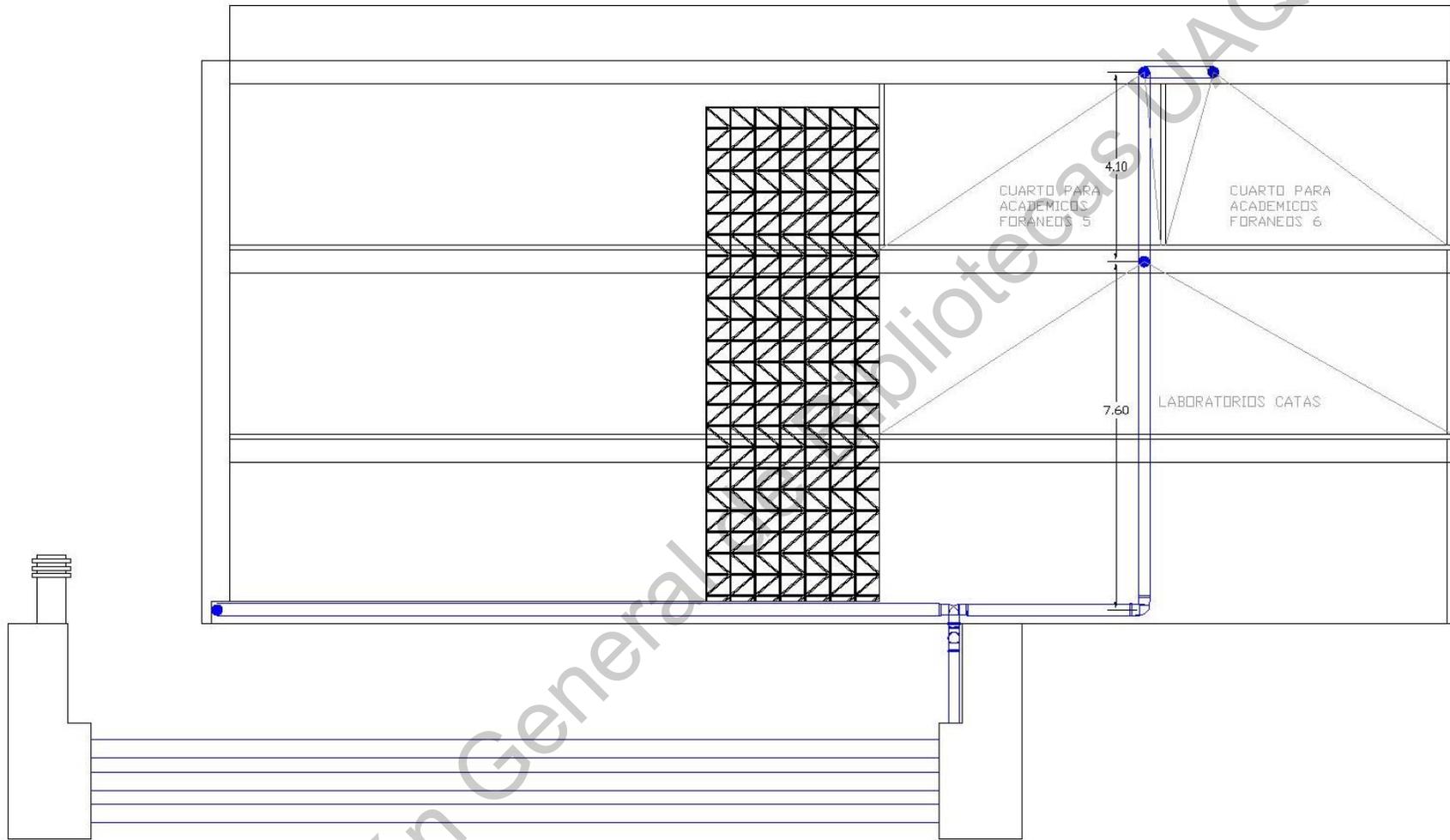


FACHADA LATERAL SURESTE ESQUEMATICO
SISTEMA INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE
EN EL EDIFICIO CATAS

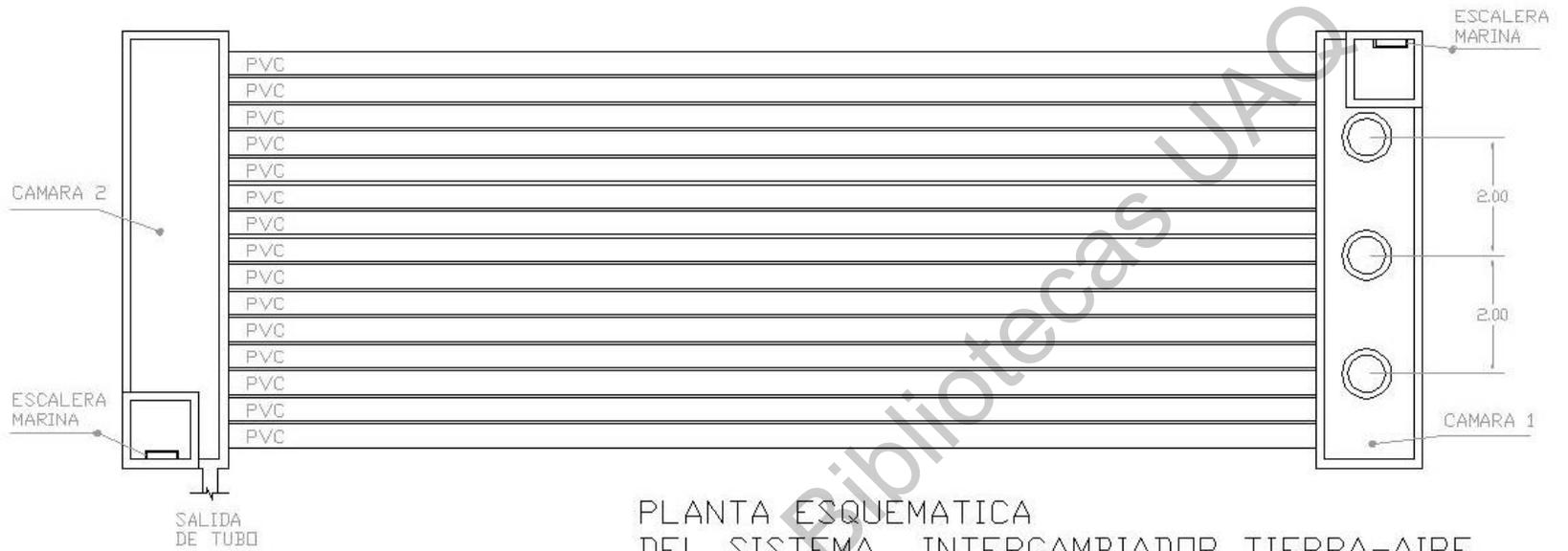


ALZADO LATERAL NORESTE
 TUBERÍA DE LAS ZONAS A CLIMATIZAR CON SISTEMA ITA

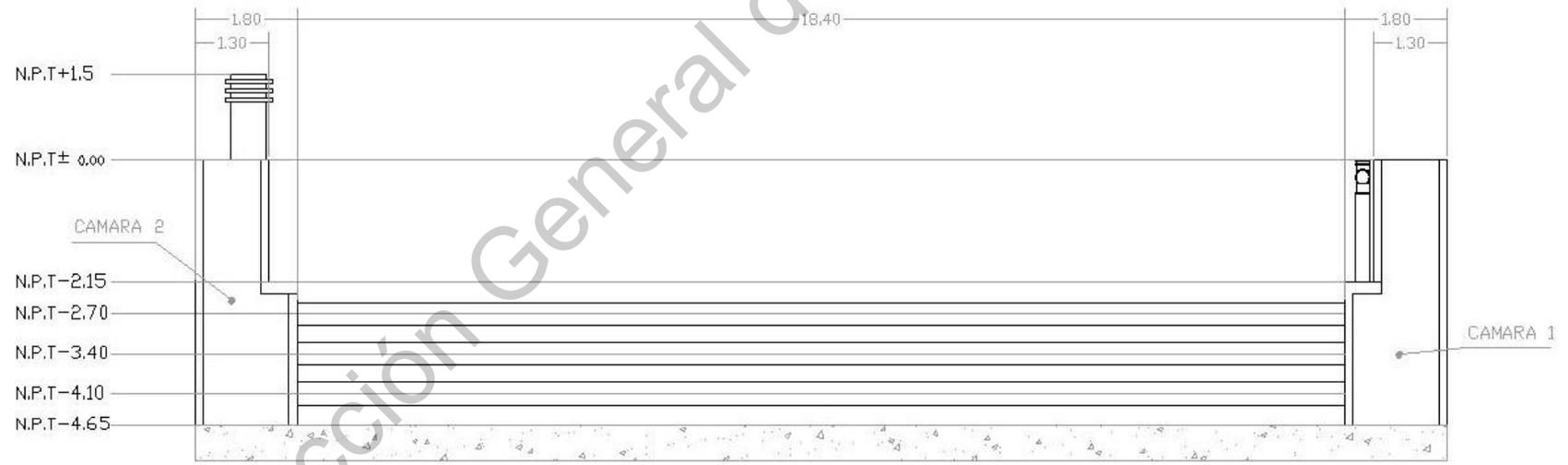
Dirección General de Bibliotecas UAQ



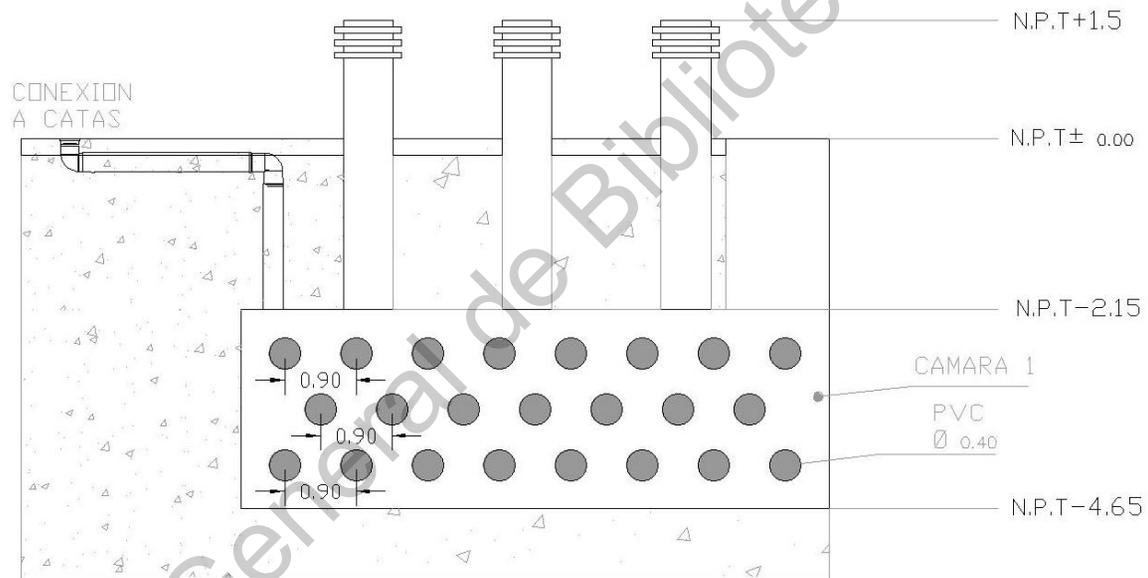
ALZADO LATERAL SURDESTE
 TUBERÍA DE LAS ZONAS A CLIMATIZAR CON SISTEMA ITA



PLANTA ESQUEMATICA DEL SISTEMA INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE



CORTE LONGITUDINAL ESQUEMATICO DEL SISTEMA INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE



FACHADA LATERAL ESQUEMATICA
DEL SISTEMA INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE