



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura
Laboratorio de Entornos Sostenibles

Tesis de Investigación que, para obtener el título de **arquitecto**, presenta:

Gerardo Linares Arroyo

Centro de aprendizaje alternativo.

Evaluación del **desempeño térmico y energía embebida** hacia un diseño de bajas emisiones de CO₂

Asesores:

M. en Arq. Naoki Solano García

Dra. Adriana Lira Oliver

M. en Ing. Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez

Ciudad Universitaria, CDMX, noviembre 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

Se plantea una evaluación del desempeño térmico y energético de distintas envolventes, con miras hacia un diseño con bajas emisiones de CO₂, aplicado a un centro de aprendizaje alternativo al norte de la Ciudad de México.

Esto se da en respuesta a la premisa de “repensar el campus universitario” atendiendo temas de movilidad y adaptabilidad de espacios, bajo el contexto de la crisis sanitaria del COVID-19.

Tras un proceso de investigación sobre las propiedades termofísicas de algunos materiales, se procedió a experimentar y evaluar su impacto en las principales envolventes del edificio, eligiendo aquellas que garanticen un desempeño más eficiente.

La arquitectura es una de las industrias que más emisiones de CO₂ generan al planeta, es por ello, que, con esta investigación, se realizarán ejercicios de aplicación

real, abordando una forma más sostenible de tomar decisiones proyectuales.

El ritmo y crecimiento de las ciudades es cada vez mayor, y a este paso, el cambio climático que se está generando, podría ser irreversible, por lo que es necesario aprovechar las herramientas y conocimientos actuales para generar una arquitectura consciente con miras hacia un diseño y futuro más sostenible.

Índice			
Resumen	1	3.2.1 Antecedentes y contexto histórico	11
1. Introducción	4	3.2.2 Eficiencia energética en edificios.	11
2. Planteamiento y metodología	6	3.2.3 Energía embebida en materiales	13
Planteamiento del problema y justificación	6	3.2.4 Estrategias sostenibles adaptables al proyecto	14
Hipótesis	6	3.3 Transmisión térmica en las envolventes arquitectónicas	14
Objetivos	6	3.3.1 Definición y tipos de transferencia de calor	14
Objetivo principal	7	3.3.2 Propiedades termofísicas de los materiales y conducción del calor	18
Objetivos particulares	7	3.3.3 Materiales con características de masa térmica.	22
Metodología	7	3.4 Arquitectura Post Covid-19, adaptabilidad y flexibilidad de los espacios	24
3. Marco Teórico:	9	3.4.1 Antecedentes y contexto histórico.	24
3.1 La deserción universitaria y la demanda del estudiante actual	9	3.4.2 Adaptación de la vida cotidiana.	25
3.1.1 Antecedentes y contexto histórico.	9	3.4.3 Retos y previsiones para el futuro	25
3.1.2 Las complicaciones, y deserción universitaria en la UNAM.	9	4. Proyecto Arquitectónico – Proceso conceptual	26
3.1.3 Características y requerimientos del universitario actual	10	4.1 Análisis de Sitio	26
3.2 Diseño hacia una arquitectura con bajas emisiones de CO₂	11	4.1.1 Antecedentes y contexto histórico	26
		4.1.2. Características físicas, potencial del sitio y campo de acción	28
		4.2 Definición de estrategias	33
		4.2.1 Concepto de diseño	33
		4.2.2 Estudio Solar	36
		5. Experimentación	38

5.1 Evaluación térmica en envolventes (THERM)	38	Prueba #4 - Muro de Tabique + Placa de Poliestireno Expandido	4
5.1.1 Planteamiento y procedimiento	38	Prueba #5 - Muro de Concreto Armado + Placa de Poliestireno Expandido	5
5.1.2 Observaciones	42	Prueba #6 - Muro de Block Hueco + Placa de Poliestireno Expandido	6
5.2 Evaluación energía embebida (Hoja de cálculo)	43	Prueba #7 - Muro de Tabique + Plancha de Lana de Vidrio	7
5.2.1 Planteamiento y procedimiento	43	Prueba #8 - Muro de Concreto Armado + Plancha de Lana de Vidrio	8
5.2.2. Observaciones	47	Prueba #9 - Muro de Block Hueco + Plancha de Lana de Vidrio	9
5.3 Práctica de laboratorio “Medición de la emitancia térmica”	52	Prueba #10 - Muro de Tabique + Celulosa Proyectada	10
5.3.1 Planteamiento y procedimiento.	52	Prueba #11 - Muro de Concreto Armado + Celulosa Proyectada	11
5.3.2. Observaciones	56	Prueba #12 - Muro de Block Hueco + Celulosa Proyectada	12
6. Proyecto Arquitectónico – Fase Final	59	Anexo B. Medición de la emiancia térmica en maquetas de estudio	1
59		HR. 0 - Resultados con temperatura ambiente inicial	1
6.1 Programa Arquitectónico	59	HR. 1 - Resultados tras una hora de exposición a luz infrarroja	2
6.2 Anteproyecto	61	HR.2 - Resultados tras dos horas de exposición a luz infrarroja	3
7. Recomendaciones	62	HR.3 - Resultados tras una hora sin exposición a luz infrarroja	5
		HR.4 - Resultados tras dos horas sin exposición a luz infrarroja	6
8. Referencias	64	Anexo C. Planos Arquitectónicos	1
Anexo A. Modelado Térmico en Envolventes	1		
Prueba #1 - Muro de Tabique Rojo Recocido	1		
Prueba #2 - Muro de Concreto Armado	2		
Prueba #3 - Muro de Block Hueco de Concreto	3		

1. Introducción

Según datos del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la industria de la arquitectura es responsable del 36% del consumo mundial de energía y del 39% de las emisiones de gases de invernadero (UNEP, 2019).

El dióxido de carbono (CO₂), principal responsable del cambio climático es un gas de origen natural, procedente de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), de la quema de biomasa, cambios de uso de suelo y diversos procesos industriales, como la producción de cemento.” (PUCC, 2017).

Teniendo en cuenta esto, se entiende la relevancia de abordar temas de eficiencia energética en los edificios: “acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades del proyecto.” (COEES, 2015).

Para poder aspirar a un proyecto con bajas emisiones de CO₂, es importante conocer, entre otros aspectos, los valores de energía embebida en los materiales a utilizar, (energía total consumida a lo largo de todo su ciclo de vida).

Por otro lado, la pandemia que azotó al planeta a principios del 2020 nos obligó a modificar nuestro estilo de vida cotidiana, sobre todo en temas de movilidad e interacciones sociales, dejando en evidencia ciertas deficiencias funcionales de los espacios arquitectónicos existentes. Lo anterior nos obliga a explorar objetivamente tanto el quehacer de la arquitectura en el ámbito social actual, como el papel que la industria debe desempeñar para reducir las emisiones de CO₂.

La base de esta investigación surge sobre un análisis de las propiedades termofísicas de los materiales (densidad, calor específico, conductividad térmica), y cómo éstas impactan en el desempeño energético del edificio, para lo

cual se estudió el trabajo de (Lechner, 2015) y (Cengel, & Ghajar, 2011).

El objetivo principal es evaluar el desempeño térmico y los coeficientes de energía embebida de distintas envolventes, eligiendo aquellas que, acercándose a un óptimo confort térmico interior, generen las menores emisiones de CO₂ posibles.

La metodología empleada, parte de un proceso de investigación sobre varios materiales de construcción, recabando y analizando sus distintas características termo físicas las cuales nos darán las bases para realizar una sucesión de experimentaciones, comparando distintas propuestas de envolventes, creando así una discusión sobre el impacto energético y ambiental que generaría el elegir un material sobre de otro.

Esta investigación se limitará a la evaluación de las envolventes sur y poniente del proyecto, debido a que son las orientaciones que en nuestro hemisferio reciben a lo

largo del día la mayor cantidad de incidencia solar, lo que se traduce, si no se plantean estrategias de mitigación adecuadas, en espacios interiores sumamente calurosos; dichas evaluaciones y posterior comparación de envolventes se realizarán en condiciones ideales, es decir con temperaturas y humedad dadas (en digital) y establecidas (en laboratorio).

El documento se estructura de la siguiente manera. Primero, se exponen los temas introductorios al trabajo, después, se da paso a la elaboración de un marco teórico, donde se engloban datos, estadísticas y demás información que servirá de base para un posterior proceso experimental (ANEXOS A Y B), finalmente, se creará una evaluación y discusión sobre los resultados recabados, seleccionando aquellas envolventes que generen menores emisiones de CO₂, y que permitan acercarse a un óptimo confort térmico interior, demostrando, además, como estas decisiones se relacionan directamente con las intenciones estéticas y funcionales del proyecto.

2. Planteamiento y metodología

Planteamiento del problema y justificación

Es común que en la docencia se haga énfasis en elegir los materiales de construcción, basándose en sus propiedades mecánicas, el costo y aporte estético, dejando de lado la importancia que tiene el evaluar su desempeño térmico y energético, aspectos fundamentales en la búsqueda de reducir las emisiones de CO₂.

La llegada del COVID-19, a inicios del 2020 trajo consigo una serie de cambios en nuestro día a día, afectando, sobre todo, al sector estudiantil, haciendo más complicado que puedan continuar con sus estudios a distancia ya que según la Encuesta de Movilidad que la UNAM realizó al inicio del semestre 2021-1, poco más de 44,000 de sus universitarios no cuentan con acceso a internet, mientras que, 23 500 no cuentan con computadora propia (Wong, 2020).

Durante los meses de octubre y noviembre del 2020 la UNAM puso en marcha un Plan de Emergencia de Apoyo (Gaceta UNAM, 2020), el cual consiste en adaptar espacios de la Universidad, instalando centros PC Puma de préstamo de tabletas y computadoras, facilitando la movilidad y las condiciones de aprendizaje de su alumnado. Gran iniciativa, que hace reflexionar sobre la posibilidad de realizar proyectos permanentes de este tipo, distribuidos en zonas estratégicas de la ciudad.

Hipótesis

Sería factible demostrar que se pueden tomar decisiones proyectuales desde una perspectiva más consiente con el medio ambiente, eligiendo, gracias a las herramientas de medición que existen actualmente aquellas envolventes que trabajen de manera más eficiente y que a su vez generen las condiciones óptimas de confort térmico interior, reduciendo así las emisiones de CO₂ totales generadas en el proyecto; todo esto sin dejar de lado la

estética y buen funcionamiento que caracteriza a un buen proyecto arquitectónico.

Objetivos

Objetivo principal

Evaluar distintos tipos de envolventes, analizando su eficiencia térmica y energética, determinando su idoneidad en la implementación de un centro alternativo de aprendizaje, al norte de la Ciudad de México.

Objetivos particulares

- Investigar estadísticas reales sobre la deserción estudiantil y solicitudes de los universitarios para un mejor desempeño académico.
- Detectar las ventajas en temas de movilidad de crear un proyecto de estas características al norte de la ciudad.

- Analizar los efectos que la actual pandemia está generando en temas de diseño arquitectónico, ¿qué nos está pidiendo? ¿cómo? Y ¿para qué?
- Investigar distintas estrategias de arquitectura pasiva básicas para posibles adaptaciones al proyecto.
- Comparar el impacto ambiental en el uso de distintos materiales para la envolvente y su relación con el aspecto funcional y estético del proyecto.

Metodología

En primera instancia se realizó una investigación documental sobre los distintos temas de interés, abordando principalmente la transferencia de calor y las propiedades termofísicas de algunos de los materiales más utilizados en la construcción.

Dentro del proyecto, se propusieron un total de 12 combinaciones de materiales para la envolvente de la fachada sur y 3 para la fachada poniente, con las cuales

comenzó un proceso de experimentación digital, iniciando con el programa de modelado energético THERM, comprobando el comportamiento térmico de cada envolvente, con la intención de obtener resultados cuantitativos que muestren que combinaciones se acercan más a un óptimo confort térmico.

Posteriormente, con ayuda de una tabla de cálculo y de los valores recabados del “*Inventory of Carbon & Energy (ICE) versión 2.0*” se realizó una evaluación para determinar que combinaciones obtienen coeficientes más bajos de energía embebida (total de energía consumida a lo largo de todo su proceso: *recolección, preparación, tratamientos, transporte, instalación, etc.*) y por ende, genere menores emisiones de CO₂.

Juntando los resultados de ambas experimentaciones y tomando en cuenta los objetivos proyectuales del conjunto, se tomó una decisión sobre qué envolventes se utilizarían en la propuesta proyectual.

Finalmente, se realizó una práctica de laboratorio, para comprobar físicamente la transmitancia térmica de 3 distintas envolventes, (block hueco, concreto armado y tabique rojo recosido), buscando resultados cualitativos y cuantitativos sobre las propiedades y características de cada una de ellas.

Con los resultados recabados, y con un anteproyecto arquitectónico elaborado, se comprobó la veracidad de la hipótesis formulada, así como de los alcances establecidos en los objetivos principales y particulares, siendo capaces de concluir la investigación formulando una serie de recomendaciones finales.

3. Marco Teórico:

3.1 La deserción universitaria y la demanda del estudiante actual

3.1.1 Antecedentes y contexto histórico.

El ingreso al nivel superior es un cambio radical en la vida de todo estudiante, es una etapa de transición y adaptación, donde se establecen nuevas relaciones, donde surgen distintas responsabilidades y donde es fundamental satisfacer, a toda costa, las exigencias de la carrera; de uno mismo, y en ocasiones, de la misma familia o amigos. Sin embargo, como en la vida misma, esta etapa siempre se encontrará rodeada de obstáculos por superar, y posibles causantes de la deserción universitaria, por lo que abarcar todos en un solo trabajo de investigación, sería prácticamente imposible, así que se decidió indagar únicamente sobre la falta de espacios y equipos tecnológicos aptos para trabajar, así como la

problemática en temas de movilidad que se vive en Ciudad Universitaria.

3.1.2 Las complicaciones, y deserción universitaria en la UNAM.

La Universidad Nacional Autónoma de México, es la Institución de Educación Superior más importante del país y la más grande e influyente de Iberoamérica, muestra de ello es que, para el periodo 2019-2020, la UNAM matriculó un total 217,808 estudiantes de Licenciatura, y para contrastar, en ese mismo año, de 54,514 alumnos de nuevo ingreso, lograron graduarse únicamente 22,656 (Portal de Estadísticas Universitarias, 2021)

El ritmo de vida estudiantil que se vive en la actualidad es muy distinto a como se manejaba en tiempos pasados, hoy en día, el universitario requiere de ciertas características en las aulas y zonas de estudio para poder concentrarse y desenvolverse adecuadamente, siendo la tecnología, el pilar de estas necesidades, lamentablemente, a pesar del prestigio que la UNAM

posee, sus instalaciones, no siempre son capaces de responder a dichas características, ya sea por la falta de recursos, o simplemente por la inmensa e incontrolada demanda que existe constantemente, sin importar el motivo, esto es un problema que orilla a miles de universitarios a verse forzados a dejar sus estudios.

Otro factor, que, combinado con lo anterior, merma el rendimiento de mucha de la plantilla universitaria, son los largos y cansados trayectos que deben realizar desde su lugar de residencia, hasta CU, (ubicada al sur de la ciudad) según datos de la INEGI, Ciudad Universitaria, en un día entre semana atrae por motivo de estudio casi 115 mil viajes.

Es lógico que, dadas las características de la Ciudad de México, muchos jóvenes al llegar al nivel superior, opten por realizar sus estudios en este lugar, sobre todo hablando de las zonas aledañas, más específicamente de la Zona Metropolitana del Valle de México, aspecto que genera la saturación de calles y transporte de la ciudad,

aproximadamente 24.9% de los estudiantes de la capital, provienen de otra entidad, principalmente del Estado de México (Delgado, 2017), trayectos en su mayoría realizados en Metro, Metrobús o colectivos, los cuales, en horas de mayor afluencia, pueden llegar a tomar hasta 4 horas de camino.

Es por ello que, buscando crear otras alternativas para los estudiantes de la zona norte de la ciudad, se buscó generar este centro estudiantil en la delegación Gustavo A. Madero, la cual, según la encuesta Origen-Destino (INEGI, 2017) es la tercera delegación con mayor cantidad de trayectos externos (fuera de la misma delegación) tanto por motivos de trabajo, como de estudio

3.1.3 Características y requerimientos del universitario actual

Tras revisar varias fuentes, por experiencia y conocimiento propio, se llega a la delimitación de ciertas características y tipo de espacios que el proyecto deberá contemplar, para poder responder a las necesidades

reales de los usuarios en los tiempos actuales y futuros cercanos, tal y como se muestra en la **figura 1**.

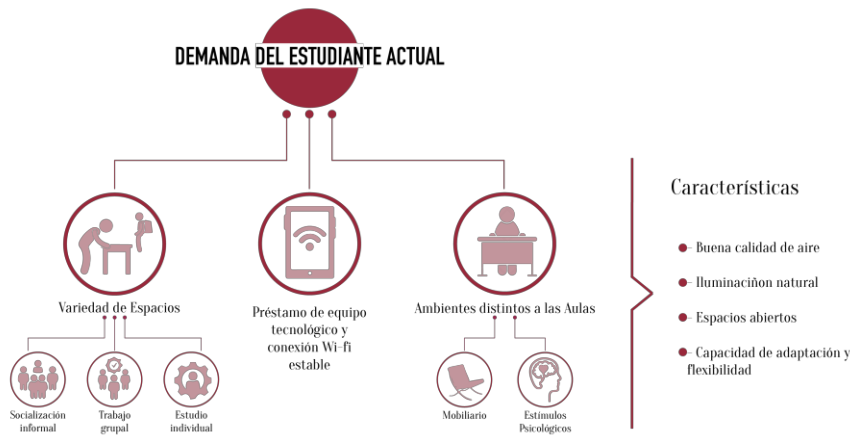


Fig. 1. Mapa mental, de elaboración propia, basado en (HMC Architects, 2017)

3.2 Diseño hacia una arquitectura con bajas emisiones de CO₂

3.2.1 Antecedentes y contexto histórico

Según datos del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente la industria de la arquitectura es responsable del **36%** del consumo mundial de energía y del **39%** de las emisiones de gases invernadero, (UNEP, 2019), gases como el dióxido de carbono (CO₂), que a lo largo de los años han afectado considerablemente nuestra capa de ozono y esto a su vez ha generado un preocupante desequilibrio meteorológico.

Actualmente las concentraciones de CO₂ en la atmósfera son más altas que en cualquier otro momento de los últimos dos millones de años y se estima que, para finales del siglo, la temperatura mundial aumente 2.7°C, lo cual traería consecuencias catastróficas para el planeta (UNEP, 2021).

Afortunadamente, se ha vuelto cada vez más común hablar de estrategias, condiciones y mecanismos, para mejorar el rendimiento energético de los edificios, reduciendo así la huella de carbono generada.

3.2.2 Eficiencia energética en edificios.

Un edificio se puede definir como energéticamente eficiente, cuando logra optimizar el uso de la energía y por ende reducir las emisiones de CO₂ producidas, en arquitectura, esto se suele medir por la cantidad de energía utilizada por metro cuadrado, así como por el uso per cápita (U.S. Green Building Council, 2014).

Estas mejoras en el rendimiento de un edificio, se pueden lograr de forma pasiva (mediante estrategias básicas de diseño: uso de materiales, orientación, forma, entre otras.) o activa (refiriéndose al uso de tecnologías para reducir el uso de energía e incluso ser capaz de generarla dentro del mismo inmueble).

Existen valores que determinan el nivel de eficiencia de un edificio, llegando a ser considerados de bajas emisiones, gracias a la optimización de energía y recursos, o bien de energía cero, debido a que producen la misma cantidad de energía que consumen e incluso regenerativos, siendo capaces de producir más energía de la que gastan.

Estos valores se obtienen gracias a sistemas globales de evaluación y certificación determinando el nivel de sostenibilidad y eficiencia energética de las construcciones (**Figura 2**), siendo la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) la más reconocida y utilizada en Estados Unidos y América Latina, o BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) creada en Reino Unido y utilizada principalmente en el continente europeo.

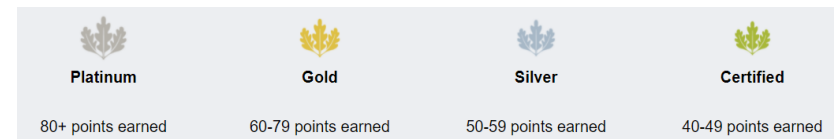


Fig. 2. Nivel de certificación otorgados por LEED, basado en un sistema de puntaje. www.usgbc.org/leed

Estas evaluaciones ambientales toman en cuenta diversos criterios a lo largo de todo el proyecto arquitectónico, desde la fase de construcción y puesta en marcha, hasta la constante utilización del edificio.

Gran parte de la energía total consumida y por ende de la huella de carbono generada con un proyecto arquitectónico se produce desde la elección de los materiales de construcción, ya que, a lo largo de todo su proceso de producción y ciclo de vida, éstos liberan grandes cantidades de CO₂, lo que se denomina y estudia como “coeficientes de energía embebida”.

3.2.3 Energía embebida en materiales

“La energía embebida o incorporada de los materiales de construcción es aquella que directa e indirectamente se necesita tanto para producirlos, utilizarlos como para desecharlos”, (Sisternes, 2021). **Figura 3**

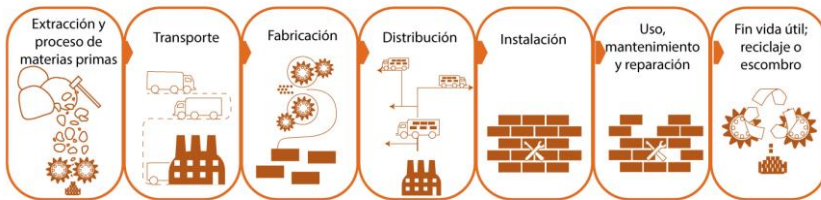


Fig. 3. Ilustración de elaboración propia sobre el ciclo de vida general de los materiales de construcción

Hoy en día, existen diversos softwares, normas y metodologías para estudiar y delimitar el impacto ambiental de nuestras actividades, tal y como lo son las Normas ISO (*International Organization for Standardization*), estándares acordados internacionalmente por expertos en distintos ámbitos, como en la elaboración de productos, gestión de procesos, prestación de servicios, suministro de materiales, entre muchas otras actividades, siendo la familia de normas 14000 las encargadas de gestionar las responsabilidades ambientales de empresas y organizaciones de cualquier tipo. (ISO, s.f.) **Figura 4**



Fig. 4. Gráfica con el número de estándares ISO para cada campo de acción. www.iso.org

Un ejemplo de estas normas es la 14040, la cual, cubre el estudio y evaluación de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida, desglosando en el apartado 14044, una guía de directrices y requerimientos en búsqueda de un correcto análisis del ciclo de vida de dichos productos. (ISO, 2006)

Hablando de metodologías de cálculo para determinar la energía incorporada de los materiales, la elegida para la elaboración de este documento, fue la desarrollada por los profesores Geoff Hammond & Craig Jones de la universidad inglesa “University of Bath”, bajo el nombre de “Inventory of Carbon & Energy (ICE)”.

La base de datos del Inventory of Carbon & Energy (ICE)”, engloba coeficientes de energía incorporada de más de 200 materiales, desglosados en más de 30 categorías como concretos, maderas, plásticos, entre otros, los cuales nos permiten hacer un estimado de la huella de carbono generada en un sistema.

3.2.4 Estrategias sostenibles adaptables al proyecto (Figura 5)



Fig. 5. Mapa mental, de elaboración propia, con conclusiones sobre algunas estrategias sostenibles a tomar en cuenta, basado en (Huellas de Arquitectura, 2018)

3.3 Transferencia térmica en las envolventes arquitectónicas

3.3.1 Definición y tipos de transferencia de calor

La transferencia de calor se define, como el proceso mediante el cual, se traspasa energía calórica de un

cuerpo con mayor temperatura, a otro con menor, hasta llegar a un equilibrio térmico (Cengel, y Ghajar 2011). Este concepto básico en el mundo de la física, también se estudia en el ámbito arquitectónico, analizando y aprovechando el proceso mediante el cual un edificio intercambia temperatura con el exterior, mediante su estructura y envolvente, esto, con el objetivo de lograr el máximo confort térmico posible, sin necesidad de utilizar algún tipo de climatización artificial.

Este intercambio de energía calórica, se puede dar principalmente por tres modos: Radiación, Convección y Conducción. **Figura 6.** (Cengel, y Ghajar 2011)

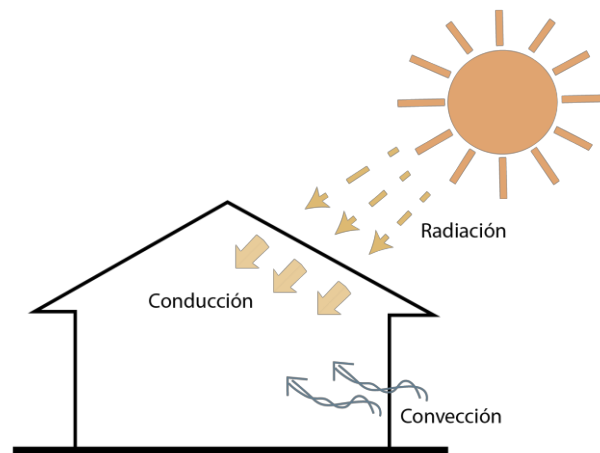


Fig. 6. Esquema explicativo de elaboración propia, mostrando los principios de radiación, convección y conducción en una vivienda.

- **Radiación:**

La radiación se refiere a la transmisión de energía térmica y es el único proceso que no requiere que 2 cuerpos estén en contacto, ya que se realiza, a través de la radiación electromagnética, ya sea de manera natural, el Sol es el mejor ejemplo y el principal proveedor de ésta, (radiación infrarroja), o artificial, mediante radiadores o chimeneas.

Figura 7.

Este modo de transferencia de calor, al provenir de una fuente natural como el Sol será en todo momento y en cualquier parte del mundo, la primera con la que tendrá que dialogar cualquier tipo de envolvente arquitectónica, siendo de vital importancia, planear desde un inicio la orientación de cada una de las fachadas a proyectar, tomando en cuenta la trayectoria solar de ese sitio en específico y la incidencia que tendrá sobre el objeto arquitectónico en determinadas épocas del año.

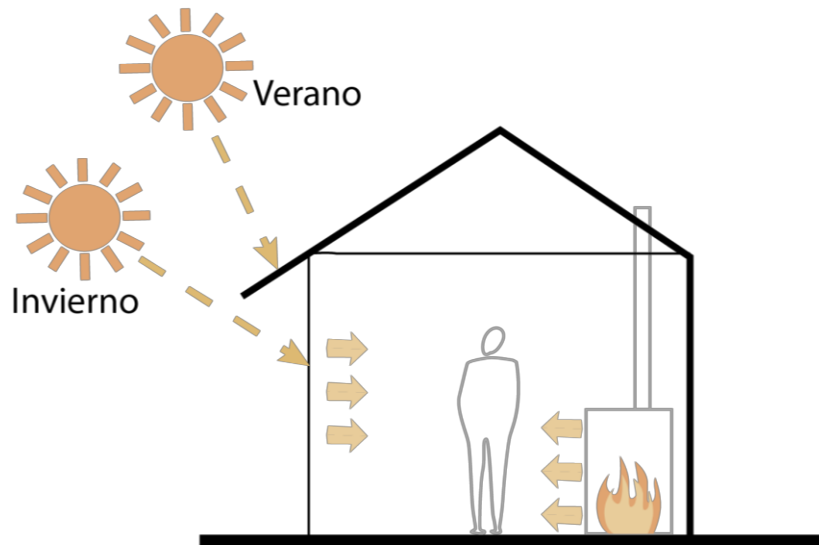


Fig. 7. Esquema explicativo de elaboración propia, basado en (Lechner 2015, 49-55) mostrando los principios de la radiación, en una vivienda.

- **Conducción:**

La conducción es la transferencia de calor entre dos cuerpos materiales que están en contacto directo, Este flujo de calor, se da de un cuerpo con mayor temperatura,

a uno con menor, modificando la vibración de los átomos, y esto a su vez, generando la disminución de la temperatura del elemento dotador de energía y aumentando la del elemento receptor, buscando naturalmente llegar a un equilibrio térmico. **Figura 8.**

Este tipo de transferencia de energía, es el causante de que en invierno el calor interior de los edificios se escape y en verano, la temperatura aumente generando espacios muy calientes en los cuales es imposible continuar con las actividades cotidianas, es por ello que es importante tomar en cuenta este fenómeno, las características termo físicas de los materiales, (su capacidad de transmisión de calor) así como la localización y características físicas y geográfica del sitio (temperaturas máximas, humedad, niveles de precipitación, entre otros factores), para poder garantizar un óptimo confort térmico para las actividades a realizarse dentro del objeto arquitectónico.

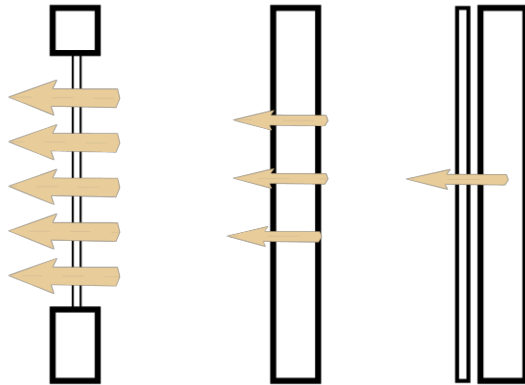


Fig. 8. Esquema explicativo de elaboración propia, basado en (Lechner 2015, 49-55) mostrando los principios de la conducción.

- **Transferencia de calor por convección:**

El proceso de convección tiene los mismos principios que la conducción, sin embargo, en este caso, la transferencia de energía se lleva a cabo, a través de fluidos (gases/líquidos) gracias a la diferencia de temperaturas que existen, logrando un movimiento que lo esparce al interior del espacio en donde está contenido. **Figura 9.**

Un claro ejemplo en la arquitectura, utilizando este proceso, es el principio de la ventilación natural y el efecto chimenea, donde, tomando en cuenta la orientación y la dirección de los vientos dominantes, se busca generar corrientes de aire natural, con el objetivo de generar una constante circulación, refrescando el ambiente interior del edificio, y desechando el aire caliente por el costado superior opuesto del espacio.

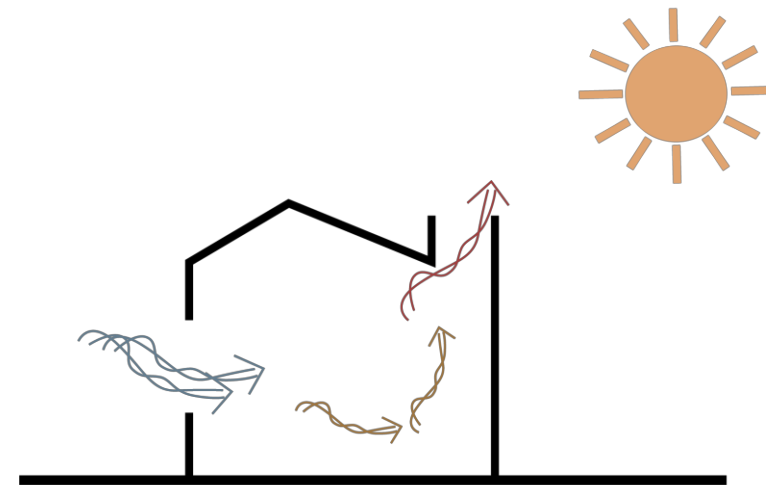


Fig. 9. Esquema explicativo de elaboración propia, basado en (Lechner 2015, 49-55) mostrando los principios de la convección.

3.3.2 Propiedades termofísicas de los materiales y conducción del calor

Las propiedades termofísicas son aquellas, mediante las cuales, la materia interactúa directamente con la energía térmica que recibe. Para determinar el desempeño térmico de un material y su eficiencia dentro de un sistema, se estudian 3 propiedades que trabajan de manera conjunta: la densidad de masa, calor específico y conductividad térmica.

- Densidad de masa:

Es la cantidad de materia presente por unidad de volumen, entre mayor cantidad de materia, mayor cantidad de masa. Es importante conocer este factor, ya que nos indicará la cantidad de materia con la que se cuenta para conducir y almacenar el calor a través de los materiales que componen la envolvente o estructura del edificio. (Cengel, y Ghajar 2011)

Para determinar la densidad de un cuerpo, se utiliza la fórmula: **$d=m/v$**

d = densidad (**kg/m³**)

m = masa (**kg**)

v= volumen (**m³**)

Densidad media de algunos materiales (kg/m³) **Figura 10**

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m ³)
Cobre	8900
Acero	7900
Vidrio	3300
Aluminio	2700
Concreto armado	2400
Block hueco de concreto	1950
Tabique rojo	1750
Agua	1000
Triplay	530
Madera	500
Corcho	250
Celulosa	30-100
Lana de Vidrio	12-14
Poliestireno expandido	10-16

Fig. 10. Tabla resumen de elaboración propia sobre la densidad de algunos materiales, ordenada por sus valores en forma descendente, basada principalmente en los datos de (Cengel, y Ghajar 2011) y completada con fuentes secundarias.

- **Calor específico:**

Se define el calor que requiere una cantidad de materia definida para elevar su temperatura 1°C. Este fenómeno nos indicará la capacidad de los materiales de almacenar calor, antes de comenzar a aumentar su temperatura, y, por ende, transferirla por cualquiera de los procesos anteriormente mencionados. (Cengel, y Ghajar 2011)

La fórmula para calcular calor específico es $Q=mc\Delta t$.

Q = Cantidad de energía calorífica perdida o ganada (**J**)

m = La masa de la sustancia (**kg**)

c =Capacidad calorífica específica de la sustancia
(**J/kg·°C**)

ΔT = El cambio de temperatura de la sustancia (**K**)

Calor específico de algunos materiales (J/kg·°C) Figura

11:

MATERIAL	CALOR ESPECÍFICO (J/Kg°C)
Agua	4186
Celulosa	2150
Corcho	1880
Triplay	1400
Madera	1360
Poliestireno expandido	1200
Block hueco de concreto	1005
Concreto armado	1000
Aluminio	897
Vidrio	840
Tabique rojo	840
Lana de Vidrio	840
Acero	452
Cobre	387

Fig. 11. Tabla resumen de elaboración propia sobre el calor específico de algunos materiales, ordenada por sus valores en forma descendente, basada principalmente en los datos de (Cengel, y Ghajar 2011) y completada con fuentes secundarias.

K = Kelvin (medida de temperatura)

- **Conductividad térmica:**

Es la capacidad de un material de conducir el calor, **mientras mayor sea la conductividad térmica, se considerará un mejor conductor** del calor, por el contrario, **mientras más bajo sea, el material se consideraría como un aislante.**

Se determina conductividad térmica al flujo de calor que se presenta desde la cara “A” del material que está recibiendo directamente energía térmica (Watts (**W**)), hacia la cara opuesta “B” del mismo, a lo largo de **1m** de espesor, y hasta que la resta de la temperatura de la cara “A” con la temperatura de la cara “B” den un total de **1K**. (Cengel, y Ghajar 2011)

Esta conductividad se representa con “**k**” y se obtiene Mediante la fórmula: **W/mK**.

W = Watt (**Joule/seg.**)

m = metros (medida de distancia)

Conductividad térmica de algunos materiales (W/mK)

Figura 12:

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/mK)
Cobre	389
Aluminio	247
Acero	47-58
Concreto armado	2.10
Vidrio	1.20
Tabique rojo	1.20
Agua	0.58
Block hueco de concreto	0.238
Triplay	0.14
Madera	0.150
Celulosa	0.043
Corcho	0.042
Poliestireno expandido	0.0359
Lana de Vidrio	0.030

Fig. 12. Tabla resumen de elaboración propia sobre la conductividad térmica de algunos materiales, ordenada por sus valores en forma descendente, basada principalmente en los datos de (Cengel, y Ghajar 2011) y completada con fuentes secundarias.

- Resistencia térmica total

La resistencia térmica, al igual que la conducción térmica, indica la capacidad de los materiales, dependiendo su composición, para resistirse a la transferencia de calor desde su cara "A", hasta la cara opuesta "B", sin embargo, la resistencia total, se emplea en el ejercicio real de la arquitectura, utilizando para su cálculo, el espesor actual de los sistemas constructivos (0.15, 0.20 o 0.30m, según sea el caso). Para calcular la resistencia térmica total, se utiliza la fórmula: $e / k = R$

R = resistencia térmica (m^2K/W)

e = espesor real del material (m)

k = conductividad térmica (W/mK)

Para determinar correctamente la resistencia total de determinado sistema arquitectónico, es necesario tomar en cuenta el espesor y conductividad térmica de cada capa de material que está involucrado y realizar su sumatoria para obtener el resultado real.

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se}$$

R_t = resistencia térmica total (m^2K/W)

R_{si} = Resistencia térmica interior (m^2K/W)

R_{se} = Resistencia térmica exterior (m^2K/W)

R_1, R_2, R_3, R_n = Resistencia térmica de cada capa (m^2K/W)

- Transmitancia /Conductancia térmica:

La transmitancia térmica a su vez, es inversamente proporcional a la resistencia térmica de los elementos arquitectónicos, **es decir: mientras mayor sea el coeficiente de resistencia de los materiales de la envolvente, menor será la cantidad de calor que se transmitirá.** (Lechner, 2015) **Figura 13.**

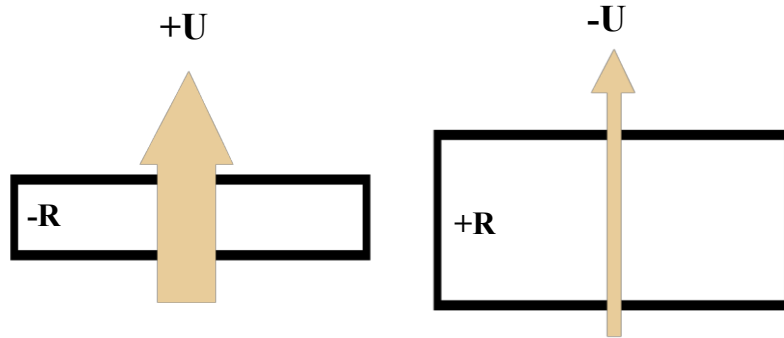


Fig. 13. Esquema ilustrativo de elaboración propia sobre la relación entre el coeficiente de resistencia de un material (R) y el total de calor transmitido (U) basado en (Lechner 2015)

Para obtener la transmitancia térmica o “valor U”, únicamente se divide entre 1 la resistencia térmica total del conjunto **$(1/R) = U$**

R = resistencia térmica (**m^2K/W**)

U = transmitancia térmica (**W/ m^2K**)

3.3.3 Materiales con características de masa térmica.

Una vez conociendo las propiedades de los materiales anteriormente mencionados, podremos distinguir aquellos que se definen como materiales de masa térmica, los cuales cuentan con ciertas características que les permiten intercambiar calor con su entorno, absorbiendo y guardando la energía térmica recibida durante las horas de mayor radiación solar, y liberándola de manera gradual, en el transcurso de la noche, el correcto uso de estos materiales, permite moderar las temperaturas internas del edificio, promediando las temperaturas extremas (día-noche). Esto aumenta la comodidad y reduce los costos de energía. (Lechner, 2015)

Las principales características con las que estos materiales deben contar, para poder ser considerados de masa térmica, son las siguientes:

- ✓ Densidad de masa alta: **1,000 – 3,000 kg/m³**
- ✓ Calor específico alto: **1,000 – 4,200 J/Kg°C**
- ✓ Conductividad térmica media: **0.50 – 2.00 W/mK**

El uso de estos materiales, para un desempeño óptimo, es recomendado en climas cálidos secos o templados, donde la temperatura oscile al menos 10°C a lo largo del día.

En la siguiente tabla, se vacían los datos obtenidos sobre los diversos materiales analizados, remarcando los valores que entren dentro de los rangos anteriormente mencionados, para así determinar qué materiales pueden ser considerados con características de masa térmica

Figura 14:

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/kg°C)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/mK)
Acero	7900	452	47-58
Agua	1000	4186	0.58
Aluminio	2700	897	247
Block hueco de concreto	1950	1005	0.238
Celulosa	30-100	2150	0.043
Cobre	8900	387	389
Concreto armado	2400	1000	2.1
Corcho	250	1880	0.042
Lana de vidrio	12-14	840	0.03
Madera	500	1360	0.150
Vidrio	3300	840	1.20
Poliestireno expandido	10-16	1200	0.0359
Tabique rojo	1750	840	1.20
Triplay	530	1400	0.12

Fig. 14. Tabla resumen de elaboración propia sobre las propiedades termofísicas de los materiales, organizada en orden alfabético, detectando qué materiales cumplen con los parámetros de masa térmica, basada principalmente en los datos de (Cengel, y Ghajar 2011) y completada con fuentes secundarias.

Tras el análisis de estos valores, se puede concluir que tanto el concreto como el tabique rojo son materiales con excelente comportamiento hacia la inercia térmica, por lo que serían los primeros a considerar en el estudio de la envolvente que se realizará más adelante, de igual forma, será interesante revisar el comportamiento de materiales que cumplan con el rango de al menos una de las características de masa térmica, (densidad/calor específico/conductividad) como lo puede ser el aluminio o la madera, para contrastarlos y conocer cómo influye esa diferencia en los rangos en su comportamiento térmico.

3.4 Arquitectura Post Covid-19, adaptabilidad y flexibilidad de los espacios

3.4.1 Antecedentes y contexto histórico.

El brote del Coronavirus fue declarado oficialmente como una pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 11 de marzo del 2020, desde ese entonces, laboratorios, investigadores y gobiernos de todo el mundo,

han estado trabajando a la par para conocer más acerca de este virus, buscando formas de protegernos y soluciones para esta inminente problemática. Con el pasar de los meses, especialistas fueron capaces de proponer soluciones para evitar la constante propagación del virus, siendo la mayoría, estrategias implementadas dentro de los espacios urbano-arquitectónicos ya existentes, lo que nos está haciendo más conscientes sobre el peso y las limitaciones que el diseño arquitectónico tiene sobre nuestra vida diaria.

Esta no sería la primera vez que la arquitectura y el urbanismo se ven obligados a reinventarse en respuesta a enfermedades o desastres mundiales, tal y como sucedió a principios del siglo XX, donde buscando crear atmósferas más salubres y seguras para evitar la constante propagación de la tuberculosis, surgen nuevos conceptos y estrategias de diseño que posteriormente darían origen a la arquitectura moderna.

3.4.2 Adaptación de la vida cotidiana.

Los cambios que la actual crisis propiciada por el virus del Covid-19 está generando en la sociedad, son muy claros, el distanciamiento social, la forzosa implementación de Home-office para cierto tipo de trabajos, y las recomendaciones de únicamente tener interacciones en espacios abiertos y bien ventilados, son tan solo algunos de los ejemplos mundialmente conocidos.

Ahora viene el cuestionamiento de cómo combatir esta transición hacia la “nueva normalidad”, porque si bien, estamos cercanos a la erradicación de este virus, siempre estaremos expuestos a nuevas epidemias, por lo que debemos aprender del presente, para no sucumbir ante futuras amenazas

3.4.3 Retos y previsiones para el futuro

Estos procesos de cambio y evolución masiva naturalmente suelen tardar varios años, sin embargo, hay 2 aspectos de los que ya se está hablando, analizando e

implementando y muy probablemente serán la base para esta estructuración progresiva: la flexibilidad y adaptación. (HMC Architects, 2020) **Figura 15**

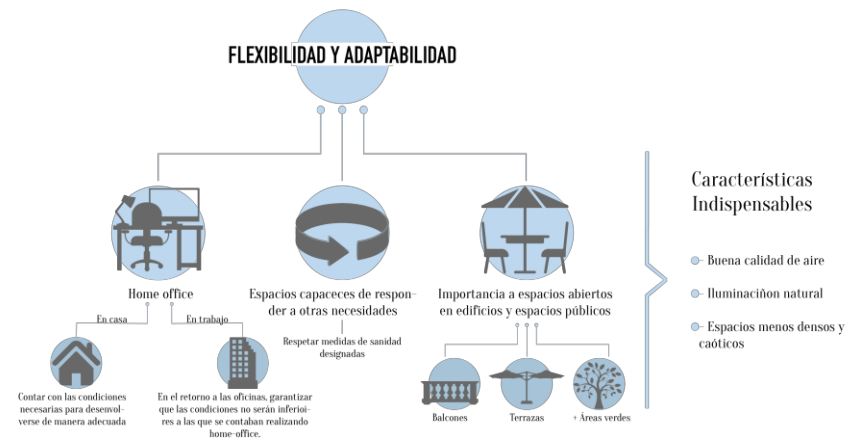


Fig. 15. Mapa mental, de elaboración propia, con conclusiones sobre las características que la emergencia sanitaria ha generado en materia de arquitectura, basadas en (HMC Architects, 2021)

4. Proyecto Arquitectónico – Proceso conceptual

4.1 Análisis de Sitio

4.1.1 Antecedentes y contexto histórico

Como se menciona anteriormente en el texto, esta tesis surge bajo la premisa de “repensar el campus universitario”, aspecto que, teniendo como contexto la pandemia del COVID-19, se buscó combatir las dificultades que presentan los estudiantes en temas de movilidad.

El proyecto, propone diseñar espacios para toda la comunidad universitaria en puntos estratégicos de la Ciudad, donde puedan desarrollar actividades de estudio, trabajo colaborativo, incluso tomar cursos o talleres sin necesidad de trasladarse hasta Ciudad Universitaria.

Esta propuesta en particular se plantea al norte de la Ciudad de México, específicamente en: Avenida

Insurgentes Norte, L-4 Colonia Santa Isabel Tola, en la Delegación Gustavo A. Madero.

- **Delegación Gustavo A. Madero.**

La Delegación Gustavo A. Madero, es denominada así en memoria del insigne mexicano mártir de la Decena Trágica, quien, en el ferrocarril de esta zona, se enteró de la conspiración para matar al entonces presidente y su hermano, Francisco I. Madero.

Yéndose más atrás en la historia de la localidad, los primeros asentamientos, surgen desde la época prehispánica, con el peregrinar de los mexicas provenientes de Aztlán, evolucionando durante la época colonial, siendo, más recientemente, el 7 de agosto de 1931, con aprobación del Senado de la República, cuando este fragmento de la Ciudad, conocida en ese entonces como la Ciudad de Guadalupe Hidalgo se transformó en una Delegación, designada con el nombre de Gustavo A. Madero. (INFAED, s.f.)

Esta delegación se localiza al norte de la Ciudad de México, con una superficie de 85.6 Km² y una altitud al nivel del mar de 2.278 mts. Colindando al norte, al oriente y al poniente con el Estado de México, al sur con la delegación Cuauhtémoc y también al poniente con Azcapotzalco.

Dos grandes avenidas cruzan esta delegación, la Calzada Vallejo, una de las más antiguas de México, e Insurgentes Norte, **Figura 16** que por un lado comunica esta zona con el centro y sur de la ciudad, y por el otro, entronca con la carretera México-Pachuca.

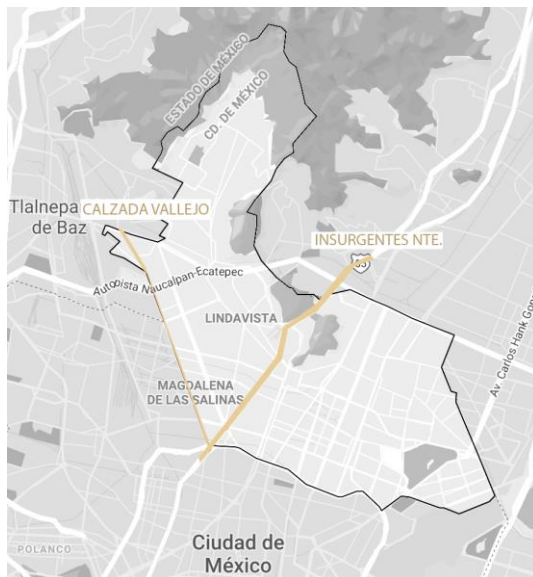


Fig. 16. Mapa de la delegación Gustavo A. Madero con las 2 principales avenidas que la transitan

Gustavo A. Madero es una de las alcaldías de mayor importancia en la Ciudad de México, no sólo por su ubicación geográfica sino también por sus antecedentes culturales, religiosos y, sobre todo, por su estructura urbana, ya que es una de las más pobladas de la ciudad, adicionalmente destacan el factor de la población flotante (la población que utiliza un territorio, pero cuyo lugar de residencia habitual es otro. La población flotante, sumada a la población residente, constituye la “carga de población” que realmente soporta cada territorio, (Garrocho, 2011) estimada “en un millón 800 mil habitantes”, los cuales se dan lugar ante las zonas o área de interés público, como la Basílica de Guadalupe.

Santa Isabel Tola

El sitio de estudio se ubica en la colonia Santa Isabel de Tola, perteneciente a la delegación Gustavo A Madero, fue

fundada en 1438 y proviene del náhuatl “Tollan” (lugar de tules). Esta población, se encuentra rodeada, al sur por el cerro del Tepeyac, al oriente por el cerro de Guerrero y al norte por el cerro Zacatenco **Figura 17**.



Fig. 17. Localización de la colonia Santa Isabel de Tola dentro de la delegación Gustavo A. Madero. (izq.) y respecto al cerro del Tepeyac, de Guerrero y Zacatenco (der.)

4.1.2. Características físicas, potencial del sitio y campo de acción

- **Condiciones ambientales.**

El clima en la delegación es el que prevalece en el centro de la ciudad, clima templado subhúmedo, con una **temperatura media anual de 16°C** y variaciones a lo largo del día, dependiendo de la estación del año. Se cuenta con una precipitación anual promedio de 651.8mm, siendo los meses de junio y julio, los más lluviosos. Los vientos dominantes, provienen del N y NE, dirección S con una velocidad promedio de 10km/h. **Figura 17, Figura 18.**

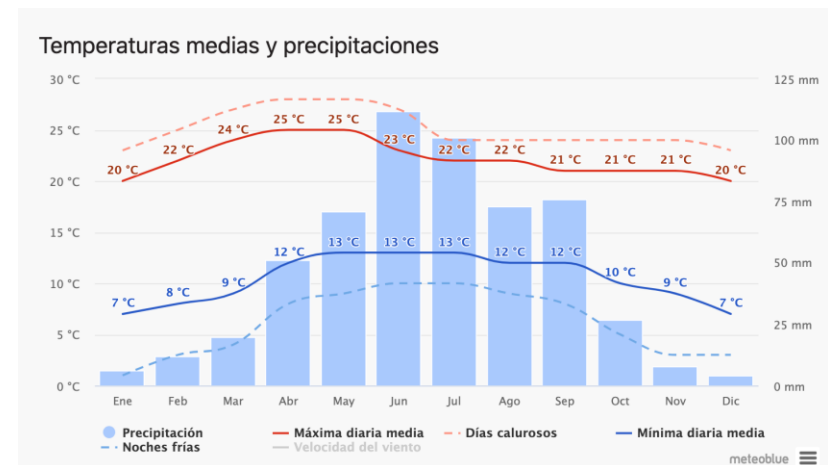


Fig. 17. Promedio de temperaturas y precipitaciones de la delegación Gustavo A. Madero. fuente: climate-data.org

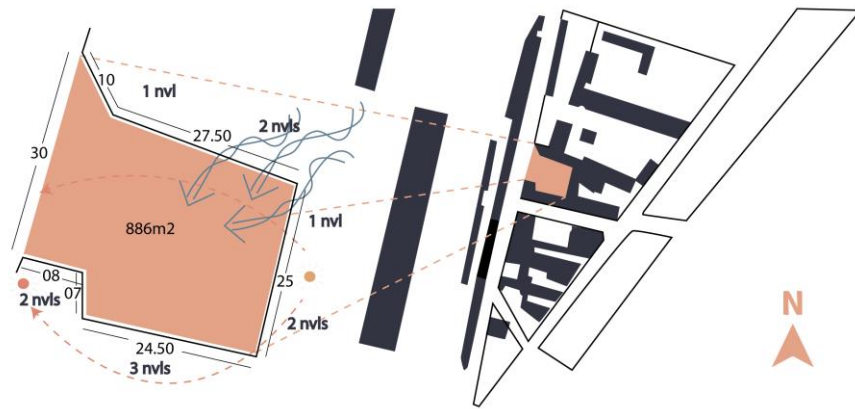


Fig. 18. Ilustración de elaboración propia, delimitando el predio y mostrando la dirección de los vientos, la trayectoria solar y el nivel de construcción de las colindancias.

- **Vegetación**

Al tratarse de una zona totalmente urbana, no se encuentra demasiada vegetación, únicamente algunos fresnos, jacarandas, palmeras, pinos, y otros árboles característicos del clima templado subhúmedo, en jardines aledaños, camellones y grandes terrenos. Frente al

terreno, (poniente) se encuentra un fresno de al menos 6mts de altura, el cuál podría beneficiar al proyecto a la hora pensar en proteger el asoleamiento proveniente de esa orientación. **Figura 19**



Fig. 19. Ilustración de elaboración propia, con la masa de vegetación colindante (izquierda) e imagen del fresno situado frente al predio (derecha).

- **Uso y tipo de suelo**

El sitio tiene un área total de 886 m² y cuenta con una reglamentación de uso de suelo Habitacional Mixto (HM) con un máximo de 5 niveles, respetando el 30% de área

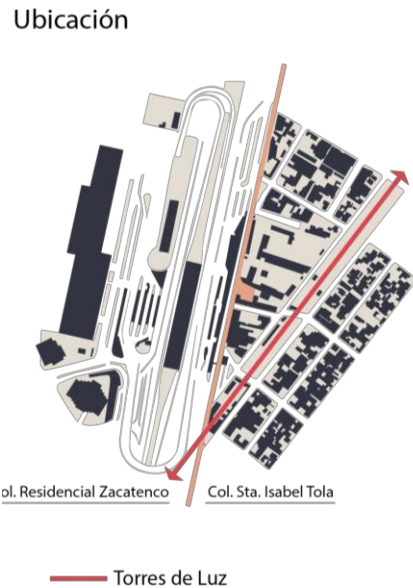


Fig. 21. Ilustración de elaboración propia, mostrando la ubicación del predio.

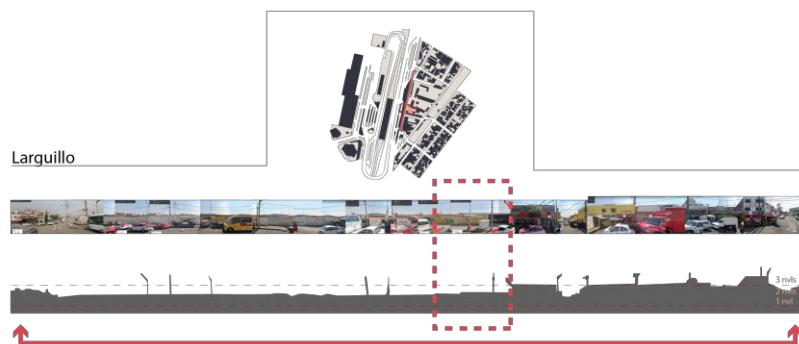


Fig. 21. Larguillo realizado sobre Insurgentes Norte. (Fachada principal del proyecto.)

El sitio de estudio se encuentra en una franja colindante con la Av. Insurgentes Norte, misma en la que se encuentra una ocupación comercial prácticamente en su totalidad, con un promedio de 2 niveles de altura.

Se puede notar de igual forma que se localiza en una zona privilegiada en cuestión de movilidad, ya que se encuentra justo enfrente del actual Centro de Movilidad y Transporte, el cual genera una conectividad total a toda la Cdmx y zona Metropolitana.

- **Proyecto de renovación CETRAM Indios Verdes 2020.**

El CETRAM Indios verdes, es uno de los puntos más importantes en temas de transporte y conectividad tanto para la Ciudad de México, como para el Estado de México, y cualquier persona que haya tenido que hacer un trasborde en esta estación se podrá percatar del constante caos que se vive en la zona, tráfico a todas horas, circulación peatonal que se ve entorpecida por los

comercios ambulantes aledaños, ruido incesante, inseguridad, por mencionar algunos.

Es por ello por lo que buscando mejorar las condiciones de accesibilidad y experiencia de los usuarios, la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México implementó el proyecto de renovación del Centro de Transferencia Modal **Figura 22**.

Este ambicioso proyecto, dividido en 2 etapas, contempla, el mejoramiento de la glorieta Insurgentes y adecuaciones dentro de la misma avenida, un carril confinado para el Mexibús, ampliación de la L5 del Metrobús, creación de la primera línea del Cablebús, nuevos andenes de espera, una conexión elevada, por medio de pasarelas, entre todos los sistemas de transporte, así como un reordenamiento del comercio informal.

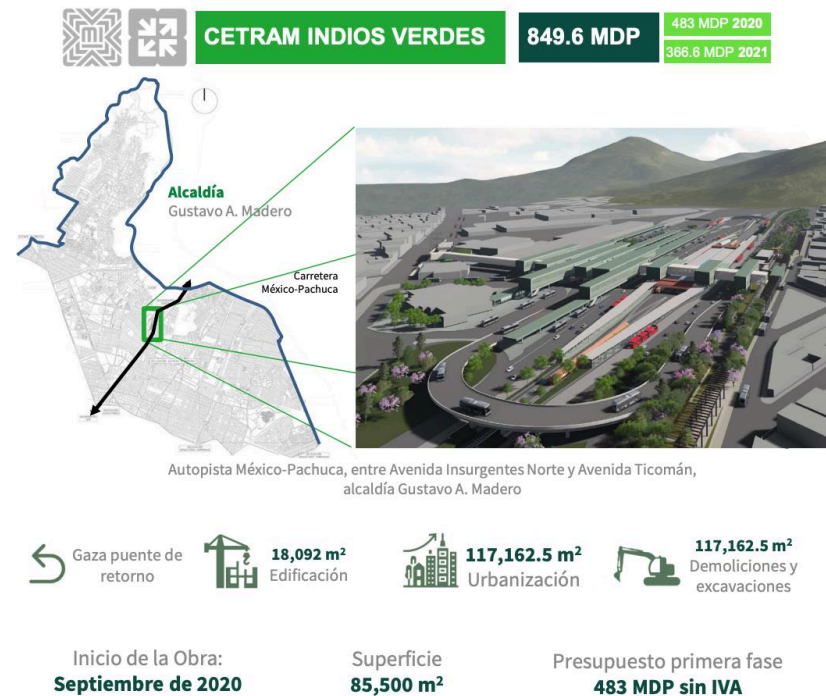


Fig. 22. Imagen explicativa sobre los alcances del proyecto de renovación CETRAM Indios Verdes, Fuente: semovi.cdmx.gob.mx

Este proyecto tenía como fecha de inicio, septiembre del 2020, sin embargo, por los actuales temas de pandemia que se viven, los trabajos se tuvieron que ver atrasados y no fue hasta noviembre del mismo año, que se inició formalmente con la obra, con una fecha estimada de

finalización de la primera etapa, de enero 2022, mientras que se prevé que la obra se finalice en su totalidad a finales del 2023.

Con esta remodelación y mejoramiento urbano, el proyecto de un centro de aprendizaje alternativo perteneciente a la UNAM, toma más sentido, generando un espacio más seguro, mejor organizado y más atractivo para los mismos estudiantes que harán uso del recinto, además de dar herramientas para proponer un proyecto que se adapte a la modernización de la zona.

Otra de las mejoras que están planeadas dentro de la segunda etapa del proyecto, y que además será sumamente atractivo para el centro de aprendizaje y que definitivamente aumentará la plusvalía de toda la franja que bordea la Avenida Insurgentes Nortes, será la creación de un **parque lineal**, donde actualmente se encuentran andenes del transporte concesionado. **Figura 23**



Fig. 23. Renders oficiales del proyecto. Fuente: semovi.cdmx.gob.mx

4.2 Definición de estrategias

4.2.1 Concepto de diseño

Se inicia proponiendo una configuración en “L”, con la intención de generar un jardín interior para las fachadas N/NE, el cual nos permita tener terrazas y espacios completamente abiertos, recibiendo iluminación indirecta y la constante entrada de los vientos dominantes, provenientes justamente de esas direcciones.

A pesar de que el proyecto se encuentra en un núcleo estratégico de transporte público, es inevitable pensar en que algunos estudiantes, administrativos o invitados puedan llegar en automóvil, por lo que se plantea un estacionamiento subterráneo limitado, de aproximadamente 300m², ubicado al sur del complejo.

Figura 24



Fig. 24. Esquema Sótano.

La fachada sur, se plantea con curvaturas en los costados, las cuales generarán pequeños vacíos que nos permitirán abrirnos y que, de manera natural, el aire caliente pueda ser desalojado.

Nuestra fachada principal, colindante con la Av. Insurgentes norte, cuenta con orientación poniente, por lo que es importante generar estrategias que mitiguen la radiación solar directa. **Figura 25**



Fig. 25. Esquema Planta Baja

En planta baja, se plantea la zona más social, por lo que, en fachada principal, se utilizará cancelería de piso a techo para mayor iluminación y atractivo visual, proponiendo como barrera natural una capa de vegetación en la plaza de acceso.

Para los niveles subsecuentes, se generará una planta tipo con distintas distribuciones, siempre respetando el principio de buena iluminación, ventilación y versatilidad. Se crean 3 terrazas (Norte, Oriente y Poniente), (**Figura 26**) esta última, en la fachada principal, protegida por una celosía que evite la radiación directa.

Fungiendo como elemento de transición y protección entre cada terraza y el espacio interior, se emplearán muros abatibles, que, dependiendo la época del año, podrán estar completamente abiertos, permitiendo una relación interior-exterior muy interesante, refrescando completamente cada espacio o cerradas, únicamente permitiendo la entrada de iluminación y ventilación necesaria para determinada hora del día.



Fig. 26. Esquema Niveles 2,3 y 4

Para este proyecto, se evaluará el rendimiento de distintas propuestas de envolventes, para 2 fachadas principales del proyecto; la primera, para fachada poniente, (**Figura 27**) siendo la más castigada, en cuanto a radiación solar se refiere, se proponen distintos tipos de celosía y de muros abatibles y la segunda, para los últimos dos niveles

de la fachada sur (**Figura 28**) (ya que planta baja y primer nivel, se encuentran directamente con la edificación colindante), se plantearán y analizarán muros con y sin aislante térmico para conocer qué combinación es más eficiente.

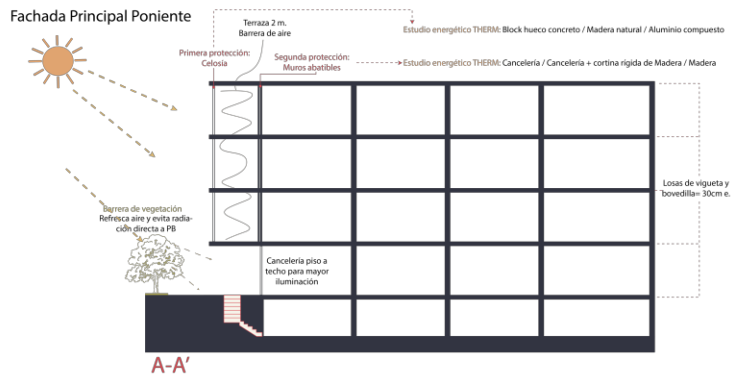


Fig. 27. Ilustración de elaboración propia, mostrando un primer acercamiento para la evaluación e implementación de estrategias en fachada poniente.

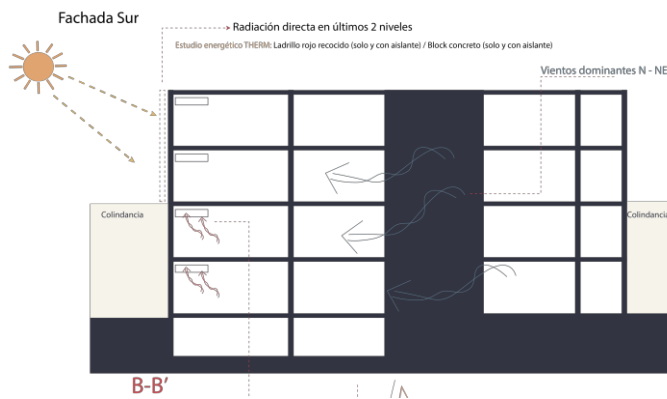


Fig. 28. Ilustración de elaboración propia, mostrando un primer acercamiento para la evaluación e implementación de estrategias en fachada sur.

4.2.2 Estudio Solar

Se realizó apoyándose de la herramienta de modelado digital “Revit” un estudio solar, tomando en cuenta la volumetría general del proyecto desplantado en las condiciones determinadas horas del día, durante los solsticios y equinoccios que tenemos en el año, estudiando un volumen muy acercado a la realidad del proyecto, pudiendo concluir que, a partir de las 4 p.m. la fachada poniente recibirá la incidencia solar directa, calentando indeseadamente el espacio, sobre todo en las fechas de mayor calor (marzo a junio), mientras que por las mañanas, la incidencia será en su totalidad por la fachada oriente, aspecto que se puede contrarrestar con el uso de balcones, los cuales ayudarán a generar la sombra necesaria a los niveles precedentes **Figura 29 y 30**.

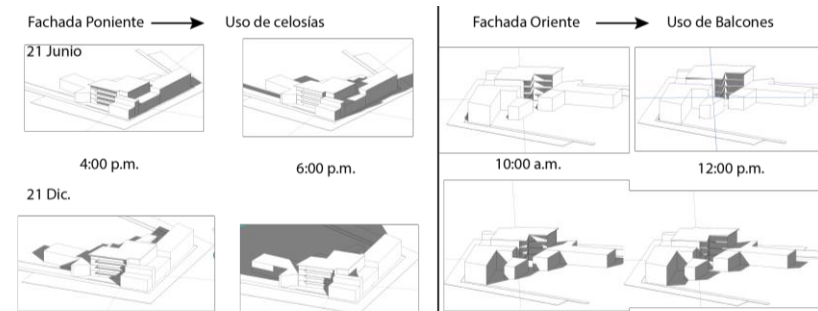


Fig. 29. Conclusiones del estudio solar realizada modelando la propuesta de volumetría, dentro del programa de Autodesk, Revit.

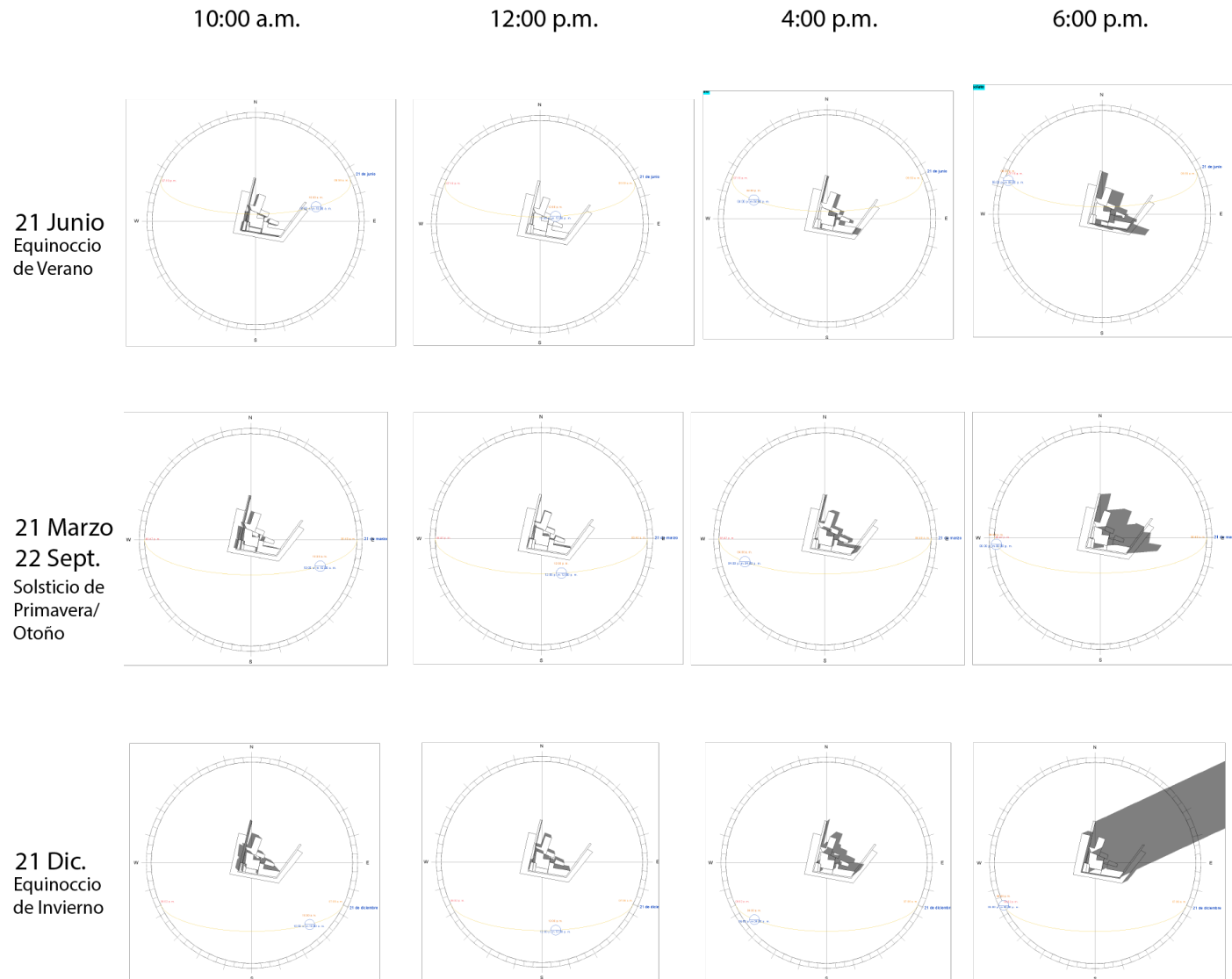


Fig. 30. Estudio Solar realizada modelando la propuesta de volumetría, dentro del programa de Autodesk, Revit.

5. Experimentación

5.1 Evaluación térmica en envolventes (THERM)

5.1.1 Planteamiento y procedimiento

Para realizar esta evaluación del desempeño térmico, se utilizó el programa “THERM”, una herramienta digital de modelado energético, la cual, proporcionando el espesor y propiedades termofísicas de cada capa de material, así como las temperaturas promedio exteriores e interiores de la zona, nos permitirá conocer un estimado del comportamiento térmico de cada envolvente.

Para este análisis, se optó por utilizar las temperaturas máximas a las que se espera llegar dada la ubicación y época del año; 25°C, por las tardes, en los meses más calurosos (marzo-junio), y 7° por las mañanas, en los meses más fríos (diciembre-febrero), de tal forma, que se pueda garantizar un confort térmico interior sin importar la fecha y horario del día.

Para calcular la temperatura óptima de confort térmico interior, se utilizó la ecuación universal de Aulicien & Szokolay (1997) para estimar la temperatura neutra mediante la fórmula:

$$T_n = 17.6 + (0.31 * T_a)$$

T_n = Temperatura de neutralidad (°C)

T_a = Promedio de la temperatura anual de la región (°C)

Obteniendo un resultado para el norte de la Ciudad de México, de **22.5°C**

Fachada Sur

La primera envolvente para evaluar será la correspondiente a la fachada sur, esto debido a las complejas características a las que se enfrentará durante 2 distintas épocas del año.

En el gráfico (**figura 30**), podemos observar la posición aproximada del sol en los meses más calurosos del año y cómo alrededor del mediodía la incidencia solar es directa en esta fachada, lo que nos hace pensar que será necesario una valoración de esta zona, probablemente planteando el uso de algún aislante para evitar un calentamiento interior excesivo durante dichos meses.

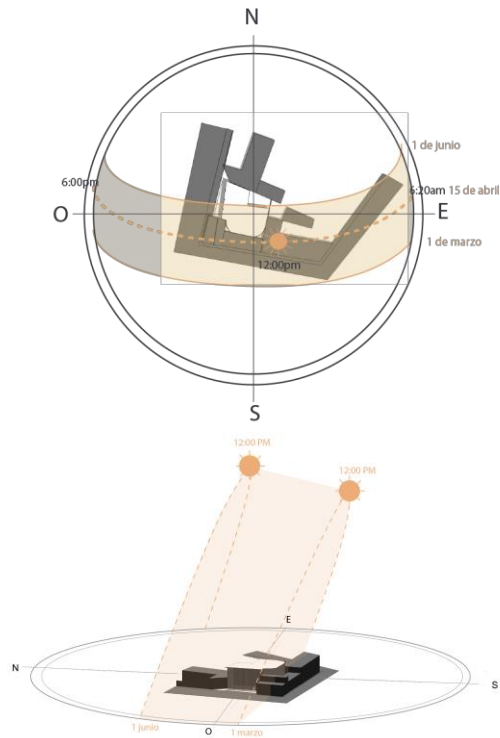


Fig. 30. Gráfico de elaboración propia, mostrando con la volumetría propuesta, la trayectoria solar del 1ero de marzo al 1ero de junio en planta y en alzado

Por el contrario, durante los meses de invierno, por las mañanas, la incidencia solar será prácticamente nula en esta misma fachada (**Figura 31**), por lo que también será necesario conocer el comportamiento térmico de los materiales empleados, para evitar, en medida de lo posible que el calor generado durante la noche, se escape al exterior, dando como resultado un espacio interior muy frío.

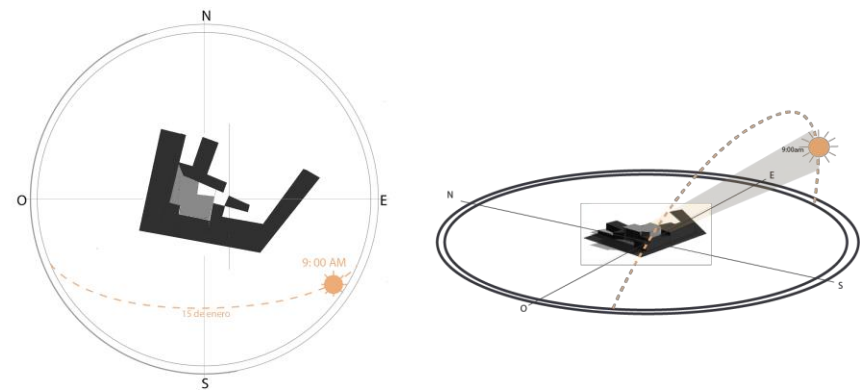


Fig. 31. Gráfico de elaboración propia, mostrando con la volumetría propuesta, la incidencia solar en enero 15 a las 9 de la mañana

En este caso, para el muro de carga colindante, se valorará el uso de tres de los materiales más comunes de

la construcción en México y que además cuentan con características de masa térmica: el tabique rojo recocido, el block hueco de concreto y el concreto armado.

Se evaluó su comportamiento térmico en solitario y con 3 tipos de aislante: uno de origen sintético; compuesto por polímeros procedentes del petróleo (placas de poliestireno), otro de origen mineral; compuestos por materiales naturales procesados de manera industrial como roca volcánica, arena o vidrio reciclado (lana de vidrio), y finalmente uno de origen natural; creado a partir de compuestos naturales reciclados y biodegradables, (celulosa proyectada),(Grupo SIMA, 2018) cabe destacar, que éstos, únicamente se colocarían en los últimos 2 niveles del edificio, ya que los demás se encontrarán a la misma altura que la construcción colindante.

Procedimiento (Desglose de resultados en ANEXO A)

Para cada una de las pruebas, se dibujó en AutoCAD la configuración básica de la envolvente, identificando la

resistencia térmica de cada capa de material tal y cómo se observa en la **Figura 32**.

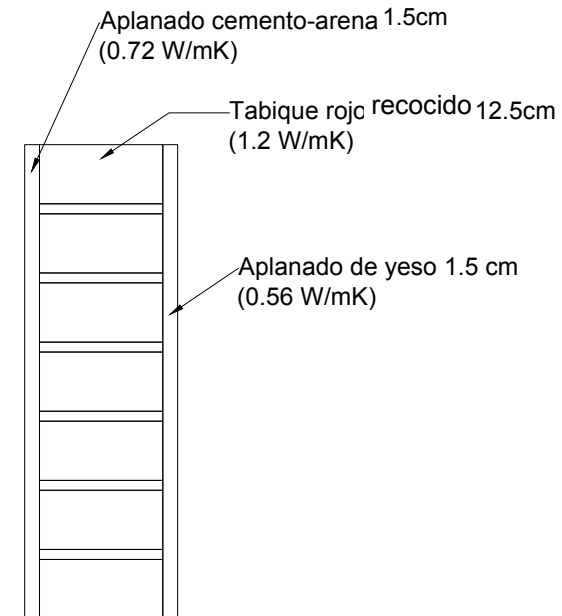


Fig. 32. Dibujo de AutoCAD, mostrando la composición básica del muro de tabique rojo recocido, correspondiente a la prueba #1 -

ANEXO A

Una vez exportado el dibujo en THERM, se determinaron los bordes externos, internos y adiabáticos (es decir, los que, por estar en contacto directo con otro elemento

constructivo, como una losa, no permite la transferencia de calor con el entorno. **Figura 33**

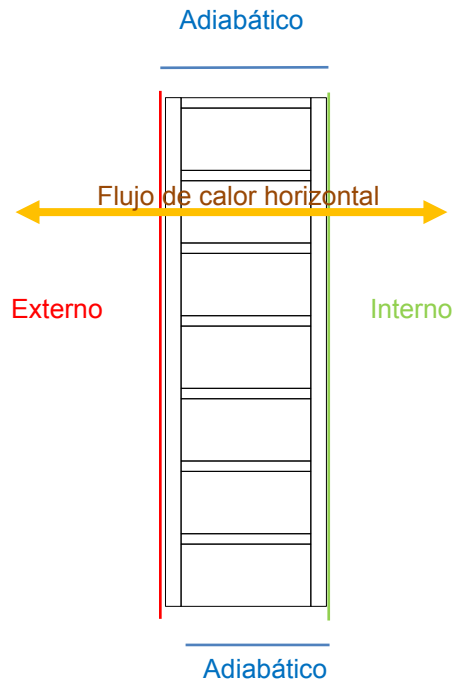


Fig. 33. Dibujo de AutoCAD, mostrando los bordes del muro de tabique rojo recosido, correspondiente a la prueba #1

Posteriormente se estableció para cada cálculo las condiciones de borde externo e interno, determinando para cada caso la resistencia térmica y la temperatura

interna y externa, así como la humedad relativa, utilizando para este último, un 50% en todos los casos. **Figura 34**

- Resistencia térmica (W/m^2K): 13 W/m^2K para borde externo y 8.1 W/m^2K para borde interno, en ambos casos para flujos horizontales. (valores obtenidos de la *NOM-020-ENER-2011*)
- Temperatura externa e interna ($7^{\circ}C$ o $25^{\circ}C$ según sea el caso para el exterior y $22.5^{\circ}C$ en ambos casos para la temperatura neutral interna)

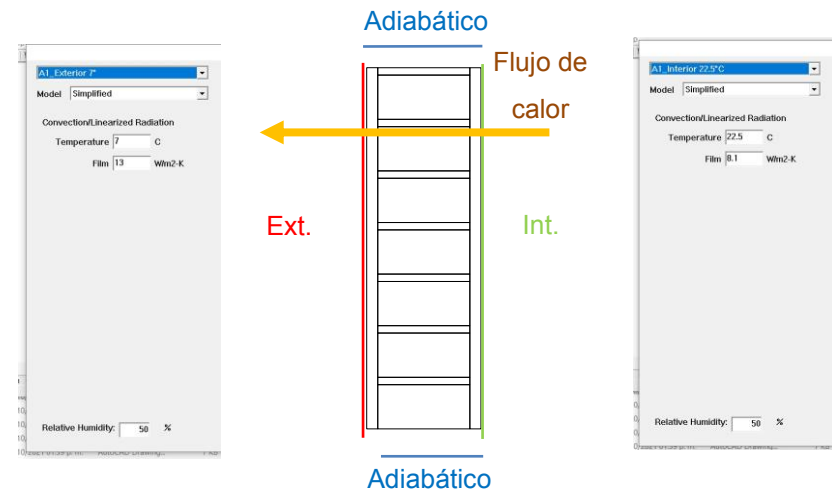


Fig. 34. Configuración de los bordes del muro de tabique rojo recosido, estableciendo los parámetros en THERM, correspondiente a la prueba #1 a $7^{\circ}C$.

Ya con los valores vaciados en el programa, se da paso a realizar la simulación térmica, tanto para temperaturas externas a 7°C y 25°C, dándonos una idea del flujo de calor y temperatura interior final a la que se llegaría con esa composición de envolvente. **Figura 35**

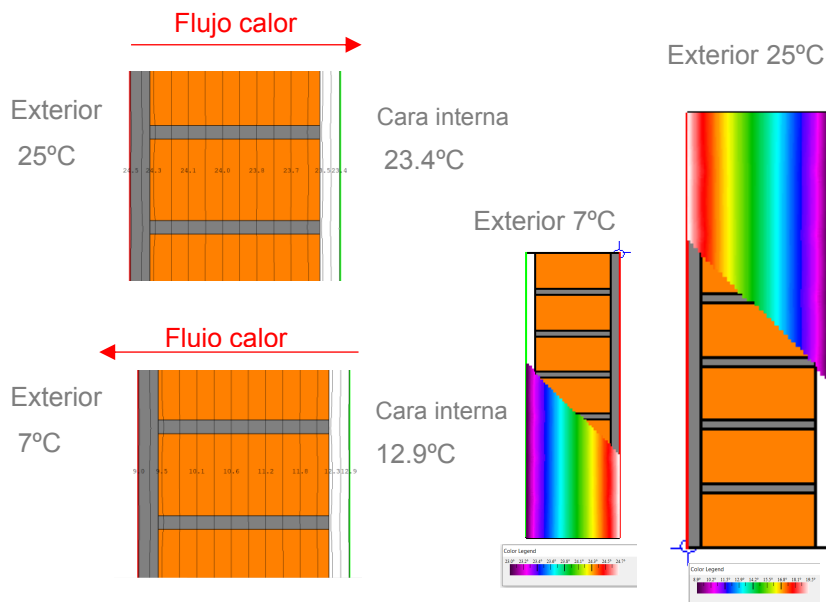


Fig. 35. Modelado térmico, del muro de tabique rojo recosido, correspondiente a la prueba #1 - ANEXO A

5.1.2 Observaciones

Para esta fachada, se propusieron 12 casos de estudio correspondiente a diferentes combinaciones de capas de materiales, las cuales se encuentran desglosadas en el Anexo A, permitiendo, con los resultados arrojados, (**Figura 36**) realizar una comparativa del desempeño térmico.

		Temp. max	Temp. min.
1.	Tabique rojo recosido	25°C → 23.4°C -1.6°C	7°C ← 12.9°C +5.9°C
2.	Concreto armado	25°C → 23.7°C -1.3°C	7°C ← 15.1°C +8.1°C
3.	Block hueco	25°C → 23.0°C -1.6°C	7°C ← 19.4°C +5.9°C
4.	Tabique rojo recosido + Poliestireno	25°C → 22.7°C -2.2°C	7°C ← 21.3°C +13.6°C
5.	Concreto armado + Poliestireno	25°C → 22.7°C -2.2°C	7°C ← 21.3°C +13.4°C
6.	Block hueco + Poliestireno	25°C → 22.7°C -2.2°C	7°C ← 21.5°C +13.4°C

7.	Tabique rojo recosido + Lana de vidrio	25°C	→	22.7°C	7°C	←	21.3°C
				-2.2°C			+13.6°C
8.	Concreto armado + Lana de vidrio	25°C	→	22.7°C	7°C	←	21.3°C
				-2.2°C			+13.4°C
9.	Block hueco + Lana de vidrio	25°C	→	22.7°C	7°C	←	21.5°C
				-2.2°C			+13.4°C
10.	Tabique rojo recosido + Celulosa	25°C	→	22.6°C	7°C	←	21.7°C
				-2.2°C			+13.6°C
11.	Concreto armado + Celulosa	25°C	→	22.6°C	7°C	←	21.6°C
				-2.2°C			+13.4°C
12.	Block hueco + Celulosa	25°C	→	22.6°C	7°C	←	21.7°C
				-2.2°C			+13.4°C

Fig. 36. Resumen de los resultados arrojados en el modelado térmico, indicando aquellos que se acercan de mejor manera a un óptimo confort térmico - ANEXO A

Una vez analizados los resultados del comportamiento térmico de la envolvente, se puede concluir que es

necesario la implementación de alguno de los aislantes, ya que es claro como con su uso, la temperatura interna de la envolvente se acerca más al confort térmico desando (22.5°C).

Por el contrario, se puede apreciar como las envolventes sin ningún tipo de aislante, en la simulación de 7°C exteriores, el calor interno se escapa al exterior sin ningún tipo de resistencia, dando como resultado, espacios muy fríos.

5.2 Evaluación energía embebida (*Hoja de cálculo*)

5.2.1 Planteamiento y procedimiento

En complemento con la evaluación térmica, se realizó una evaluación del desempeño energético, analizando el total de energía embebida (EE) y carbono equivalente (CE) de cada envolvente propuesta, es decir, la energía total consumida en el proceso de extracción, recolección, transporte, instalación y todos los aspectos que estén

involucrados en su ciclo de vida, traducidas en emisiones de CO₂.

Para lo anterior, se utilizó una hoja de cálculo, dentro de la cual, se vaciaron datos y propiedades de cada sistema propuesto, indicando el **espesor** (mm), el **porcentaje de sección** correspondiente a cada capa de material, el valor de **conductividad térmica** (W/mK), la **densidad** (kg/m³), y finalmente los **coeficientes de energía embebida (EE) y carbono equivalente (CE)** de cada material, obtenidos del ICE (Inventory of Carbon & Energy) versión 2.0

Las operaciones automatizadas que realiza la hoja de cálculo (celdas en color blanco) para llegar al resultado final son las siguientes:

- 1) **Para obtener el área (m²):** el porcentaje de sección expresado en decimales
- 2) **Para obtener el volumen (m³):** (Espesor/1000) (% de sección)
- 3) **Para obtener masa (kg):** (volumen)(densidad)

4) **Para obtener EE (MJ) ó CE (kgCO₂e)** de cada material: (EE)(masa) ó (CE)(masa)

Y finalmente se suman los resultados de EE y CE de cada elemento para obtener el total de cada sistema. . (Figura 37)

Línea Sostenible

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Área m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1		15	100%		1.00	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00		0.000
2		120	75%		0.75	0.090	0.00	0.00	0.00	0.00		0.000
3		120	25%		0.25	0.030	0.00	0.00	0.00	0.00		0.000
4		15	100%		1.00	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00		0.000
Reporte												
Espesor general		mm										
Valor U		W/m ² K										
Peso por m2		0.00 kg										
Total Energía Embebida		0.00 MJ										
Total Carbono equivalente		0.00 kgCO ₂ e										

Llenar sólo las celdas de color con valores

Fig. 37, Hoja de cálculo realizada por el Mtro. en Arq. Naoki Solano García, para el cálculo de la energía embebida y huella de carbono de envolventes, utilizando los coeficientes del ICE

Fachada sur

Anteriormente se observó que los 3 tipos de aislantes propuestos para esta fachada se desempeñan de manera similar, por lo que elegir uno por otro, realmente no afectaría el rendimiento térmico de la envolvente. Lo que

da paso a realizar la evaluación de energética de cada uno. (Figura 38)

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Poliestireno expandido	50	90%	0.04	0.90	0.045	13	0.56	88.60	51.83	2.550	1.462
2	Perfiles de acero galvanizado	50	10%	50.00	0.10	0.005	7830	39.15	29.50	1154.93	2.000	78.300
Reporte												
Espesor general		50 mm										
Valor U		0.71 W/m ² K										
Peso por m2		39.74 kg										
Total Energía Embebida		1206.76 MJ										
Total Carbono equivalente		79.79 kgCO ₂ e										

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Lana de vidrio	50	90%	0.03	0.90	0.045	13	0.56	28.00	16.38	0.190	0.111
2	Perfiles de acero galvanizado	50	10%	50.00	0.10	0.005	7830	39.15	29.50	1154.93	2.000	78.300
Reporte												
Espesor general		50 mm										
Valor U		0.6 W/m ² K										
Peso por m2		39.74 kg										
Total Energía Embebida		1171.31 MJ										
Total Carbono equivalente		78.41 kgCO ₂ e										

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Calulosa	100	85%	0.04	0.85	0.085	30	2.55	0.94	2.40	0.000	0.000
2	Bastidores triplay	100	15%	0.12	0.15	0.015	530	7.95	10.00	79.50	0.300	2.385
Reporte												
Espesor general		100 mm										
Valor U		0.43 W/m ² K										
Peso por m2		10.50 kg										
Total Energía Embebida		81.90 MJ										
Total Carbono equivalente		2.39 kgCO ₂ e										

Fig. 38, tabla de evaluación de energía embebida, valores principalmente arrojados por ICE (Inventory of Carbon & Energy), respaldado y complementadas por fuentes secundarias.

Otra decisión para tomar será la composición de los muros perimetrales del proyecto, ya que, al igual que en el caso de los aislantes, al hacer el modelado térmico, su comportamiento a simple vista es muy parecido, por lo que se evaluará la huella de carbono de cada uno. (Figura 39)

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Concreto armado	125	100%	2.10	1.00	0.125	2400	300.00	2.01	603	0.215	64.500
Reporte												
Espesor general		125 mm										
Valor U Concreto Armado		20 W/m ² K										
Peso por m2		300.00 kg										
Total Energía Embebida		603.00 MJ										
Total Carbono equivalente		64.50 kgCO ₂ e										

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Tabique rojo recosido	125	80%	1.20	0.80	0.100	1750	175.00	3.00	525.00	0.230	40.250
2	Concreto juntas	125	20%	0.23	0.20	0.025	2900	72.50	0.65	47.13	0.088	6.380
Reporte												
Espesor general		125 mm										
Valor U Tabique		10 W/m ² K										
Peso por m2		247.50 kg										
Total Energía Embebida		572.13 MJ										
Total Carbono equivalente		46.63 kgCO ₂ e										

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ e/kg	CO2 kgCO ₂ e
1	Block Hueco de concreto 10MPa	100	80%	0.24	0.80	0.080	1950	156.00	0.67	104.52	0.075	11.385
2	Concreto juntas	100	20%	0.23	0.20	0.020	2900	58.00	0.65	37.70	0.088	5.104
Reporte												
Espesor general		100 mm										
Valor U Block Hueco		12.5 W/m ² K										
Peso por m2		214.00 kg										
Total Energía Embebida		142.22 MJ										
Total Carbono equivalente		16.49 kgCO ₂ e										

Fig. 39, tabla de evaluación de energía embebida, valores principalmente arrojados por ICE (Inventory of Carbon & Energy), respaldado y complementadas por fuentes secundarias.

Fachada poniente

Para la fachada poniente y principal del proyecto, se implementarán una serie de estrategias para generar, tanto en invierno, como en verano, una temperatura interior adecuada. (Figura 40)

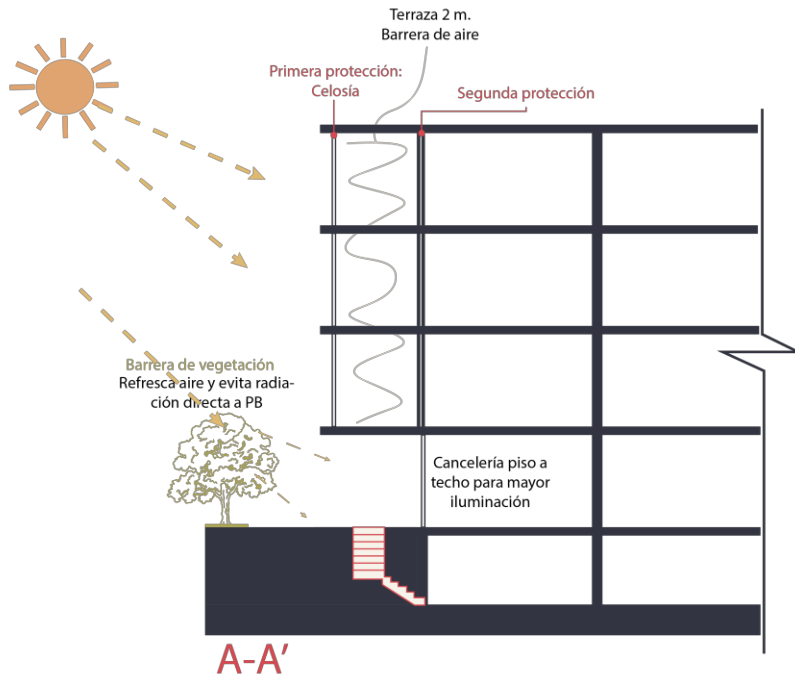
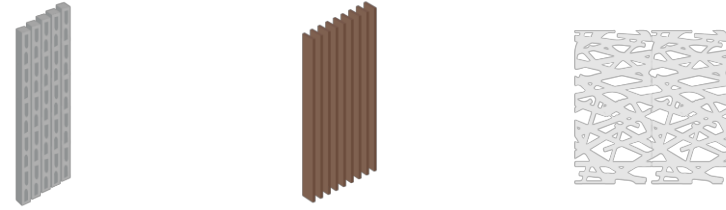


Fig. 40. Ilustración de elaboración propia, mostrando un primer acercamiento para la evaluación e implementación de estrategias en fachada poniente.

La primera estrategia, será implementar un **sistema de celosía** para proteger los niveles 1,2 y 3 de la radiación directa del sol durante la tarde de los meses más calurosos del año, para lo cual se plantea el uso de alguno de estos materiales:

- Block Hueco
- Madera
- Aluminio compuesto (Aluminio + poliestireno)



En este caso, no tendría ningún sentido, realizar la evaluación del comportamiento térmico, ya que únicamente fungirá como una barrera exterior que evite la entrada directa del sol, tanto a la terraza, como al espacio interior, por lo que el único factor a tomar en cuenta para la elección, serán las emisiones CO₂ producidas durante la vida útil de cada material propuesto. **(Figura 41)**

Los resultados de la evaluación fueron los siguientes:

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Área m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ -e/kg	CO2 kgCO ₂ -e
1	Madera	30	90%	0.15	0.90	0.027	530	14.31	5.70	81.57	0.300	4.293
Reporte												
Espesor general		30	mm									
Valor U		5	W/m ² K									
Peso por m2		14.31	kg									
Total Energía Embebida		81.57	MJ									
Total Carbono equivalente		4.29	kgCO ₂ -e									
ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Área m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ -e/kg	CO2 kgCO ₂ -e
1	Block Concreto Hueco 8MPa	20	60%	0.24	0.80	0.012	1950	23.40	0.60	14.04	0.063	1.474
Reporte												
Espesor general		20	mm									
Valor U		12.5	W/m ² K									
Peso por m2		23.40	kg									
Total Energía Embebida		14.04	MJ									
Total Carbono equivalente		1.47	kgCO ₂ -e									

Fig. 41. (1/2) Tabla de evaluación de energía embebida, valores principalmente arrojados por **ICE (Inventory of Carbon & Energy)**, respaldado y complementadas por fuentes secundarias. **46**

ID	Material	Espesor mm	Sección %	Valor λ W/mK	Area m ²	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg	EE/kg MJ/kg	EE MJ	CO2/kg kgCO ₂ -e/kg	CO2 kgCO ₂ -e
1	Aluminio	0.8	12%	247	0.12	0.000	2700	0.26	155.00	40.18	8.240	2.138
2	Poliestireno	3.2	48%	0.04	0.48	0.002	10	0.02	86.40	1.33	2.710	0.042
Reporte												
Espesor general		0.8	mm									
Valor U		0.3	W/m ² K									
Peso por m2		0.27	kg									
Total Energía Embebida		41.50	MJ									
Total Carbono equivalente		2.18	kgCO ₂ -e									

Fig. 41. (2/2) Tabla de evaluación de energía embebida, valores principalmente arrojados por *ICE (Inventory of Carbon & Energy)*, respaldado y complementadas por fuentes secundarias.

5.2.2. Observaciones

Fachada sur

Tras conocer la procedencia de cada tipo de aislante, nos podemos dar una idea de cuál tendría un menor impacto en el medio ambiente, y el resultado de la prueba de Energía Embebida (EE) lo respalda.

Se demostró que 1m² de la Celulosa con un espesor de 100mm genera únicamente **79.50 MJ** de EE, mientras que el aislante de origen mineral genera casi el doble y con la mitad del espesor: 50mm, **(1171.31 MJ)** y finalmente el poliestireno expandido, es el que el que más emisiones de

CO₂ produce, ya que por m², genera, **1206.76 MJ**, también en 50mm de espesor, **siendo la Celulosa el material elegido para aislar los últimos 2 niveles del proyecto.**

Por otro lado, en la evaluación de los muros perimetrales, se denotan mayores cantidades de energía embebida tanto en el uso del concreto armado (**603 MJ**), como en el tabique, (**572.13 MJ**) a comparación del block hueco (**142.22 MJ**).

El consumo de energía en la implementación del tabique y concreto armado es aproximadamente 4 veces mayor al consumo del block; esto podría deberse a varios factores como la composición de cada uno, las dimensiones y el peso total; por ejemplo, el tabique tiene una medida de 6cm de alto, 12cm de ancho y 24cm de largo, mientras que el block hueco de 20 x 10 x 40 cm, dimensiones que, tanto en alto como en largo, superan por más del doble a las del tabique, por lo que se requerirá menos material, y por ende

menos producción y trasportación para realizar la totalidad de la obra.

Por otro lado, parece lógico que el material con mayor cantidad de emisiones de carbono genera sea el concreto armado, esto por las cantidades de acero que se requiere para su elaboración.

Cabe destacar que estos valores representan únicamente 1m³ de la envolvente, por lo que, si lo multiplicamos por la cantidad de metros reales a construir, esta diferencia, que de por sí, ya es considerable, se irá elevando, cada vez más y más, por lo que la decisión final, sería optar por el uso del block hueco de concreto.

Configuración final envolvente fachada sur:

Block hueco de concreto + Celulosa proyectada.

Fachada poniente

El orden de los materiales que más emisiones de CO₂ generarían es el siguiente: Madera (**81.57 MJ**), Panel de aluminio compuesto (**41.50 MJ**) y Block hueco de concreto (**14.04 MJ**)

Uno pensaría que la madera, al ser el material que en primera instancia tiene el valor más alto en cuanto al total de energía embebida, debería ser descartado al momento, sin embargo, los valores y parámetros para medir la madera son muy variantes, ya que depende del tipo, del lugar de estudio y método de análisis, del proceso de extracción y tratamiento, por lo que pensar en un valor general, parecería una decisión errónea, comparado con el block de concreto y panel de aluminio compuesto que son elementos más estandarizados y sin tantas variaciones entre los distintos productores.

Ahora bien, si se analiza el ciclo de vida completo de estos materiales, (aspecto fundamental para la estimación de

emisiones de CO₂ generadas al medio ambiente), podemos darnos cuenta que la madera, contrario a los demás materiales, viene de una fuente natural y renovable, que como es bien sabido, a lo largo de toda su vida absorbe el CO₂ de la atmósfera, almacena carbono y produce oxígeno, ciclo que no termina al ser talado, ya que permanecerá con todo ese carbono almacenado durante toda su vida útil y hasta que empiece su proceso de descomposición, **“un árbol es capaz de almacenar 15 veces el carbón que se gasta como energía en todo su proceso de transformación para convertirlo en elemento de construcción”** (Khandelwal, 2021)

Por lo que se puede asumir, que, a pesar de lo perjudicial que talar un árbol parecería, si esta madera proviene de empresas y productores responsables que se ocupen de la reforestación de dichos árboles talados, existe un beneficio importante de carbono para el medio ambiente.

Otro aspecto importante a analizar en cuestión de diseño sería el tratamiento de la fachada en época de frío, ya que

la celosía funciona a la perfección en verano, evitando la entrada directa del sol que pudiera calentar indeseablemente el espacio interior, por el contrario, en invierno, esos últimos rayos de Sol nos ayudarían mucho para tratar de calentar el mismo espacio.

Tras esta premisa, lo que se plantea es una celosía movable, que permita ser modificada manualmente según la necesidad y característica del entorno inmediato.

A continuación, se muestra la función de la celosía en verano (**Figura 42**) y en invierno (**Figura 43**)

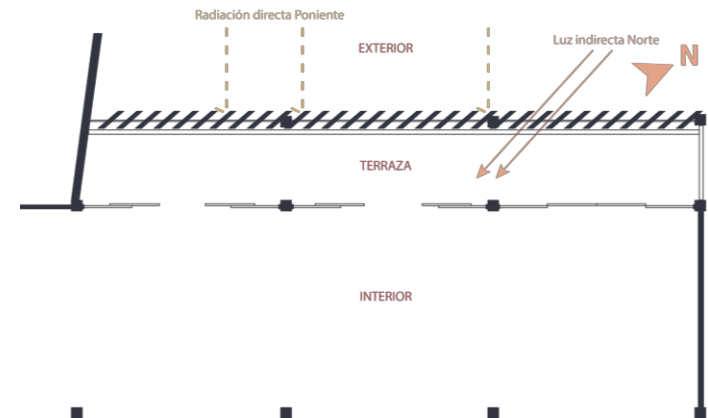


Fig. 42. Diagrama de elaboración propia, mostrando la función de la celosía en verano.

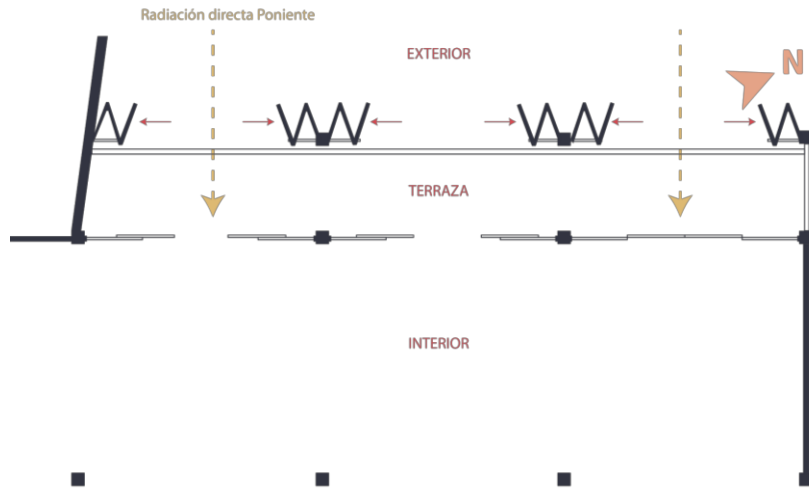


Fig. 44. Comportamiento térmico del **vidrio común** de 4mm, a 25°C, estableciendo una temperatura Interna de 22.5°C

Para crear la división entre el espacio interior y la terraza, se propone cancelería corrediza de **dobles acristalamientos**, esto, en pro de un trabajo energético más eficiente. **(Figura 44)**

El vidrio es un gran conductor de calor, por lo que el utilizar vidrio convencional de una sola capa, permitirá fácilmente la ganancia y pérdida constante de calor dentro de la

envolvente, dando como resultado la necesidad de utilizar una mayor cantidad de energía para mantener una temperatura agradable. (European Acústica, 2019)

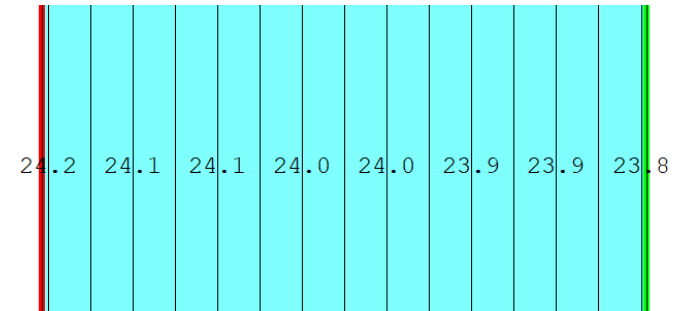


Fig. 43. Diagrama de elaboración propia, mostrando la función de la celosía en invierno.

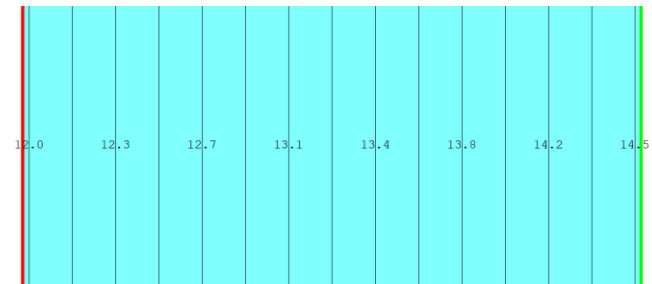


Fig. 44. Comportamiento térmico del **vidrio común** de 4mm, a 7°C, estableciendo una temperatura Interna de 22.5°C

Es por ello que, para evitar este fenómeno, se optará por instalar un doble acristalamiento (**Figura 41**), que, gracias a su composición de 2 vidrios, separados por una cámara de aire deshidratado, no solamente beneficiaría al comportamiento energético del edificio, si no que, también fungiría como un excelente aislante acústico.

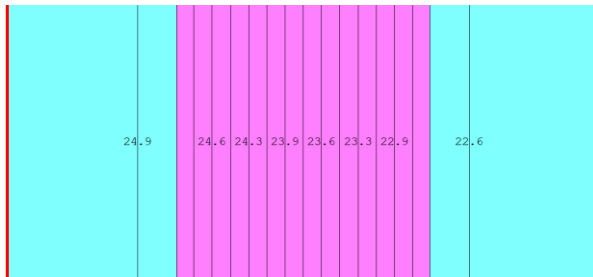


Fig. 45. Comportamiento térmico de cancelería con **doble acristalamiento de 4mm y cámara de aire de 6mm**, a 25°C, estableciendo una temperatura Interna de 22.5°C

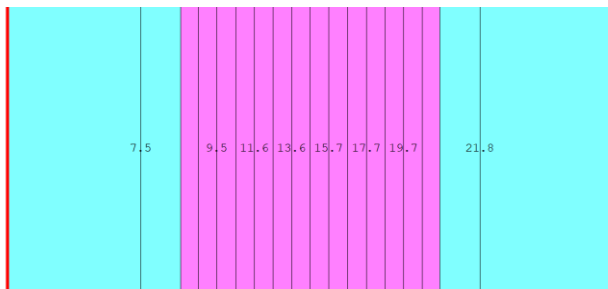


Fig. 45. Comportamiento térmico de cancelería con **doble acristalamiento de 4mm y cámara de aire de 6mm**, a 7°C, estableciendo una temperatura Interna de 22.5°C

En la siguiente imagen comparativa, se puede ver la diferencia del flujo térmico en una envolvente con vidrio común de 4mm y con doble acristalamiento de 4mm con una cámara interna de aire de 6mm (**Figura 46**), se puede observar como en la primera imagen, el calor no cuenta con ningún tipo de resistencia, mientras que la segunda demuestra como la cámara de aire funge como aislante, evitando que el calor atraviese la envolvente con tanta facilidad.

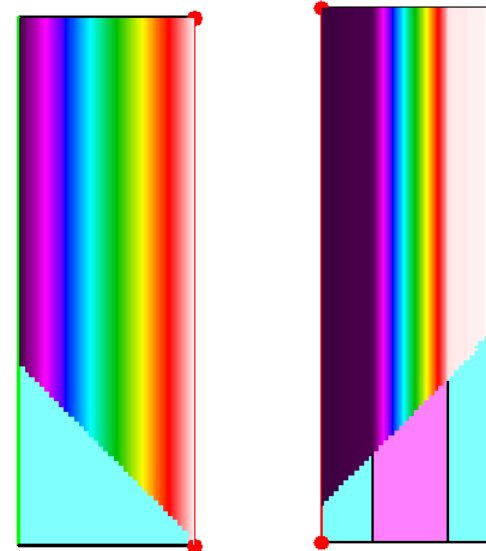


Fig. 46. Flujo térmico en vidrio común (izquierda) y doble acristalamiento (derecha)

Configuración final fachada poniente

Celosía móvil de madera + Cancelería de doble acristalamiento

5.3 Práctica de laboratorio “Medición de la emitancia térmica”

5.3.1 Planteamiento y procedimiento.

Como complemento de la experimentación digital, se realizó dentro del Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, la práctica denominada “Medición de la emitancia térmica”, experimentando con las propiedades termofísicas de distintos materiales, exponiéndolos dentro de las mismas condiciones ambientales a una misma fuente de luz infrarroja y realizando las mediciones pertinentes cada determinado tiempo tanto a la cara expuesta directamente a la energía (exterior), como a la cara opuesta (interior).

Tras los resultados arrojados con el programa de modelado energético, THERM, comparando el comportamiento del concreto, tabique y block, sin ningún tipo de aislante y expuestos a temperaturas de 25°C y 7°C, se pudo concluir que el material con el mejor desempeño buscando acercarse al confort térmico interior, en ambos escenarios, fue el block hueco, ya que, en el supuesto de una temperatura exterior de 25°C, en la cara interna, se detectaron 23°C, por 23.4°C del tabique y 23.7°C del concreto, teniendo el mismo resultado favorable para un clima frío de 7°C, manteniendo una temperatura Interior de 19°C, contra los 15.1°C del concreto y 12.9°C del tabique.

(Figura 47)

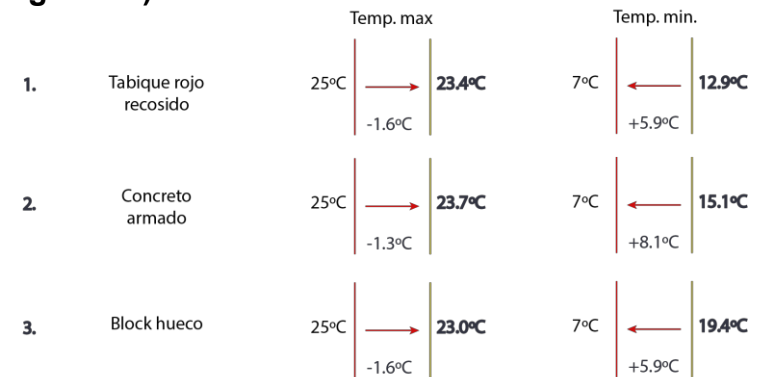


Fig. 47. Resumen sobre los resultados del modelado térmico THERM para el tabique rojo recosido, concreto armado y block hueco

Con esta práctica, se busca analizar en condiciones de laboratorio el desempeño térmico de cada material, comparando los resultados con lo arrojado en THERM.

Procedimiento (Desglose de resultados en ANEXO B)

Para la creación y realización de la práctica, se contó con la ayuda del *M. en Ing. Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez* y la supervisión del *M. en Arq. Naoki Solano García*, utilizándose las maquetas de los distintos materiales de construcción que ya se encontraban dentro del laboratorio. **(Figura 48)**

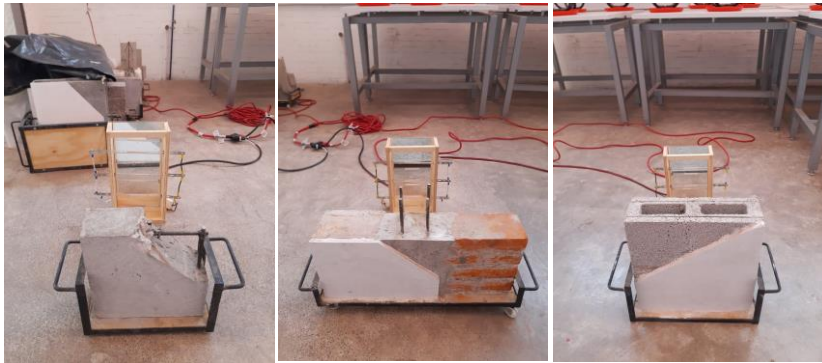


Fig. 48. Maquetas de estudio, de izquierda a derecha: concreto armado, tabique roio recosido, block hueco.

Antes de comenzar, se realizó una tabla para vaciar los datos y resultados obtenidos a lo largo de toda la práctica. Se estableció que se tomarían las mediciones de la cara interna y externa en 4 ocasiones, en lapsos de una hora. Durante las primeras 2 horas, con la lámpara infrarroja encendida y las 2 horas restantes, con la lámpara apagada, permitiéndonos conocer su desempeño en ambas condiciones. **(Figura 49)**

	1	2	3
	Concreto arm.	TRR	Block hueco aem.
Temperatura Inicial			
Hr 1 enc. Ext			
Int			
Hr 2 enc. Ext			
Int			
Hr 3 apag. Ext			
Int			
Hr 4 apag. Ext			
Int			
Temp. amb.			

Fig. 49. Tabla inicial de vaciado, propuesta para la práctica **53**

Como siguiente pasó, se instaló un registrador de datos de microclima (**Figura 50**) para poder conocer durante cada medición la temperatura ambiente y humedad del espacio donde se realizó la prueba y poder tener un control sobre los resultados obtenidos.



Fig. 50. Registrador de datos de microclima

Se inició colocando y encendiendo una lámpara de luz infrarroja (la cuál simulará la radiación solar) a 30cm de

distancia de una de las caras de cada maqueta, tomando así, el rol de la cara exterior. (**Figura 51**)

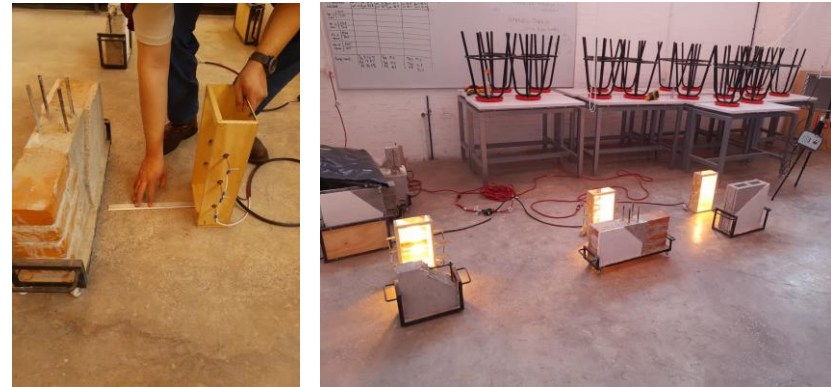


Fig. 51. Colocación de lámparas a 30cm de distancia de cada maqueta de estudio

Como se mencionó anteriormente, durante cada hora, se realizaron 2 mediciones; con un termómetro se obtuvo la temperatura y con una cámara termográfica, se realizaron termografías para identificar, dónde se concentraba el calor, ambas mediciones, se realizaron en cada una de las caras (interna y externa).

Se registraron un total de 5 escenarios;

- **Hr. 0:** Resultados a temperatura ambiente inicial.
- **Hr. 1:** Tras una hora de haber estado expuestos a la luz infrarroja
- **Hr. 2:** Tras dos horas de haber estado expuestos a la luz infrarroja
- **Hr. 3:** Tras una hora de haber dejado de ser expuestos a la luz infrarroja
- **Hr. 4:** Tras dos horas de haber dejado de ser expuestos a la luz infrarroja

Para cada escenario se desglosaron los resultados de la siguiente manera: **(Figura 52 y 53)**

		Concreto armado		Tabique tejosidoso		Block hueco			
		C/ acabado	S/ acabado	C/ acabado	S/ acabado	C/ acabado	S/ acabado		
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 21.6°C	Humedad relativa 6.9%
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C		

Fig. 52. Tabla desglosada de temperaturas Hr.0 – ANEXO B

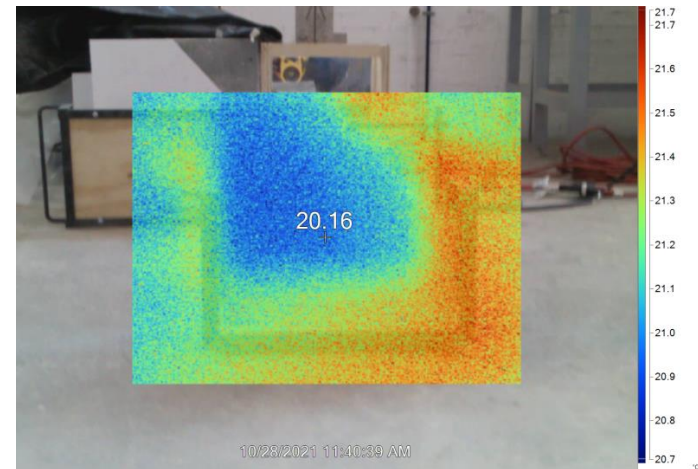
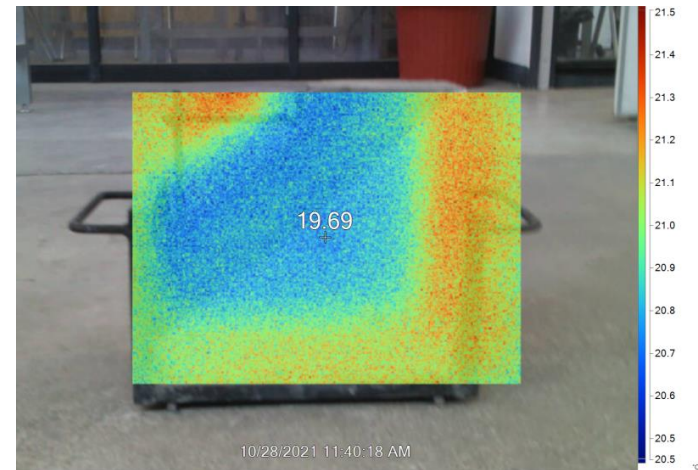


Fig. 53. Termografías correspondientes a la **Hr.0** del concreto armado: arriba, cara externa; abajo, cara interna. – ANEXO B

5.3.2. Observaciones

- Todos cuentan con propiedades masa térmica

Con los resultados arrojados, se comprueba que los 3 materiales cuentan con características de **masa térmica**, es decir, que absorben la energía del sol durante el día, la almacenan y la van liberando de forma paulatina durante la noche, este fenómeno, se nota claramente durante las **horas 2 y 3 (figura 54)**, periodo de tiempo en el que se apagaron las lámparas y por ende la cara externa la cual estaba expuesta directamente a la radiación, comenzó a enfriarse, sin embargo **la energía seguía transportándose** a través de los materiales, y como resultado, en todos los casos, sin excepción, en la medición de la hora 3, la cara interior, **siguió aumentando de temperatura.**

Temperatura	Cara	Concreto armado		Tabique de ojo de vaca		Block hueco		Tem. Amb.	Humedad Relativa
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado		
inicial	Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	1.6°C	6.9%
	Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	2.3°C	
Hr. 1	Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	2.3°C	
	Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	3.3%	
Hr. 2	Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	2.7°C	
	Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	2.8%	
Hr. 3	Ext.	24.4°C	24.8°C	25.8°C	24.7°C	26.5°C	24.7°C	2.3°C	
	Int.	23.9°C	24.1°C	23.3°C	23.7°C	23.3°C	23.4°C	3.5%	
Hr. 4	Ext.	23.8°C	23.8°C	24.6°C	24°C	24.2°C	23.4°C	2.5°C	
	Int.	23.5°C	23.6°C	23.8°C	23.3°C	23.3°C	23.1°C	1.4%	

Fig. 54. Tabla resumen de resultados

- Tabique, con mayor retención de energía

Otra observación que se puede realizar es que durante la **hora 4**, tras 2 horas de haber retirado las lámparas infrarrojas, el único material, en el que las **caras interiores seguían aumentando de temperatura**, fue el tabique, (**figura 55**) con lo que se puede concluir que éste, comparado con el concreto armado y el block hueco, goza de una mayor capacidad de retención de calor.

Temperatura	Cara	Concreto armado		Tabique de ojo de vaca		Block hueco		Tem. Amb.	Humedad Relativa
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado		
inicial	Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	1.6°C	6.9%
	Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	2.3°C	
Hr. 1	Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	2.3°C	
	Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	3.3%	
Hr. 2	Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	2.7°C	
	Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	2.8%	
Hr. 3	Ext.	24.4°C	24.8°C	25.8°C	24.7°C	26.5°C	24.7°C	2.3°C	
	Int.	23.9°C	24.1°C	23.3°C	23.7°C	23.3°C	23.4°C	3.5%	
Hr. 4	Ext.	23.8°C	23.8°C	24.6°C	24°C	24.2°C	23.4°C	2.5°C	
	Int.	23.5°C	23.6°C	23.8°C	23.3°C	23.3°C	23.1°C	1.4%	

Fig. 55. Tabla resumen de resultados

- Block hueco más sensible a cambios de temperatura y con mayor retardo

Respondiendo a los resultados arrojados por THERM, se puede afirmar que el block es el que produce un mayor retardo de energía, y que además es más sensible a los cambios de temperatura, esto se puede observar durante la **primera hora**, mientras el **concreto y el tabique apenas están llegando a los 30°C**, el **block ya se encuentra en 33°C** y para la segunda hora, entre 35°C y 36°C, mientras los otros 2 no pasan de 32.3°C, (**figura 57**) y lo mismo sucede al apagar las lámparas, la temperatura de la cara exterior se reduce con mayor velocidad, comparada con los otros materiales, y a pesar de esto, **la temperatura de la cara interior, no sufre dichas alteraciones**, ya que en todo momento, la temperatura se mantiene dentro de los mismos rangos que los demás, en ningún momento, teniendo diferencias mayores a 1°C.

		Concreto armado		Tabique de ojo de bueco		Block hueco		
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 1.6°C
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	Humedad relativa 6.9%
Hr. 1	Cara Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	Tem. Amb. 2.3°C
	Cara Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	Humedad relativa 3.3%
Hr. 2	Cara Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	Tem. Amb. 2.7°C
	Cara Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	Humedad relativa 2.8%
Hr. 3	Cara Ext.	24.4°C	24.8°C	25.8°C	24.7°C	26.5°C	24.7°C	Tem. Amb. 2.3°C
	Cara Int.	23.9°C	24.1°C	23.3°C	23.7°C	23.3°C	23.4°C	Humedad relativa 3.5%
Hr. 4	Cara Ext.	23.8°C	23.8°C	24.6°C	24°C	24.2°C	23.4°C	Tem. Amb. 2.5°C
	Cara Int.	23.5°C	23.6°C	23.8°C	23.8°C	23.3°C	23.1°C	Humedad relativa 1.4%

Fig. 57. Tabla resumen de resultados

- Acero, gran conductor de calor

Esto, si bien es una observación un tanto lógica, es interesante como en la práctica, se ve claramente con ayuda de la cámara termográfica, las zonas que presentan mayores niveles de energía, siento éstas, las zonas donde se encuentra el acero, como en el castillo del muro de tabique, o incluso en las bases de las maquetas, (**figura 58 y 59**) aspecto que se deberá tomar en cuenta a la hora de proponer este material en cualquier tipo de sistema constructivo.

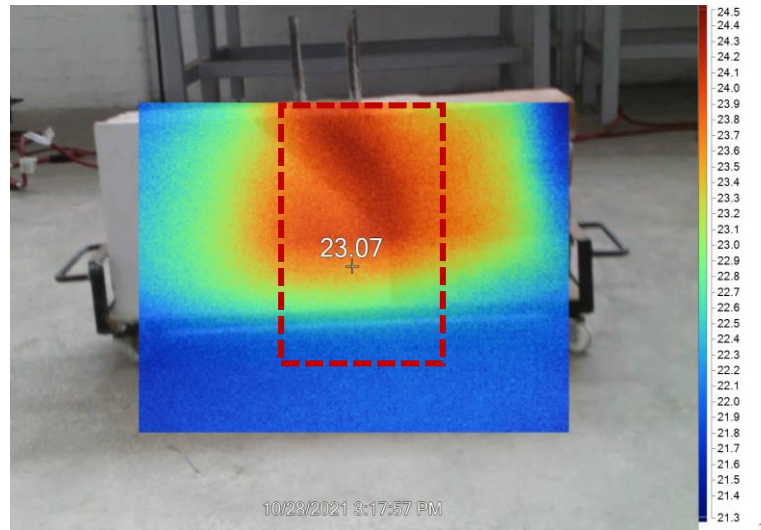


Fig. 58. Termografía **hr.3** tabique cara interna, mostrando la diferencia de temperatura al centro de la maqueta (varilla de acero)

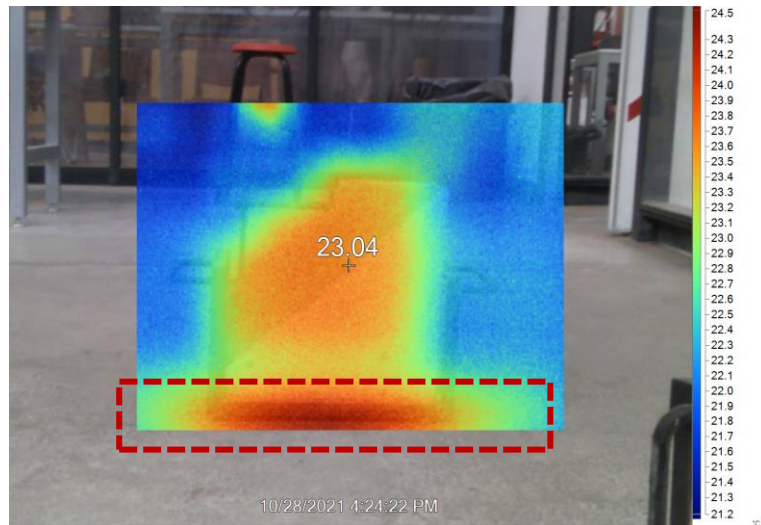


Fig. 59. Termografía **hr.4** concreto armado: cara externa, mostrando la diferencia de temperatura en la base (acero)

A lo largo de la práctica se tuvieron muchas discusiones sobre aspectos que se podrían modificar para un cálculo más preciso, como el realizar maquetas a mayor escala, evitar el uso de bases de acero que pudieran disipar el calor, el utilizar más lámparas en una sola maqueta para que la distribución del calor fuera más uniforme, entre otros aspectos, sin embargo, la práctica fue muy reveladora, ya que, al final de cuentas, las 3 maquetas, fueron expuestas a las mismas características ambientales y de calor, por lo que las conclusiones realizadas son congruentes y bien se pudieran extrapolar a una mayor escala para tomarse en cuenta a la hora de concebir un espacio.

6. Proyecto Arquitectónico – Fase Final

6.1 Programa Arquitectónico

El programa arquitectónico propuesto para cada nivel, define sus actividades dependiendo de la cantidad de ruido que se piensa se puede generar, (**figura 60**) siendo planta baja, la zona más caótica y de mayor movimiento, donde se proponen áreas de reposo y socialización, y de esta forma, los decibeles generados por el tipo de actividades van descendiendo conforme se van ganando niveles, hasta llegar al punto máximo, al tercer nivel, donde las actividades de estudio y trabajo individual serán las que tienen mayor peso.

Tercer Nivel

- Trabajo individual / Estudio / Talleres

Segundo Nivel

- Trabajo informático / PC Puma

Primer Nivel

- Trabajo grupal / Espacios abiertos

Planta baja

- Socialización / Reposo / Trabajo grupal

Sótano

- Estacionamiento

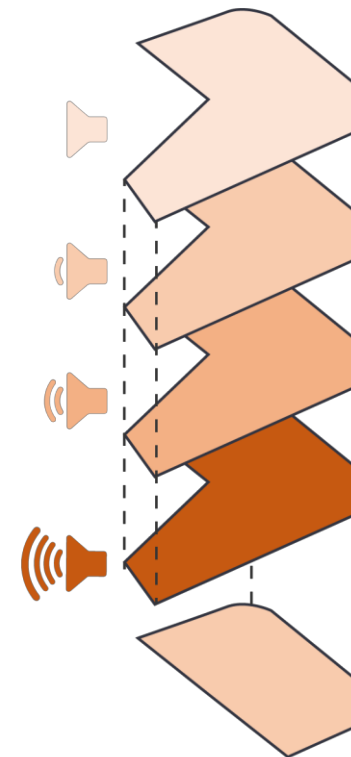


Fig. 60. Diagrama representativo de la cantidad de ruido esperado en cada nivel.

Se realizó un programa con los espacios planeados para cada nivel, con un estimado de m² que se requerirá para llevarse a cabo, y clasificando los espacios en fisionómico, secundario, administrativo y de servicio, dependiendo las características y función dentro del inmueble. **(figura 61)**

Además, gracias al estudio de m², se confirma que el proyecto se encuentra dentro de la norma, ya que se estarán contemplando aproximadamente 620m² de desplante, y 2,750m² de construcción, por debajo de los 3,101m² permitidos por SEDUVI.

	Actividades	Espacio	m2 aprox.	m2 x nivel
Sótano	Estacionamiento	8 cajones 2.2 x 4.2	311m2	270 m2
Planta Baja	Socialización / Reposo / Trabajo Grupal	Plaza de acceso	30m2	620 m2
		Estacionamiento bicicletas	20m2	
		Control de acceso	30m2	
		Foro adaptable	75m2	
		Salas de reposo	/	
		Papelería	9m2	
		Cocineta	15m2	
		Sanitarios	20m2	
		Bodega	20m2	
		Jardín	200m2	
Primer Nivel	Trabajo Grupal / Espacios 100% abiertos	Oficinas	15m2	520 m2
		Terraza Norte	32m2	
		Terraza Oriente	27m2	
		Terraza Poniente	45m2	
		Sanitarios	20m2	
		Bodega	6m2	
		Módulos adaptables para espacio grupal (gabinetes / mesas)	/	
Segundo Nivel	Trabajo informático / PC puma	Oficina informática	30m2	520 m2
		Cubículos grupales	10m2 c/u	
		3 Terrazas	104m2	
		Muebles fijos con equipo	/	
		Módulos para trabajo indiv.	/	
		Sanitarios	20m2	
		Bodega	6m2	
Tercer Nivel	Trabajo individual / Estudio / Talleres	Cubículos individuales	4m2 c/u	520 m2
		3 Terrazas	104m2	
		Módulos adaptables estudio individual	/	
		Salones multifuncionales	25m2 c/u	
		sanitarios	20m2	
		bodega	6m2	

■ Espacio fisionómico
 Secundario
 Administrativo
 Servicio

Fig. 61. Tabla con propuesta de programa arquitectónico

6.2 Anteproyecto

Parte de las conclusiones de este trabajo de investigación, llega con la elaboración de un anteproyecto arquitectónico.

La propuesta arquitectónica final, se logró gracias a las decisiones tomadas tras la evaluación de los resultados de cada una de las experimentaciones, unificándose con los diversos análisis (sitio, contexto, programa, etc.) e intenciones estéticas y funcionales buscadas desde un inicio.

El proyecto, utilizó estrategias de arquitectura pasiva y una selección de materiales para las envolventes que garantizan un óptimo desempeño energético y térmico (véase conclusiones de sección “5. Experimentaciones”), logrando, a su vez, satisfacer las necesidades de uso de los universitarios.

- Planos del anteproyecto en ANEXO C.



Render de la fachada principal del proyecto

7. Recomendaciones

A lo largo de este documento, se realizaron ejercicios que conllevan otra visión sobre el método de elección de las envolventes, en miras hacia un diseño con bajas emisiones de CO₂.

Se logró evaluar el comportamiento térmico y los coeficientes de energía embebida de distintas envolventes, resultados, que, tomando como base un centro estudiantil, bajo el contexto del COVID-19, plantearon una propuesta arquitectónica integral.

Los resultados de las experimentaciones demostraron que tanto el block hueco, como el tabique y el concreto armado, cuentan con características de masa térmica, evidenciando la importancia de las propiedades termofísicas de los materiales.

El rendimiento térmico de los 3 materiales mencionados en el párrafo anterior es similar, sin embargo,

comparándolos, la energía utilizada implementando el block, es aproximadamente 4 veces menor.

Por otro lado, se demostró la importancia del uso y elección de aislantes, para acercarse al óptimo confort térmico en temperaturas extremas.

El desempeño térmico de las 3 opciones de aislante fue similar, observándose una clara ventaja con el uso del aislante de origen natural, ya que, al producirlo, se gasta 26 veces menos energía comparado con el de origen mineral y aproximadamente 40 veces menos que el de origen sintético.

De igual forma, se destacaron las ventajas que tiene el uso de la madera, ya que, a pesar de que, en la prueba de energía embebida, se apreciaba un mayor gasto comparándola con la producción del block hueco, al ser un material natural y renovable, cuenta con propiedades que hacen decantarse por su uso.

Estos resultados, resultan interesantes y muy ilustrativos, ya que, en las experimentaciones, todos se encontraban en las mismas condiciones ideales de estudio, por lo que los resultados bien se podrían extrapolar a escalas mayores y utilizarse como antecedente a la hora de elegir qué material utilizar, dependiendo las condiciones de temperatura y humedad existentes.

Generalmente a la hora de proyectar, la elección de los materiales se realiza por sus condiciones mecánicas, por el costo o los objetivos estéticos, sin embargo, en muchas ocasiones no nos cuestionamos el impacto ambiental que estas decisiones tienen sobre el planeta, por lo que es importante realizar este tipo de evaluaciones térmicas y energéticas, obteniendo resultados que realmente conduzcan a un diseño sostenible con bajas emisiones de CO₂.

8. Referencias

Auliciems A. & Szokolav S. V. (1997) “Thermal Confort, Passive and Low Energy Architecture International design tools and Techniques”, PLEA : Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland Brisbane.

Cengel, Y. A. y Ghajar, A. J. (2011). “Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones”, cuarta edición, McGraw-Hill Interamericana editores, S.A. de C.V.

COEES (2015) “Eficiencia Energética, ¿Qué es?” Recuperado de <https://coees.sonora.gob.mx/eficiencia-energetica/contenido-eficiencia/eficiencia-energetica-que-es.html> (consultada el 2 de diciembre del 2021)

Delgado, Diana. (Mayo 2017) “El reto de llegar en bici” Revista “Másformás” edición 11 de mayo 2017.

European Acústica (Jul. 2019). Ventajas del doble acristalamiento. Recuperado de <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/ventajas-del-doble-acristalamiento> (consultada el 24 de noviembre del 2021)

Gaceta UNAM. (Nov. 2020) “Ya son siete los Centros de Acceso PC PUMA” Recuperado de

<https://www.gaceta.unam.mx/aumentaron-a-siete-los-centros-pc-puma/> (consultada el 5 de diciembre del 2020)

Garrocho, Carlos (2011) “Población flotante, población en movimiento: conceptos clave y métodos de análisis exitosos” : Consejo Nacional de Población: El Colegio Mexiquense, A.C

Grupo SIMA. (Ago. 2018). “Tipos de materiales aislantes”. Recuperado de <https://passivhaus-paee.com/tipos-de-materiales-aislantes/> (consultada el 25 de septiembre del 2021)

HMC Architects (Ago. 2017) “*Student Center(ed) Is the Student Union the Key to Retention?*” Recuperado de <https://hmcarchitects.com/news/student-centered-student-union-key-retention/> (consultada el 29 de marzo del 2021)

(PUCC) Pontificia Universidad Católica de Chile, (2017). “Dioxido de Carbono (CO₂). Recuperado de <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/dioxido-de-carbono-co2> (consultada el 20 de noviembre del 2021)

Wong, Alma Paola, (Sept. 2020) “UNAM inicia clases... y miles de alumnos no tienen internet ni computadoras”. Recuperado de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/unam->

regresa-clases-miles-alumnos-internet-computadora (consultada el 9 de enero del 2021)

Portal de Estadísticas Universitarias. (Sept. 2021). “La UNAM en números”. Recuperado de <http://www.estadistica.unam.mx/numeralia/> (consultada el 23 de noviembre del 2021)

HMC Architects. (Ago. 2020). “ADAPTABILITY AND FLEXIBILITY, Can public spaces adapt to a new COVID-19 normal?” Recuperado de https://61ccv1s4h9i2otvw249pcyxh-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/COVID19_CIVIC_Adaptability_Aug2020.pdf (consultada el 5 de diciembre del 2020)

Huellas de arquitectura. (Sept. 2018) “*Medidas activas y pasivas en la arquitectura bioclimática.* Huellas de arquitectura.” Recuperado de <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/09/12/medidas-activas-y-pasivas-en-la-arquitectura-bioclimatica/> (consultada el 07 de mayo del 2020)

INEGI. (2017) “*Encuesta Origen-Destino en hogares de la ZMVM*” Recuperado https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/eod/2017/doc/resultados_eod_2017.pdf (consultada el 22 de marzo del 2021)

INFAED. (s.f.) “Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México Distrito Federal- Delegación de

Gustavo A. Madero” Sitio web: Recabado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09005a.html> (consultada el 30 de septiembre del 2021)

ISO. (s.f.) “*Standars*” Recuperado <https://www.iso.org/standards.html> (consultada el 08 de enero del 2022)

ISO. (2006) “*ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*” Recuperado <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en> (consultada el 08 de enero del 2022)

Khandelwal, Surabhi (Ene. 2021). “Wooden Revolution in Construction”. Recuperado de <https://www.bloc.nl/bloc-notes/wooden-revolution-in-construction/> (consultada el 24 de noviembre del 2021)

Lechner, Norbert (2015) “Heating, Cooling, Lighting, Sustainable Design Methods for Architects” cuarta edición.

SEDUVI. (s.f.) (sin fecha de publicación). *Normatividad Uso de Suelo.* Recuperado de http://ciudadmx.cdmx.gob.mx:8080/seduvi/fichasReporte/fichaInformacion.jsp?nombreConexion=cAlvaroObregon&cuentaCatastral=054_836_03&idDenuncia=&ocultar=1&x=-99.190098&y=19.3390865&z=0.5 (consultada el 20 de septiembre del 2020)

Sisternes, García Ángela (Jul. 2021) “La energía embebida de los materiales” Recuperado de <https://retokommerling.com/energia-embebida-materiales/> (consultada el 01 de diciembre del 2021)

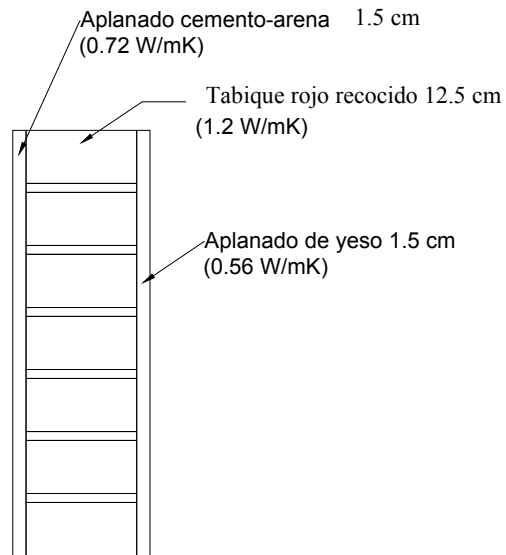
UNEP (Dic. 2019) “*Global Status Report for Buildings and Construction Sector.*” Recuperado de <https://www.unenvironment.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector> (consultada el 26 de abril del 2021)

UNEP (Oct. 2021) “*Emissions Gap Report 2021.*” Recuperado de <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021> (consultada el 20 de abril del 2021)

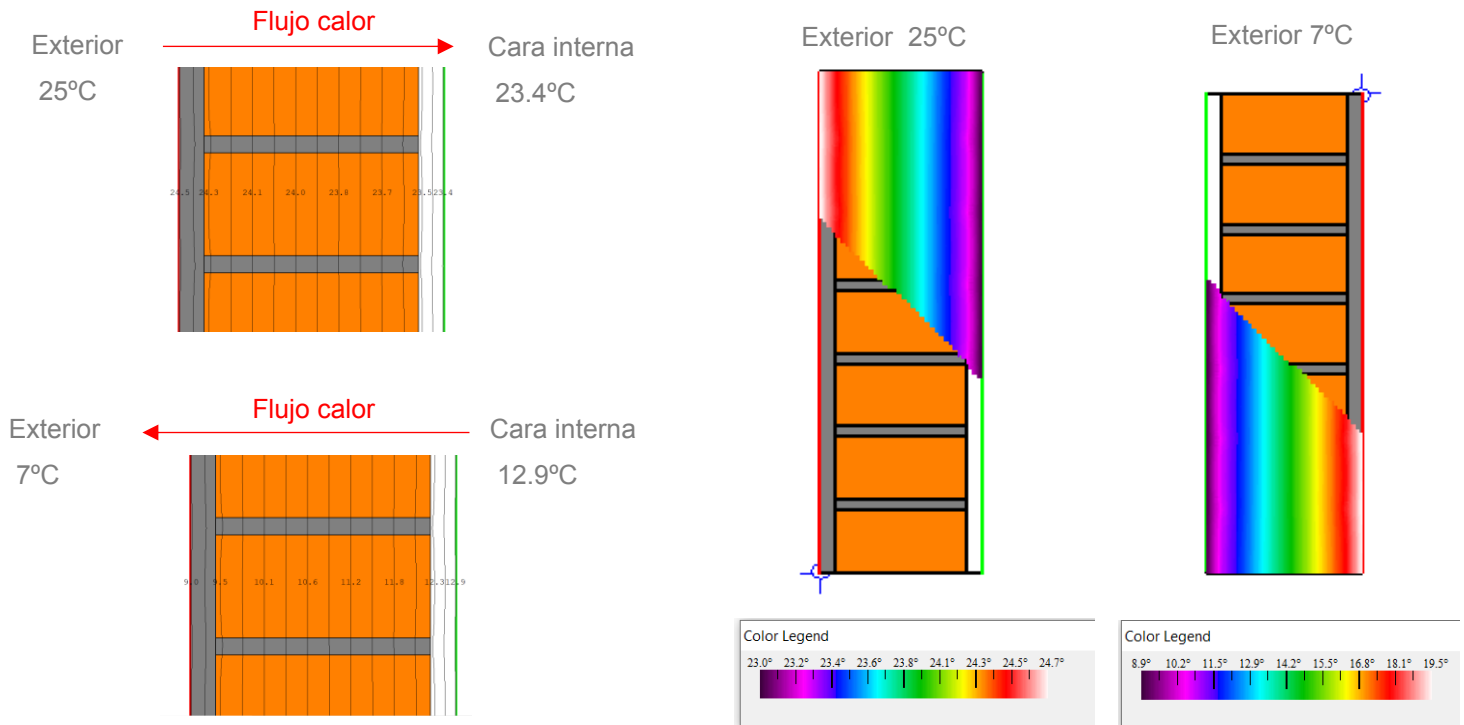
U.S. Green Building Council, (Mayo 2014) “Green Building 101: Why is energy efficiency important?” Recuperado de <https://www.usgbc.org/articles/green-building-101-why-energy-efficiency-important> (consultada el 23 de noviembre del 2021)

Anexo A. Modelado Térmico en Envoltentes

Prueba #1 - Muro de Tabique Rojo Recocido

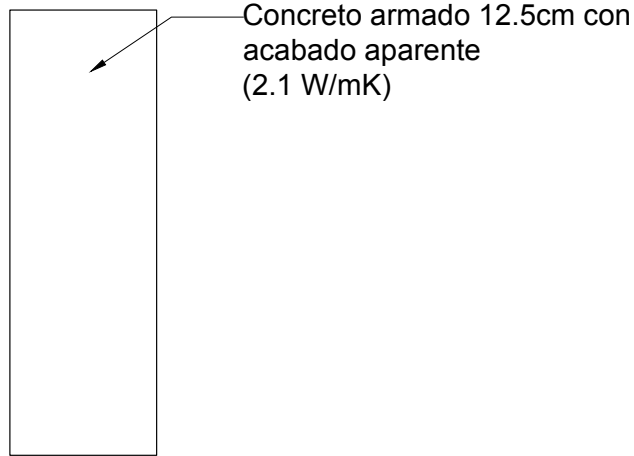


Composición básica

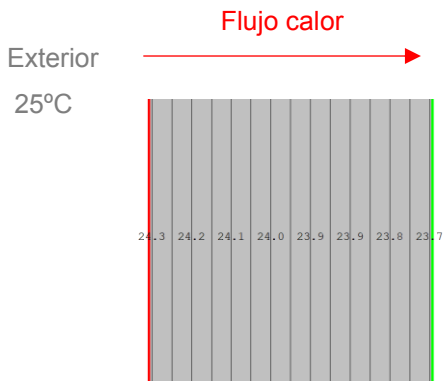


Flujo térmico en envoltente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #2 - Muro de Concreto Armado

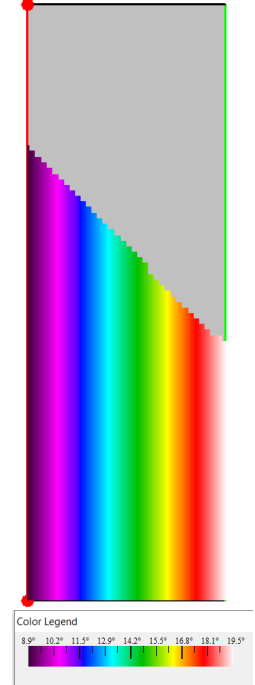
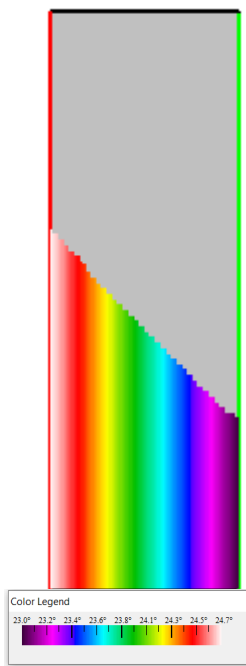


Composición básica



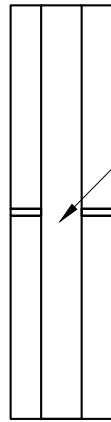
Exterior 25°C

Exterior 7°C



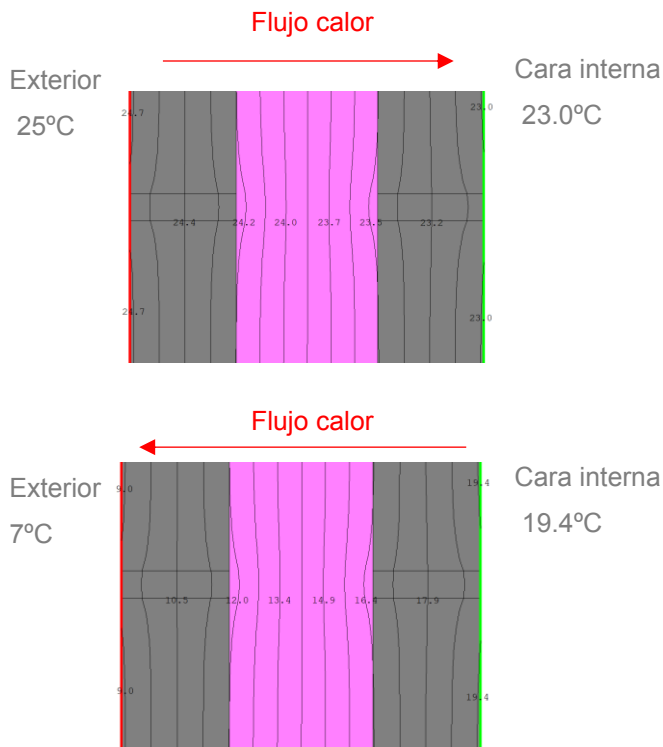
Flujo térmico en envoltente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #3 - Muro de Block Huevo de Concreto



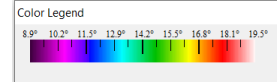
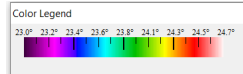
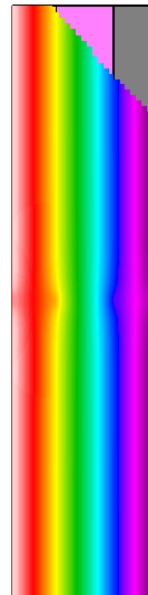
Block hueco de concreto 10X20X40cm
(0.238 W/mk)

Composición básica



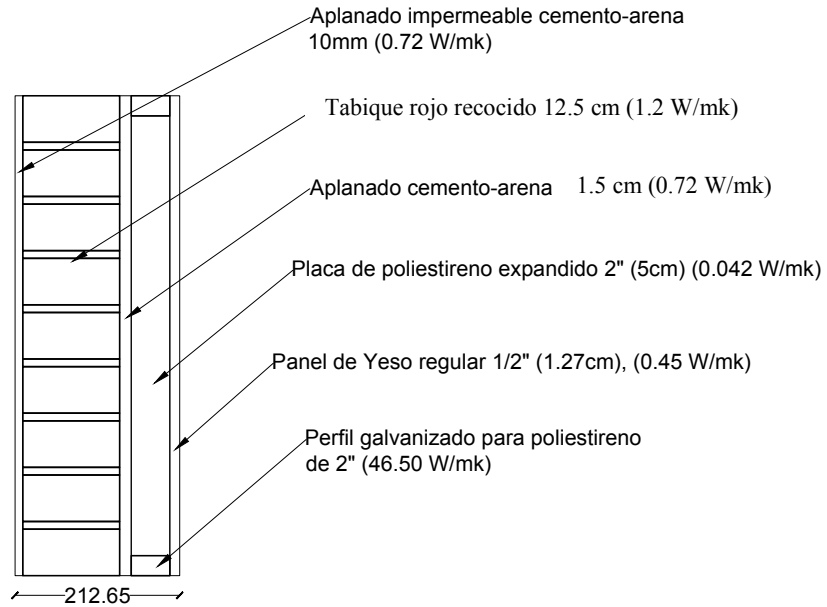
Exterior 25°C

Exterior 7°C

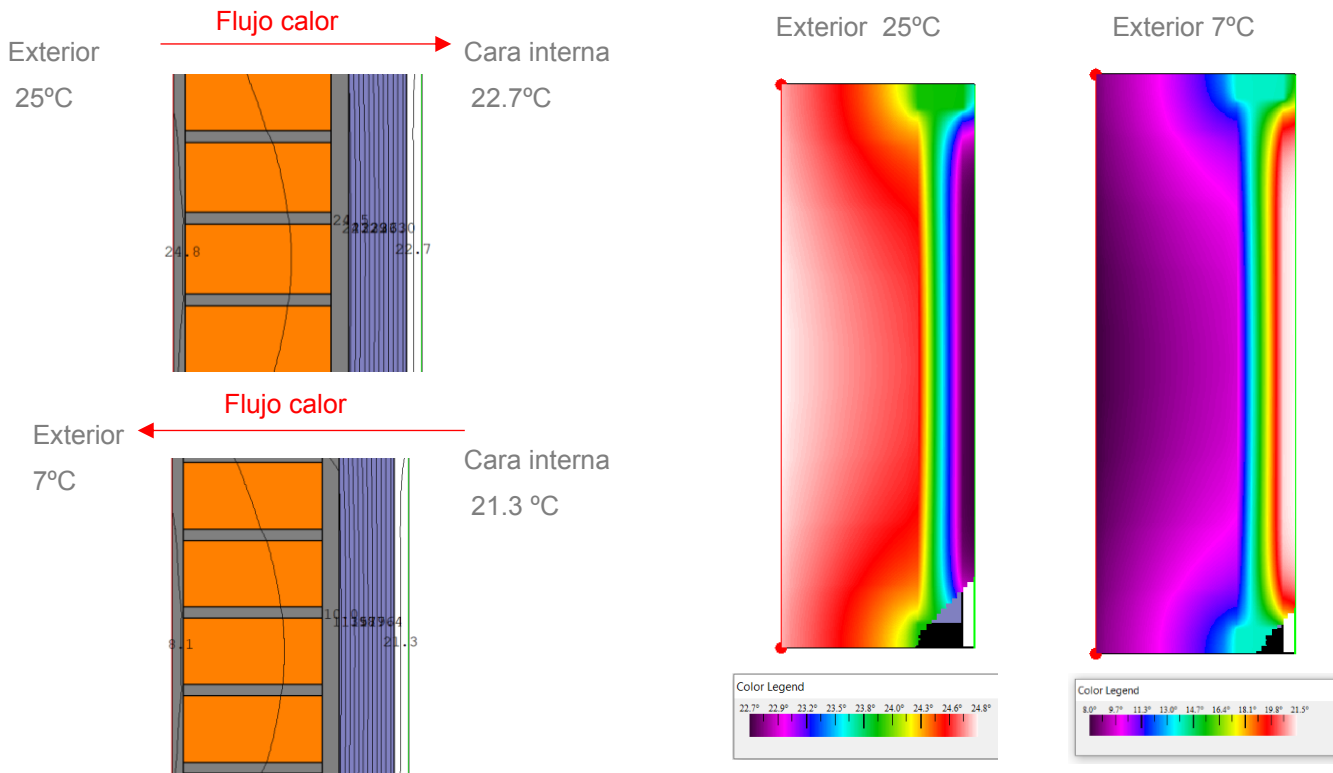


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #4 - Muro de Tabique + Placa de Poliestireno Expandido

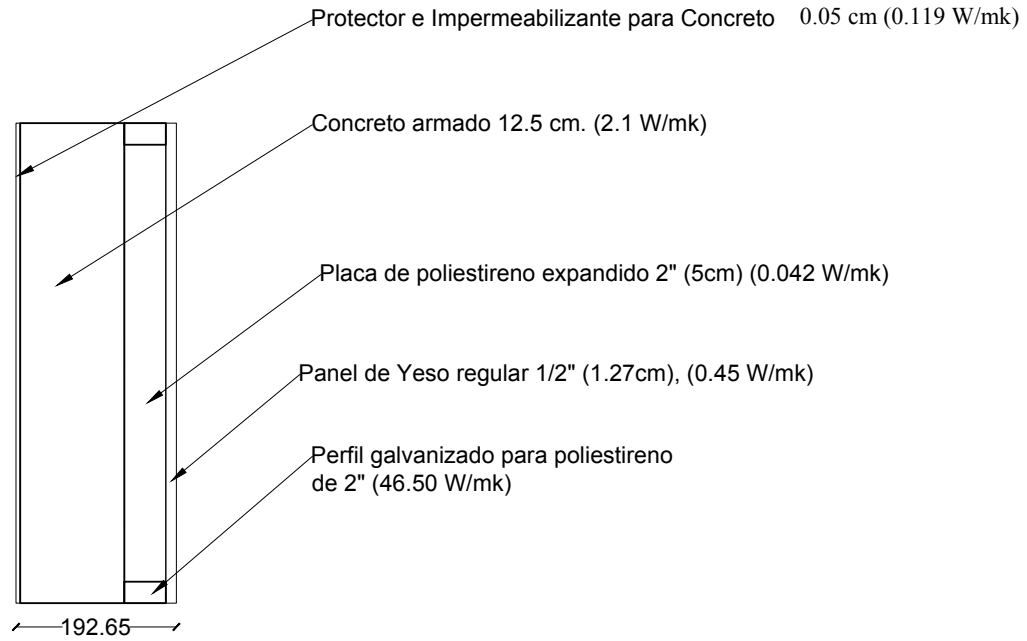


Composición básica

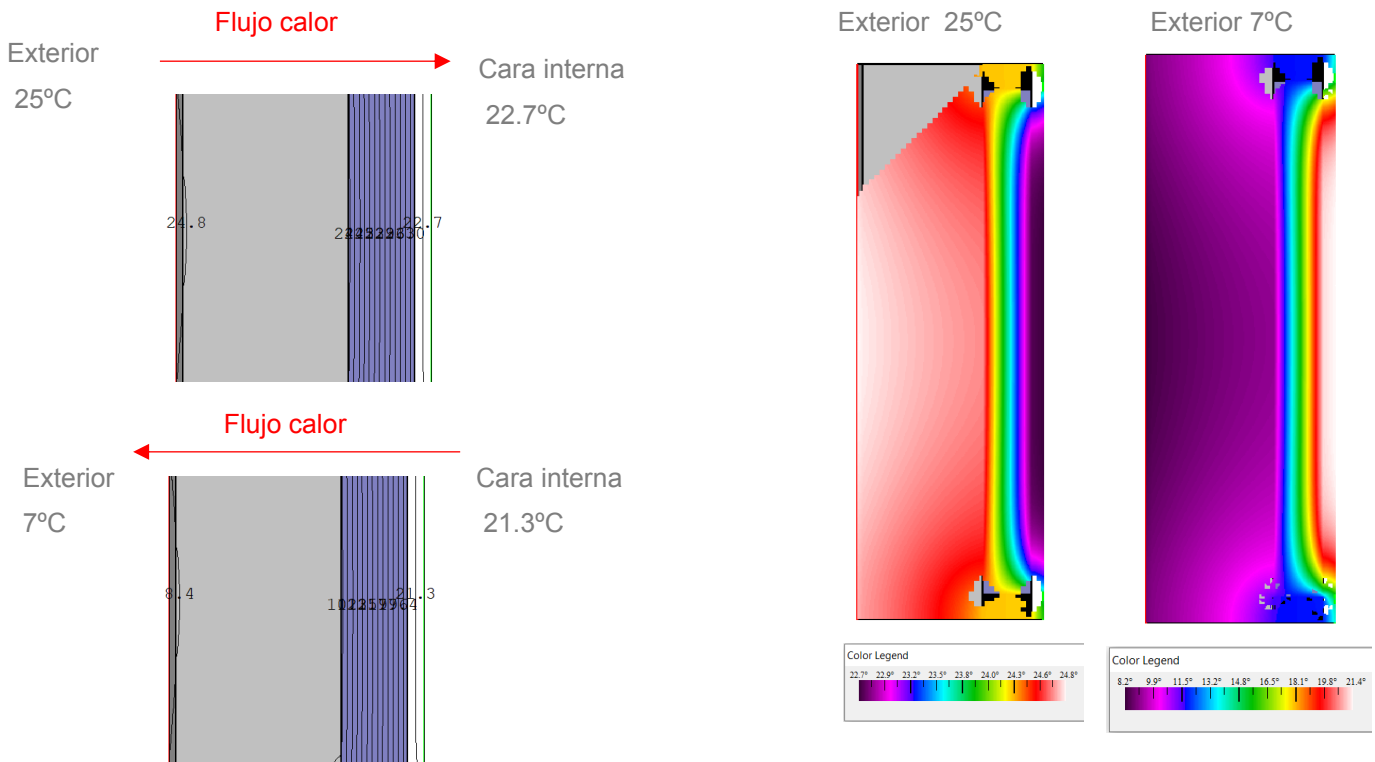


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #5 - Muro de Concreto Armado + Placa de Poliestireno Expandido

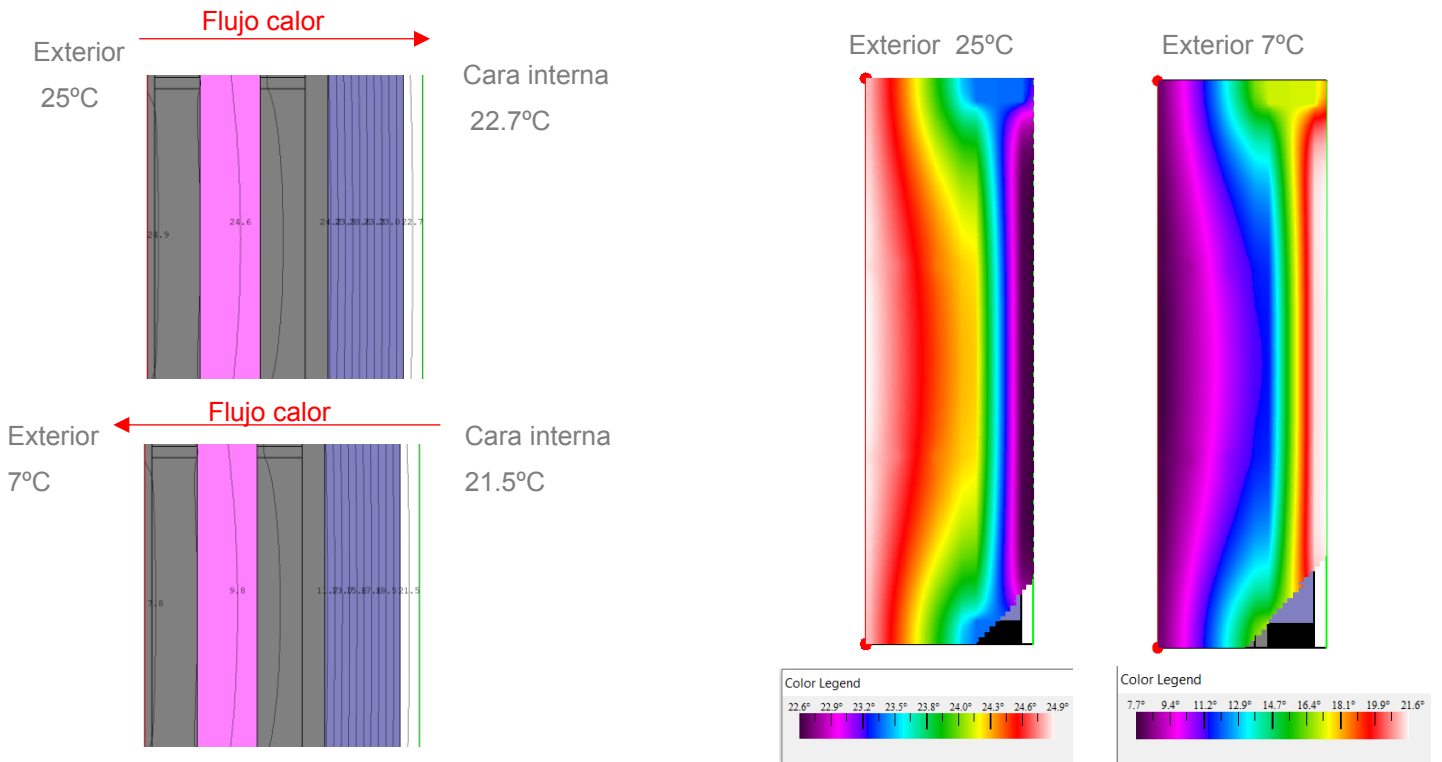
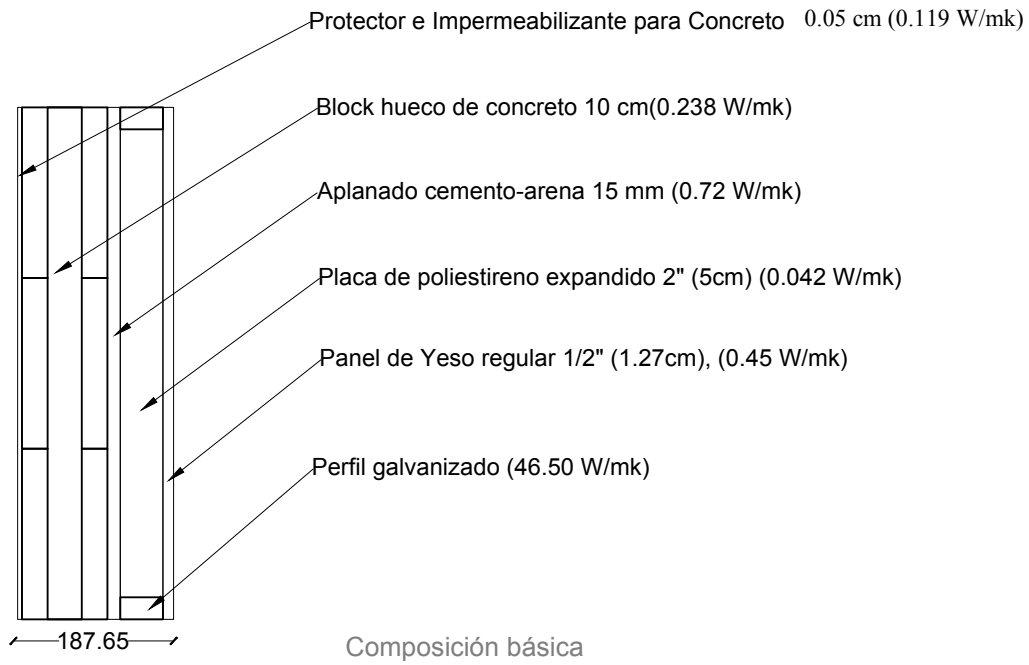


Composición básica



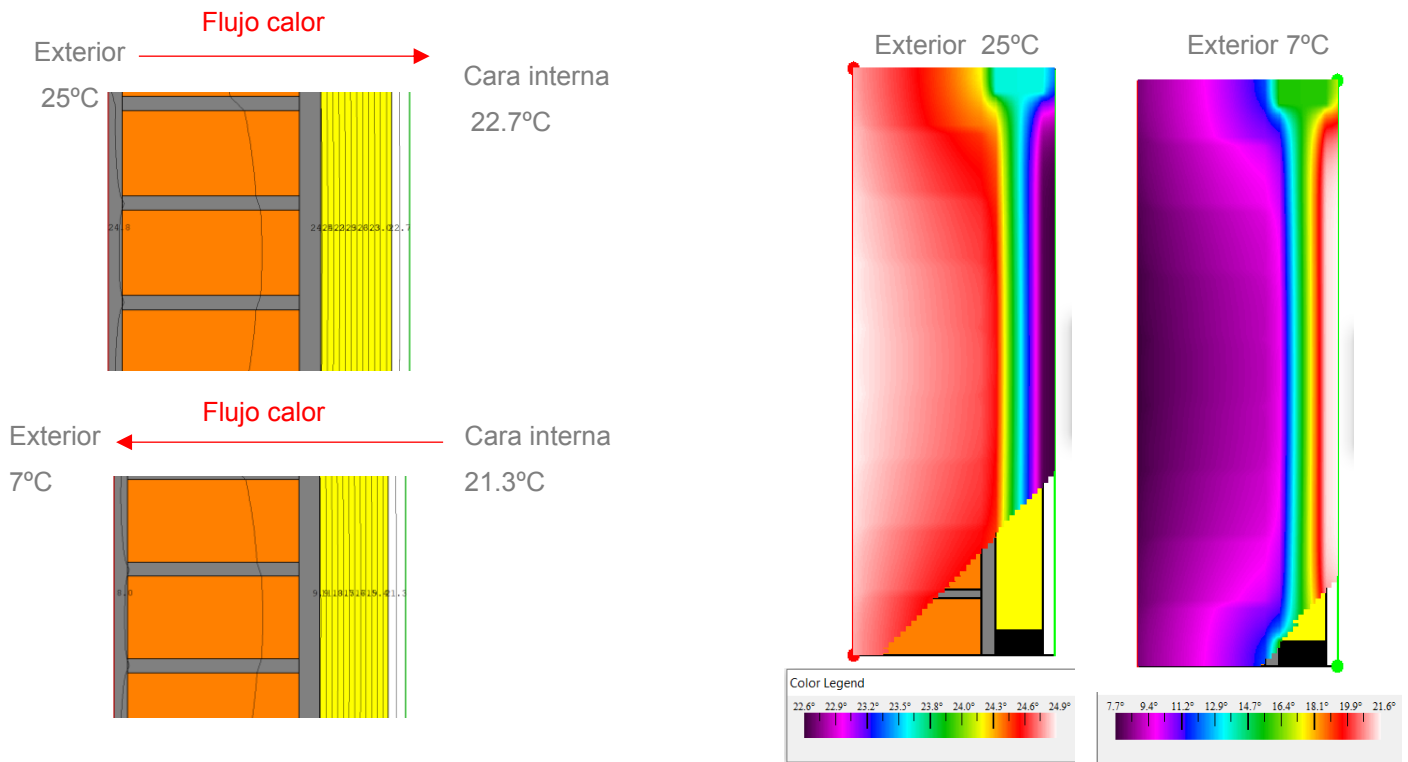
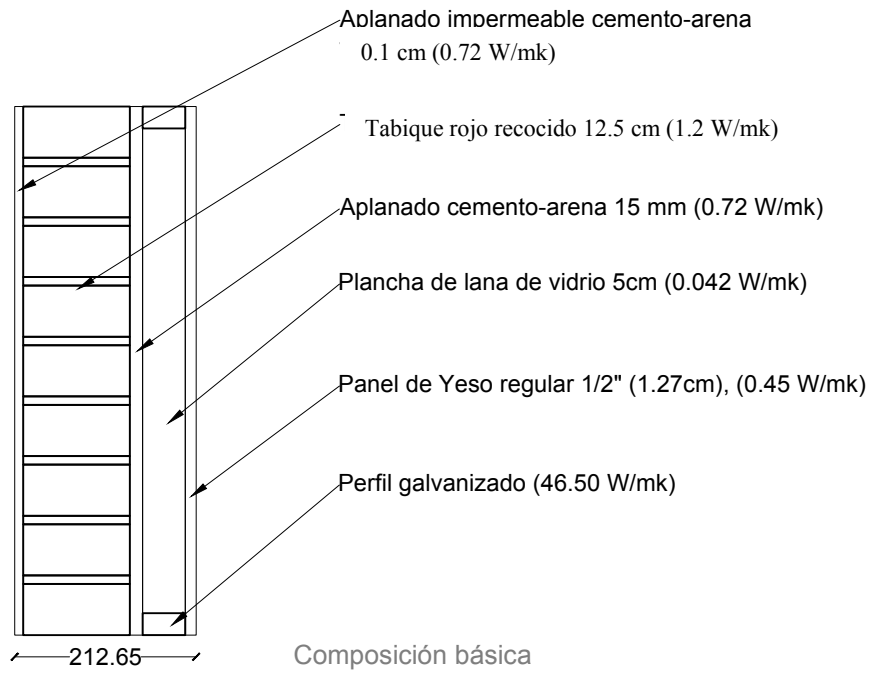
Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #6 - Muro de Block Huevo + Placa de Poliestireno Expandido



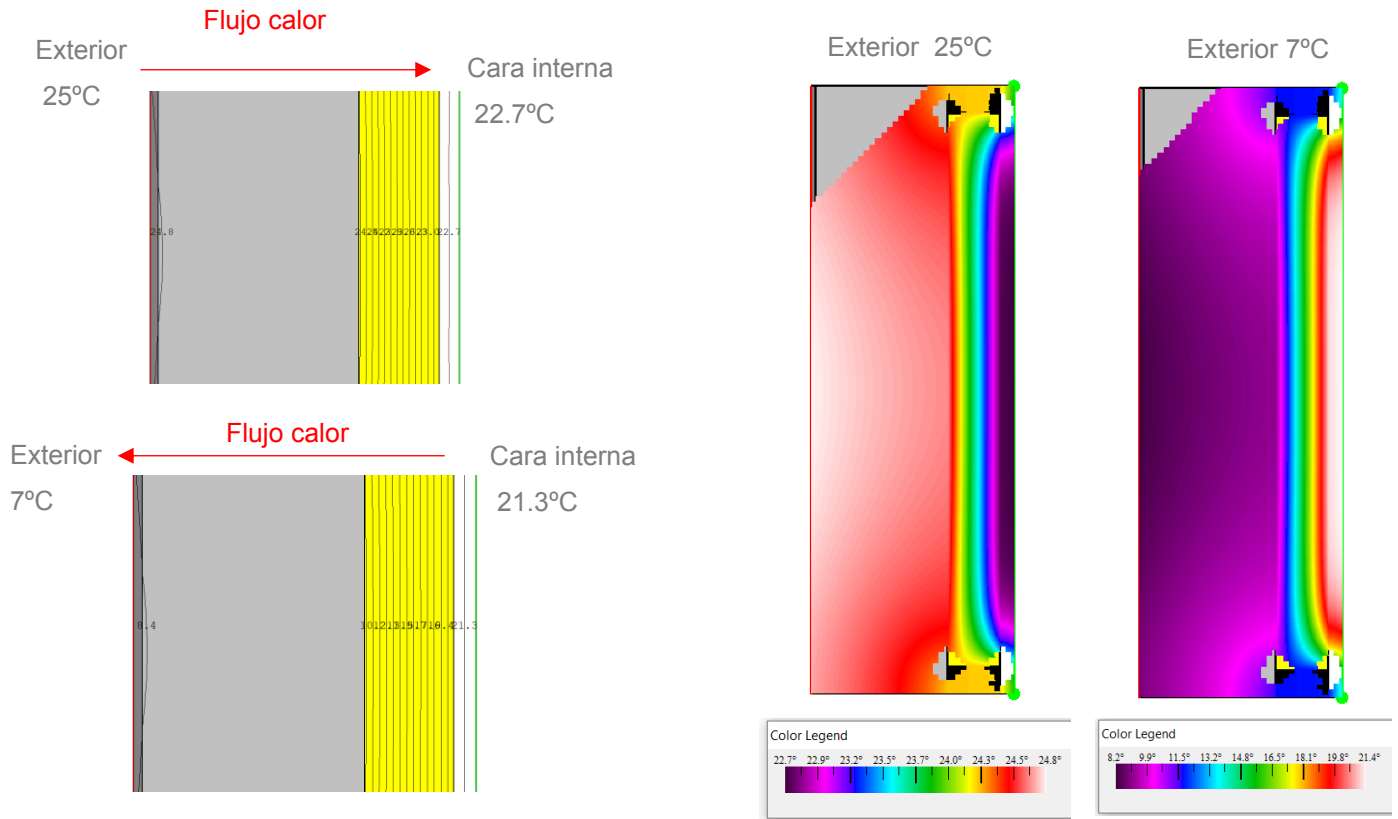
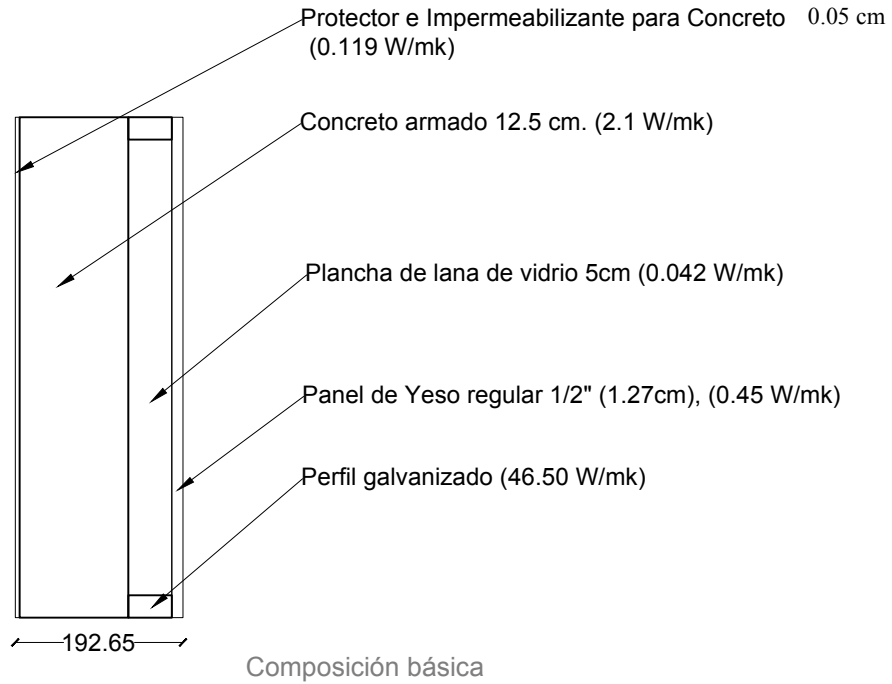
Flujo térmico en envoltente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #7 - Muro de Tabique + Plancha de Lana de Vidrio



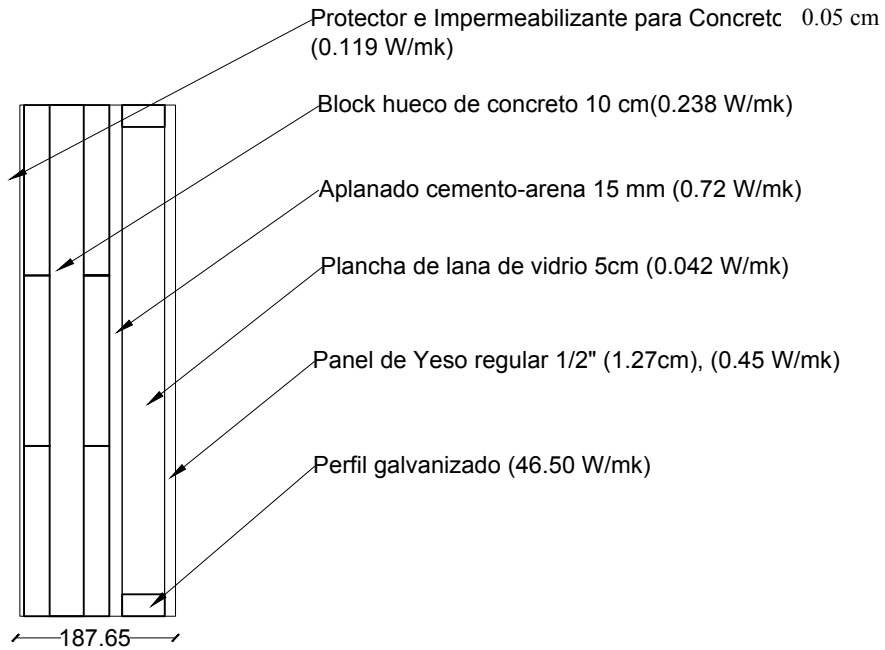
Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #8 - Muro de Concreto Armado + Plancha de Lana de Vidrio

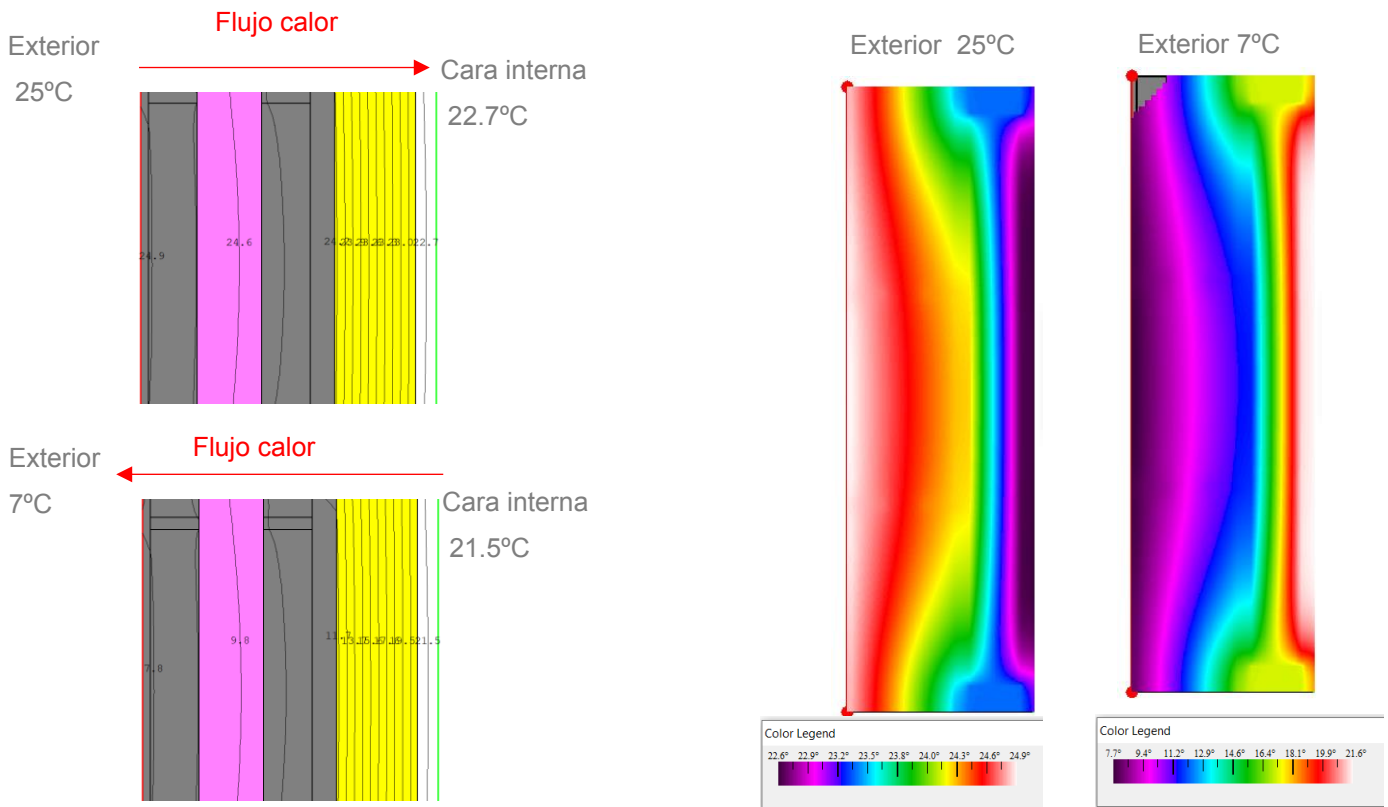


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #9 - Muro de Block Huevo + Plancha de Lana de Vidrio

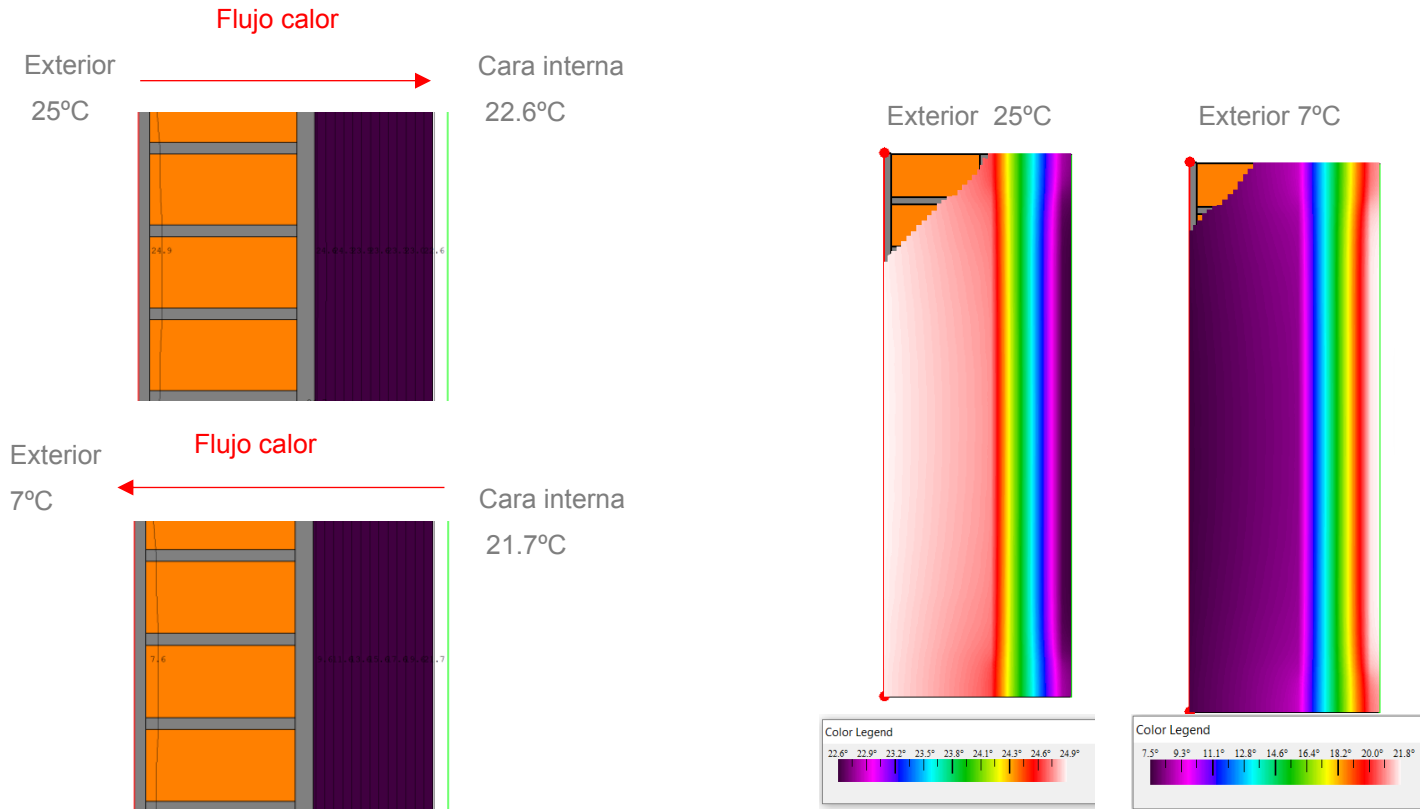
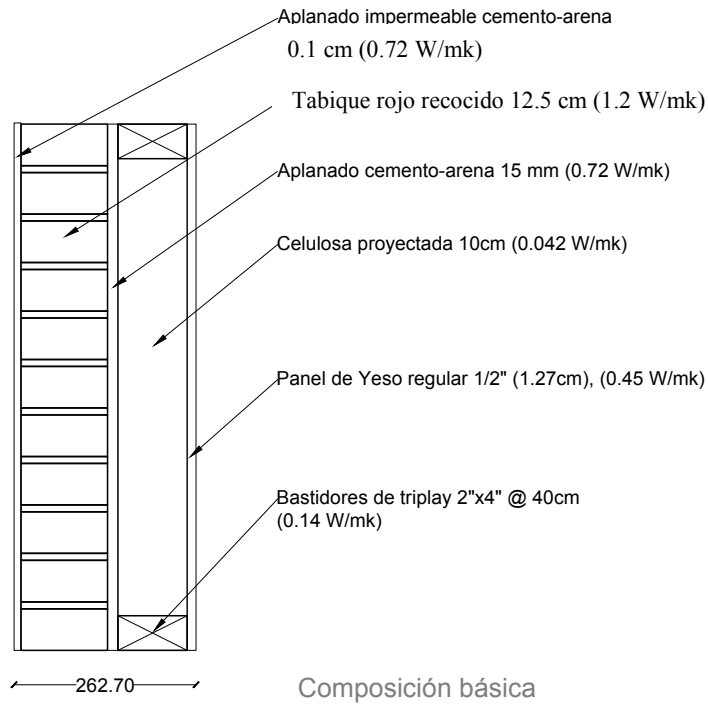


Composición básica



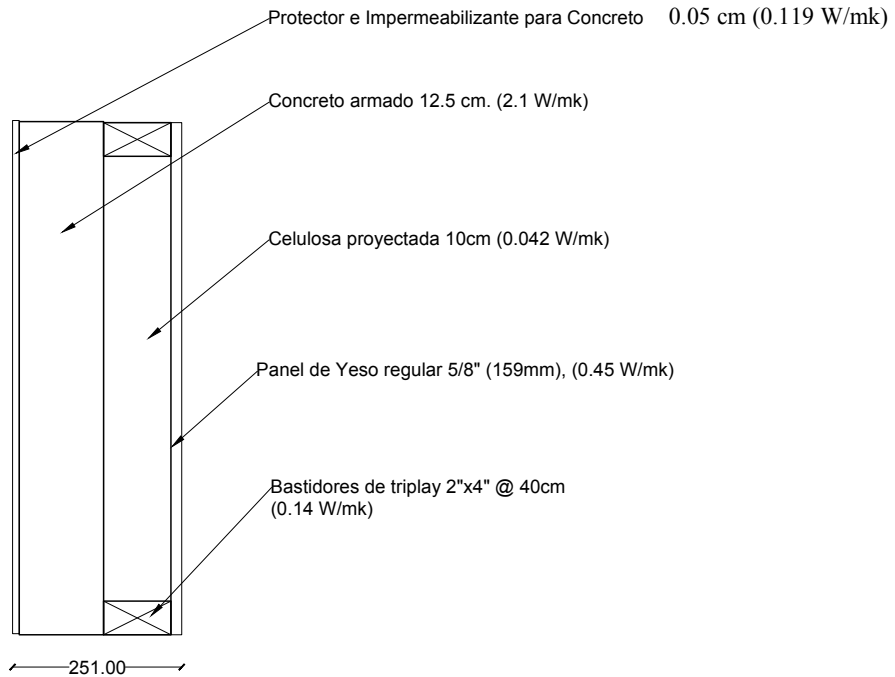
Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #10 - Muro de Tabique + Celulosa Proyectada

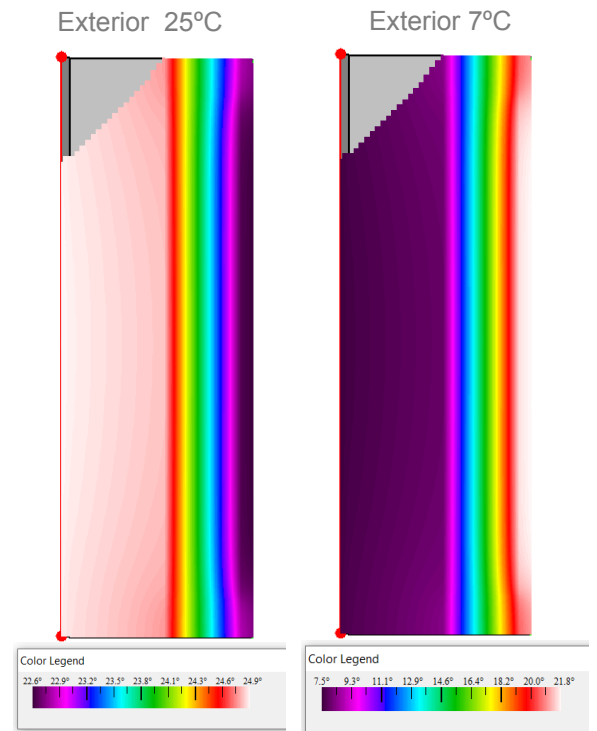
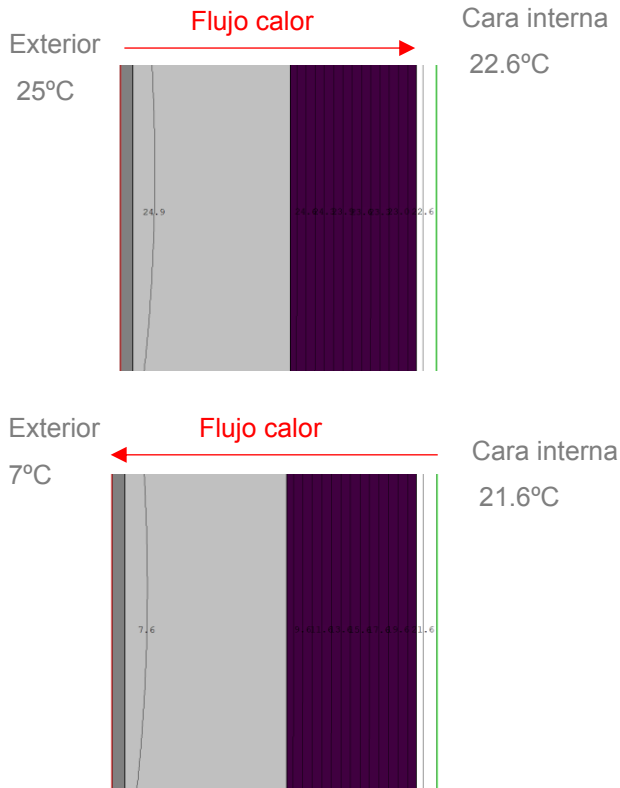


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

Prueba #11 - Muro de Concreto Armado + Celulosa Proyectada

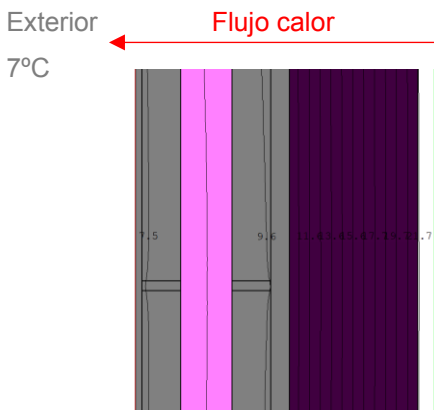
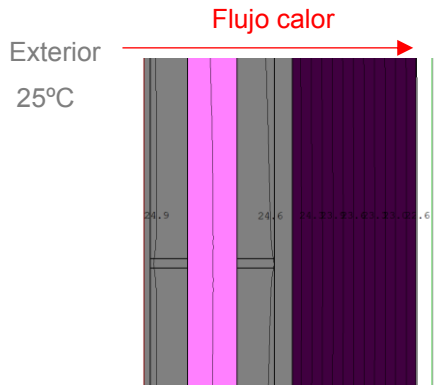
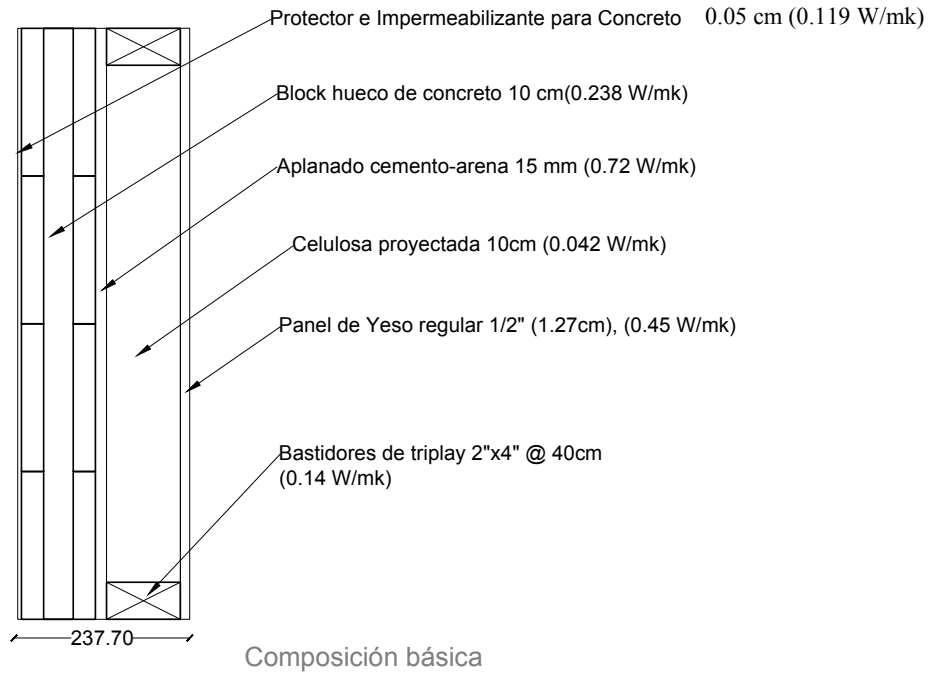


Composición básica

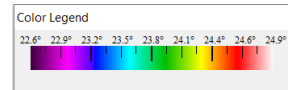
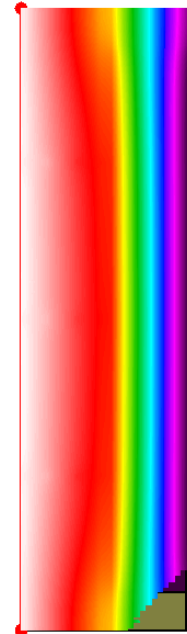


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

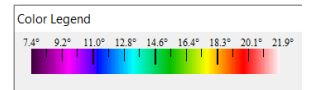
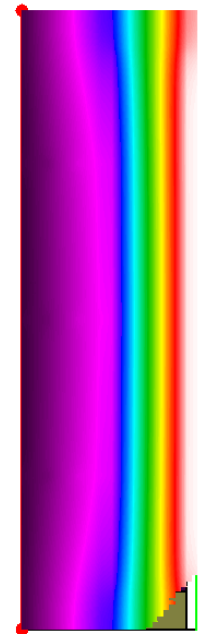
Prueba #12 - Muro de Block Huevo + Celulosa Proyectada



Exterior 25°C



Exterior 7°C

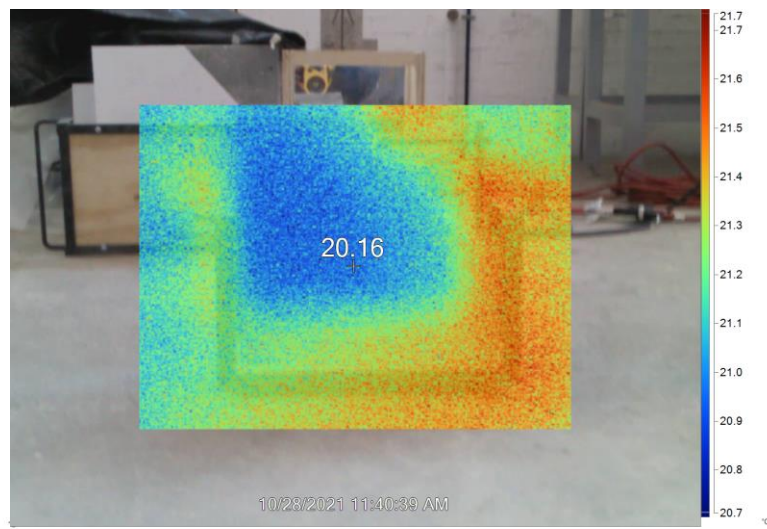
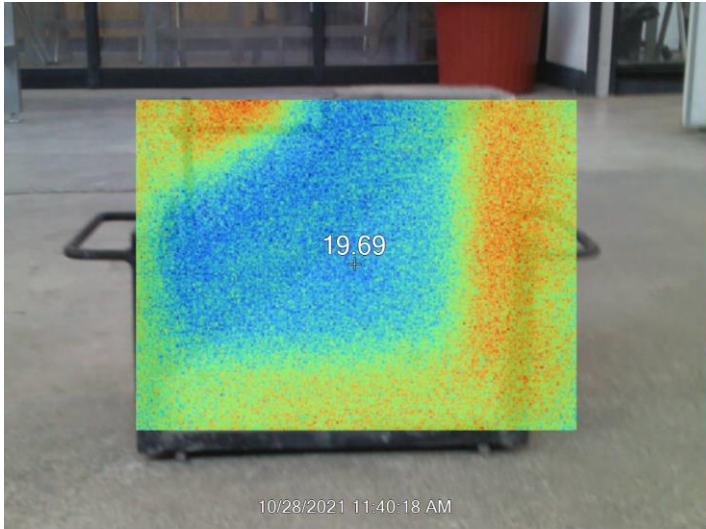


Flujo térmico en envolvente con temperatura exterior a 25°C y 7°C

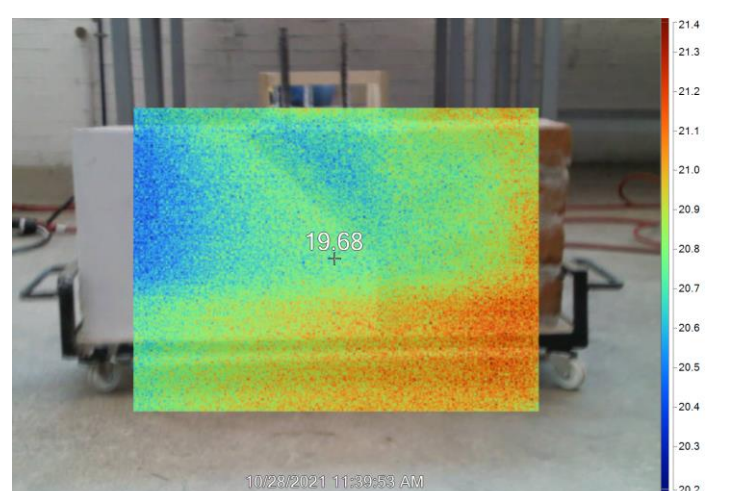
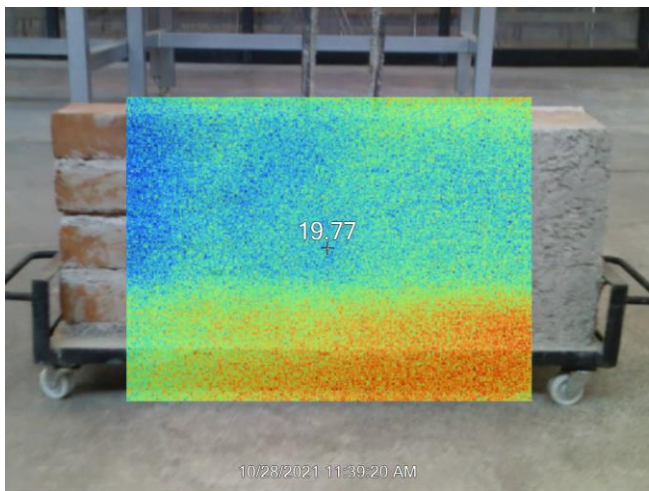
Anexo B. Medición de la emiancia térmica en maquetas de estudio

HR. 0 - Resultados con temperatura ambiente inicial

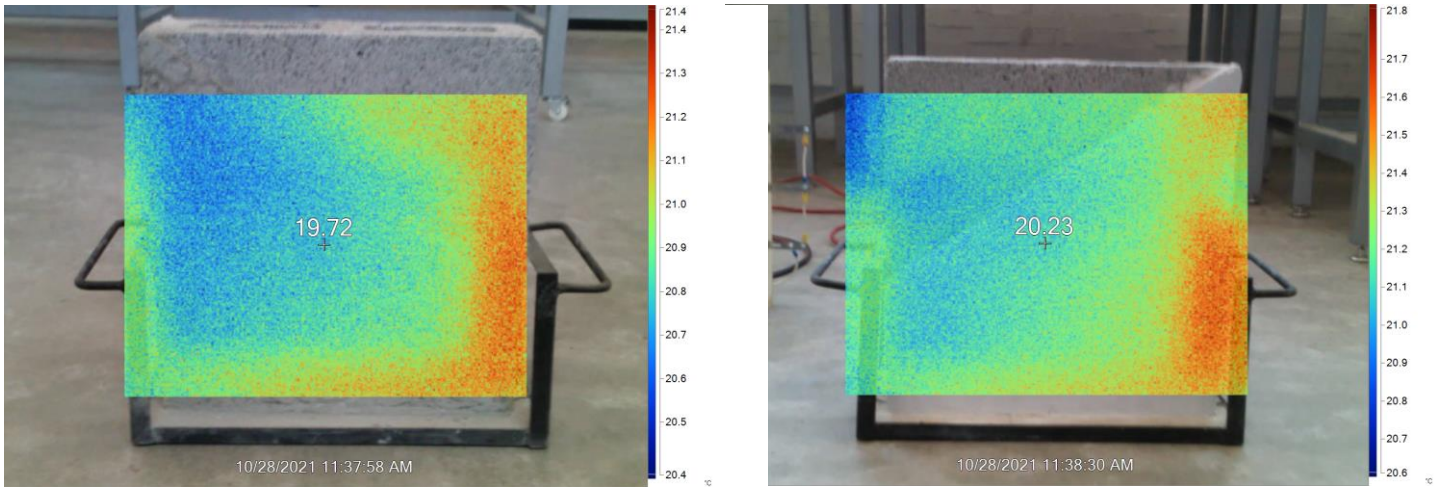
Temperatura inicial	Caract. Ext.	Concreto armado		Tabique rojo recocido		Block hueco		Tem. Amb. 21.6°C	Humedad Relativa 46.9%
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado		
	Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C		
	Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C		



Termografía hr.0 concreto armado: izquierda cara externa, derecha cara interna.



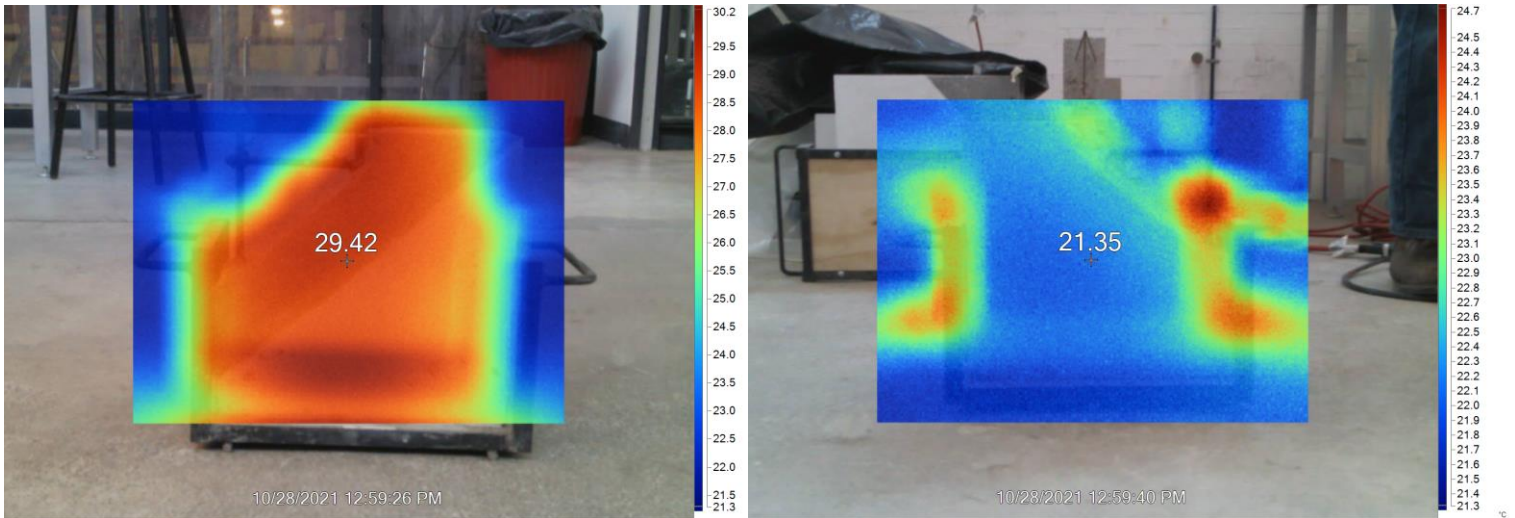
Termografía hr.0 tabique: izquierda cara externa, derecha cara interna.



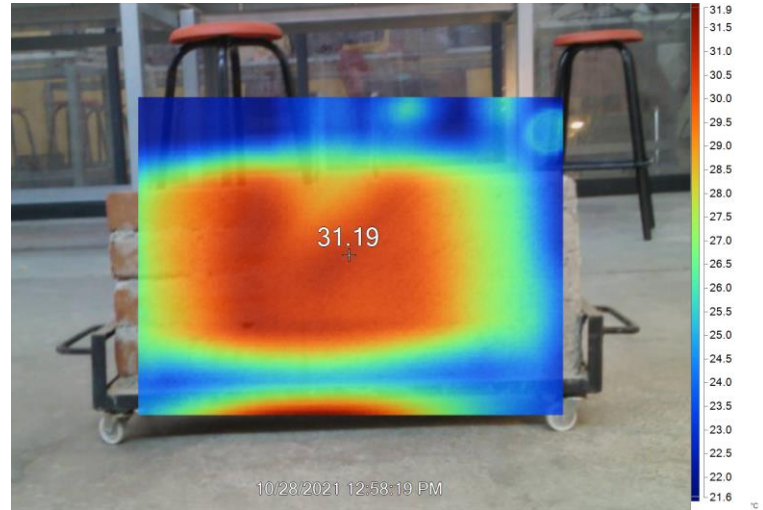
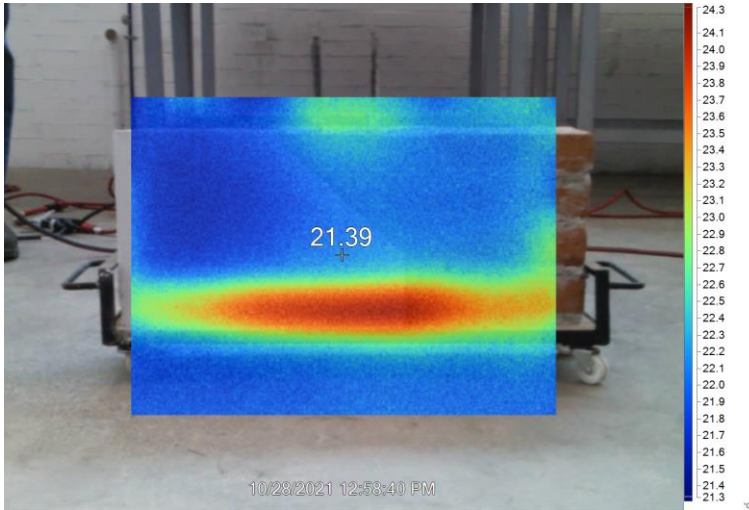
Termografía hr. 0 block hueco: izquierda cara externa, derecha cara interna.

HR. 1 - Resultados tras una hora de exposición a luz infrarroja

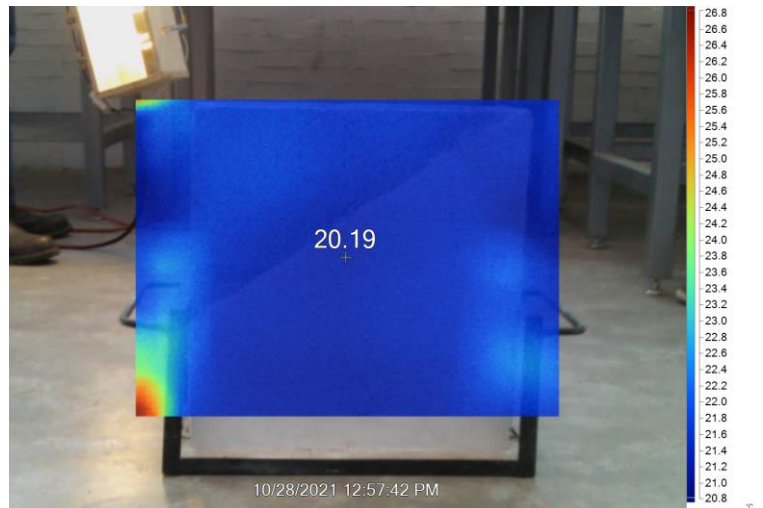
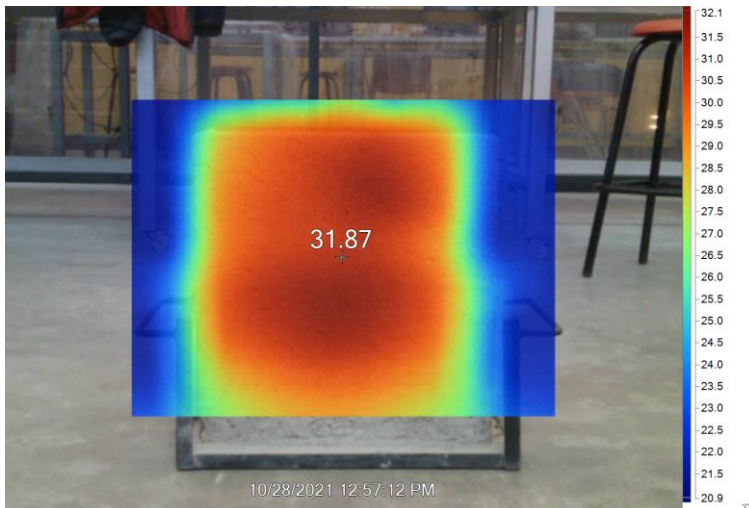
		Concreto armado		Tabique rojo recocido		Block hueco			
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado		
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 21.6°C	Humedad Relativa 46.9%
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C		
Hr. 1	Cara Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	Tem. Amb. 22.3°C	Humedad Relativa 43.3%
	Cara Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C		



Termografía hr.1 concreto armado: izquierda cara externa, derecha cara interna.



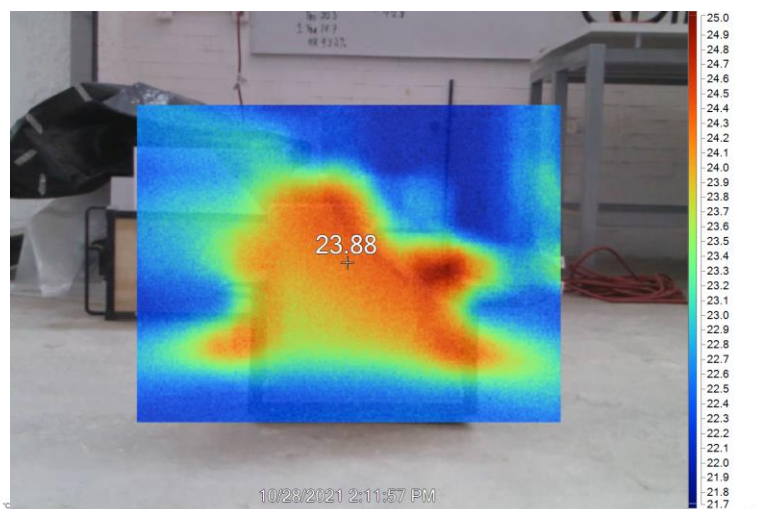
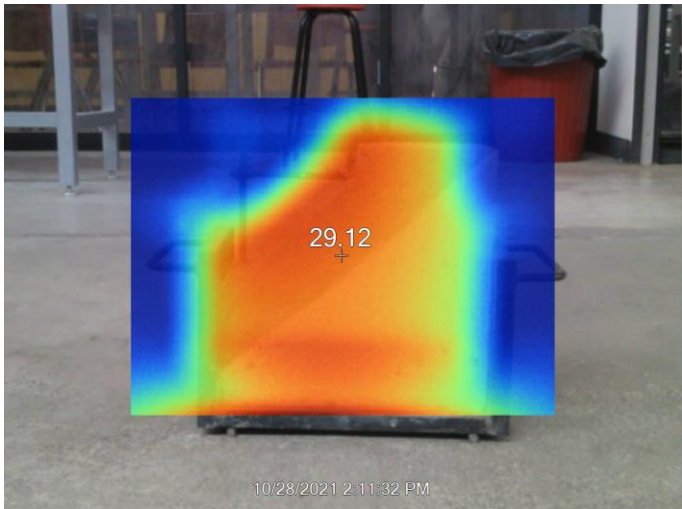
Termografía hr.1 tabique: izquierda cara externa, derecha cara interna.



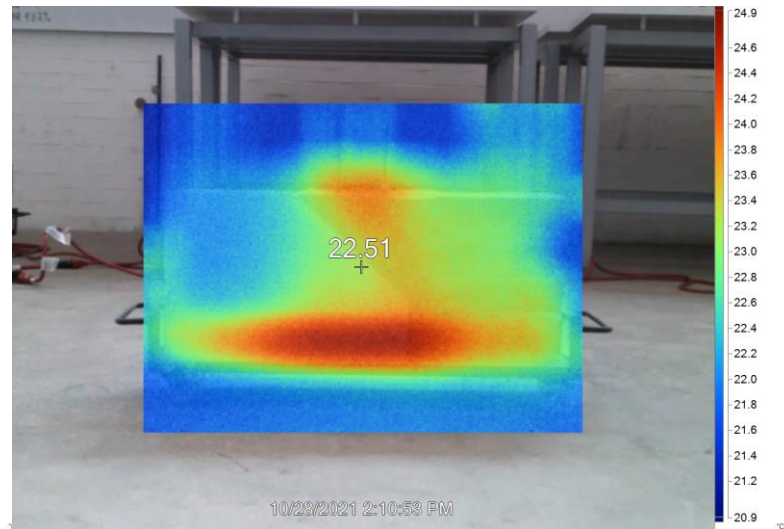
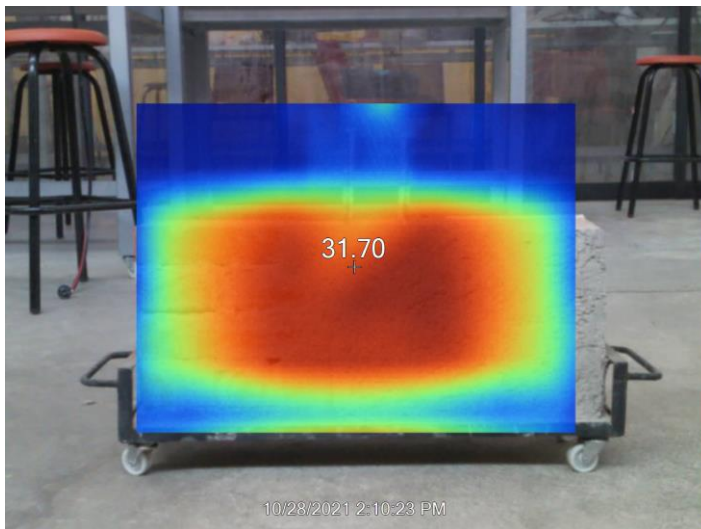
Termografía hr. 1 block hueco: izquierda cara externa, derecha cara interna.

HR.2 - Resultados tras dos horas de exposición a luz infrarroja

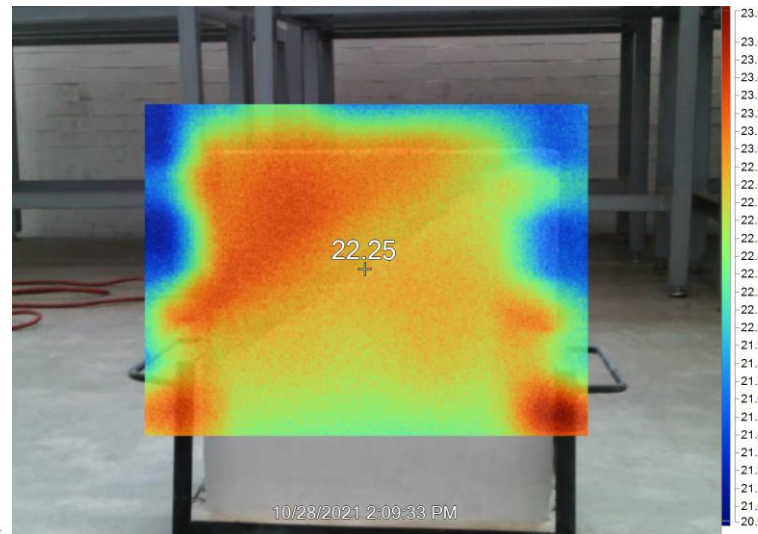
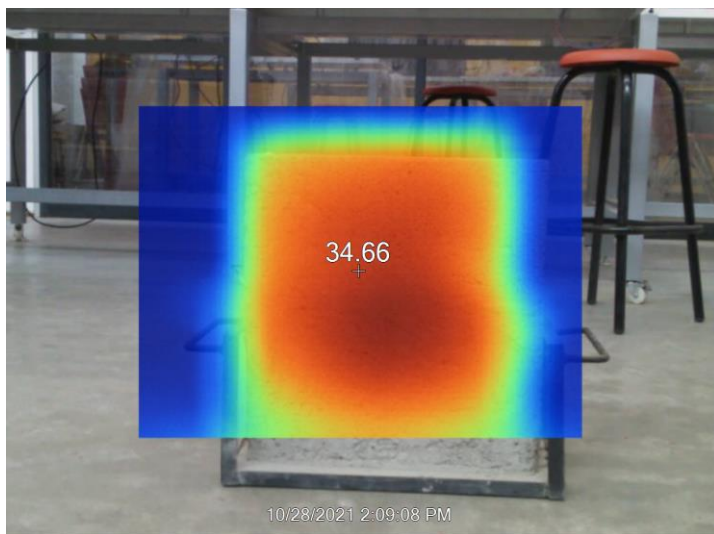
		Concreto armado		Tabique rojo recocido		Block hueco		
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 21.6°C
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	Humedad Relativa 6.9%
Hr. 1	Cara Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	Tem. Amb. 22.3°C
	Cara Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	Humedad Relativa 3.3%
Hr. 2	Cara Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	Tem. Amb. 22.7°C
	Cara Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	Humedad Relativa 2.8%



Termografía hr.2 concreto armado: izquierda cara externa, derecha cara interna.



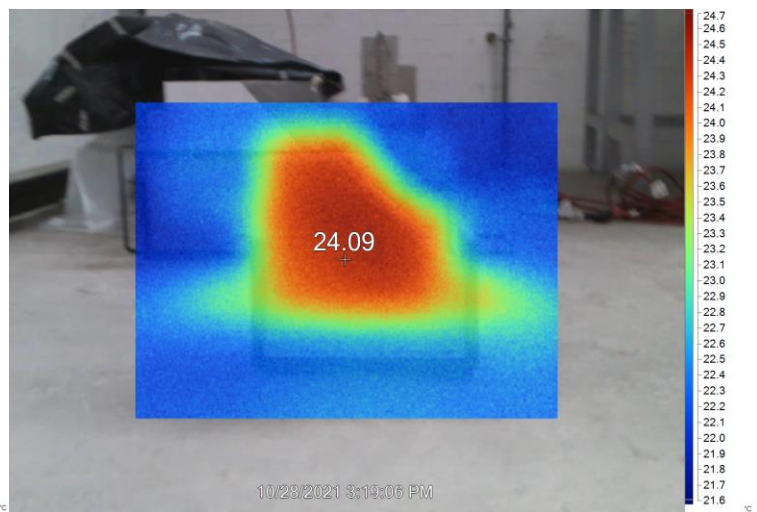
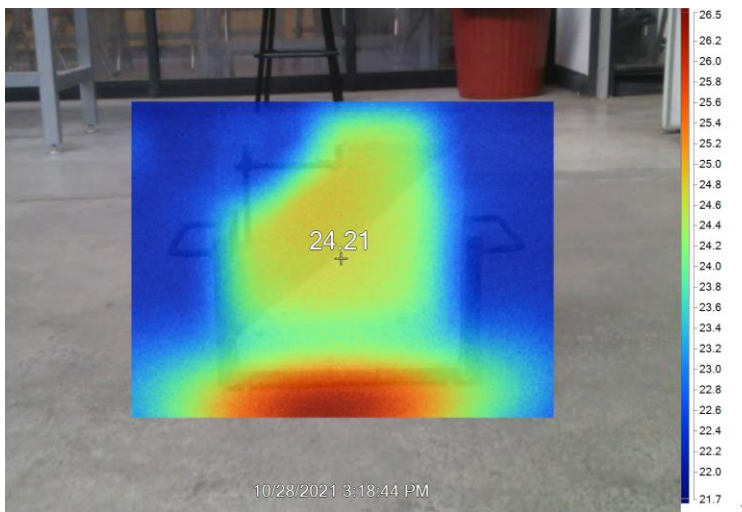
Termografía hr.2 tabique: izquierda cara externa, derecha cara interna.



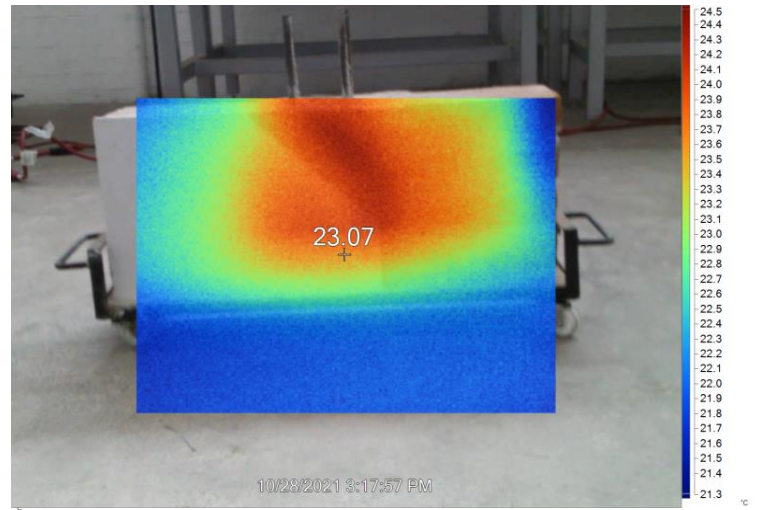
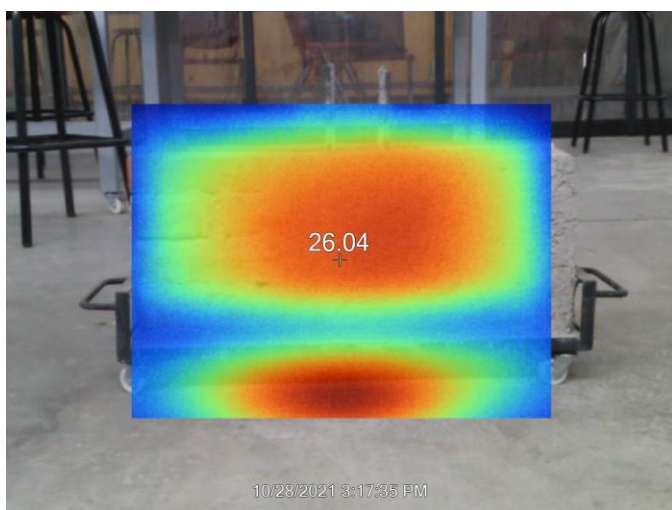
Termografía hr.2 block hueco: izquierda cara externa, derecha cara interna.

HR.3 - Resultados tras una hora sin exposición a luz infraroja

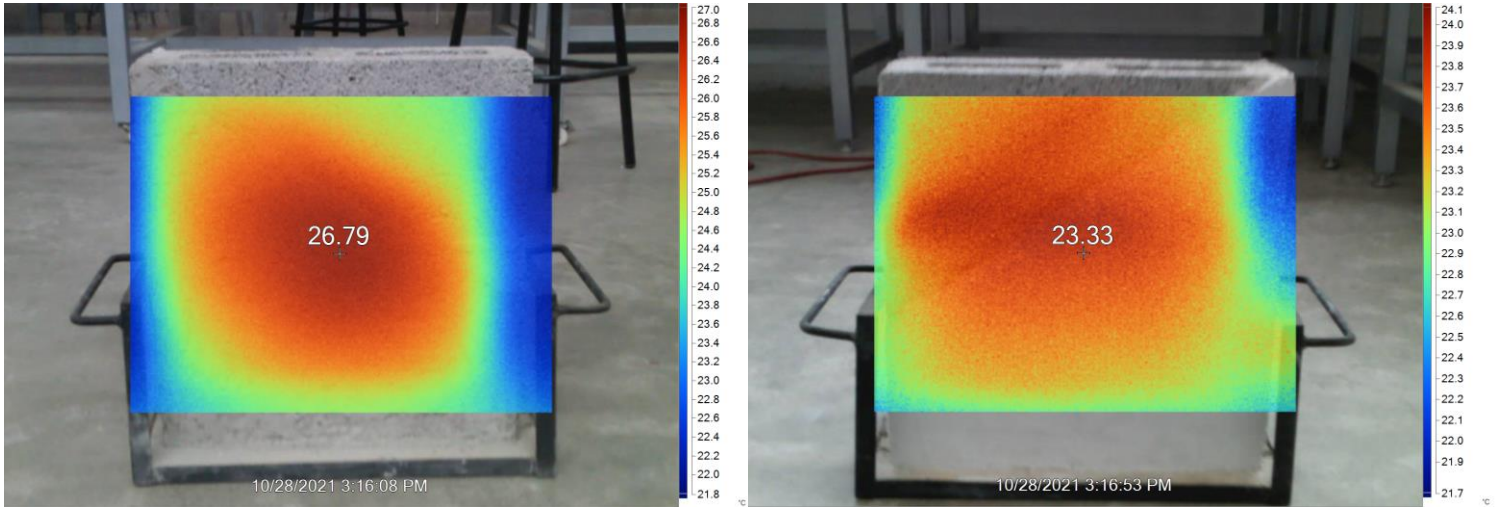
		Concreto armado		Tabique rojo recocido		Block hueco		
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 21.6°C
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	Humedad relativa 6.9%
Hr. 1	Cara Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	Tem. Amb. 22.3°C
	Cara Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	Humedad relativa 3.3%
Hr. 2	Cara Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	Tem. Amb. 22.7°C
	Cara Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	Humedad relativa 2.8%
Hr. 3	Cara Ext.	24.4°C	24.8°C	25.8°C	24.7°C	26.5°C	24.7°C	Tem. Amb. 22.3°C
	Cara Int.	23.9°C	24.1°C	23.3°C	23.7°C	23.3°C	23.4°C	Humedad relativa 3.5%



Termografía **hr.3** concreto armado: izquierda cara externa, derecha cara interna.



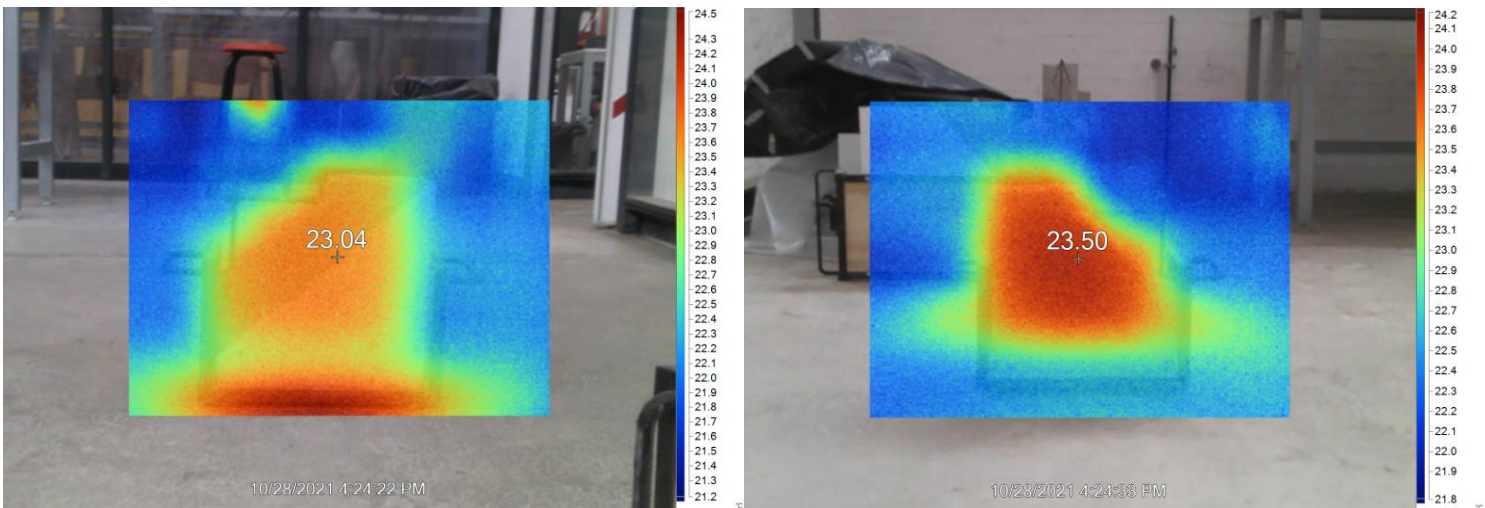
Termografía **hr.3** tabique: izquierda cara externa, derecha cara interna.



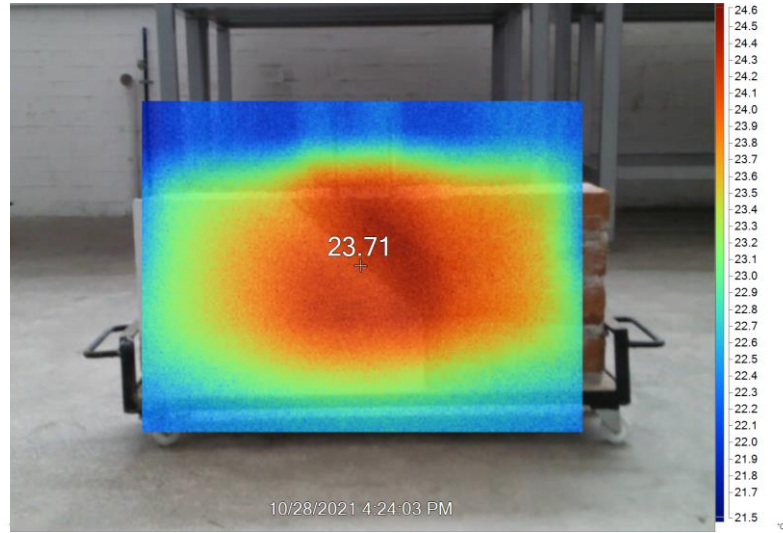
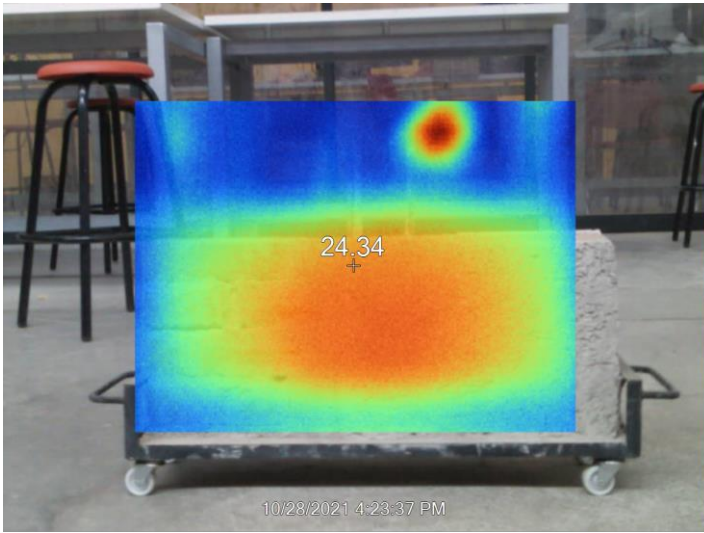
Termografía hr.3 block hueco: izquierda cara externa, derecha cara interna.

HR.4 - Resultados tras dos horas sin exposición a luz infrarroja

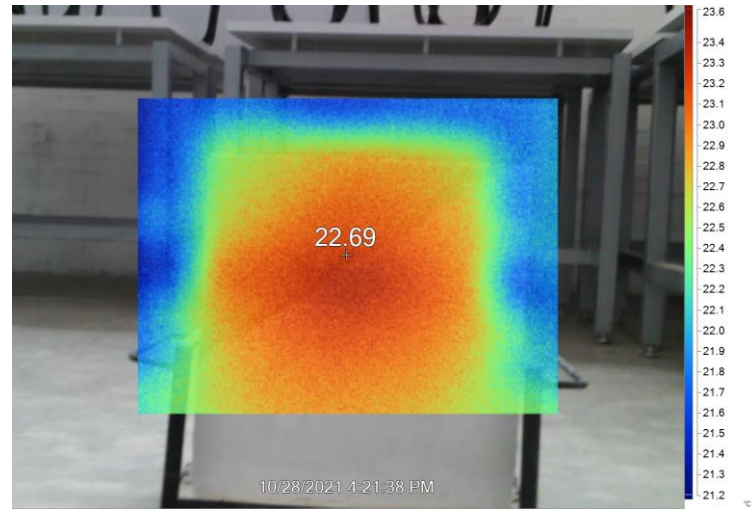
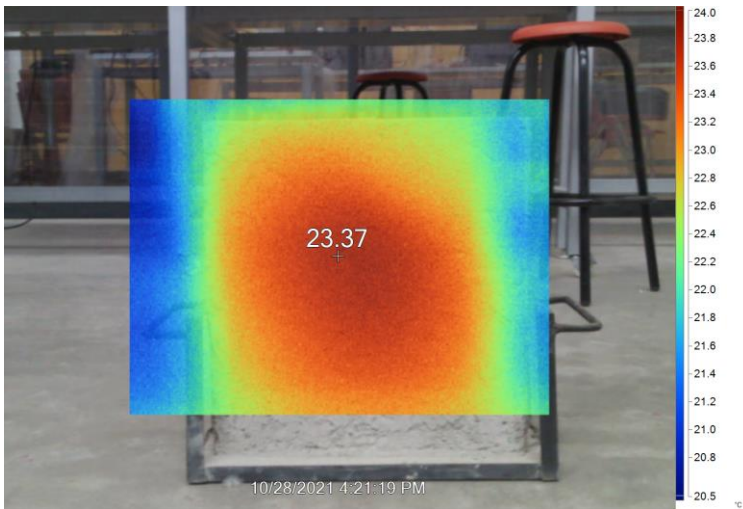
		Concreto armado		Tabique rojo recocido		Block hueco		
		C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	C/acabado	S/acabado	
Temperatura inicial	Cara Ext.	21.1°C	20.8°C	20.9°C	21.2°C	20.8°C	20.9°C	Tem. Amb. 21.6°C
	Cara Int.	20.8°C	21.2°C	20.9°C	20.9°C	21.1°C	21.2°C	Humedad Relativa 6.9%
Hr. 1	Cara Ext.	29.4°C	30.4°C	29.2°C	30.7°C	33.1°C	33.3°C	Tem. Amb. 22.3°C
	Cara Int.	21.8°C	22°C	21.3°C	21.8°C	21.6°C	22.1°C	Humedad Relativa 3.3%
Hr. 2	Cara Ext.	30.8°C	32.3°C	32.3°C	32°C	35.2°C	36°C	Tem. Amb. 22.7°C
	Cara Int.	23°C	23.7°C	22.1°C	22.7°C	22.6°C	23.4°C	Humedad Relativa 2.8%
Hr. 3	Cara Ext.	24.4°C	24.8°C	25.8°C	24.7°C	26.5°C	24.7°C	Tem. Amb. 22.3°C
	Cara Int.	23.9°C	24.1°C	23.3°C	23.7°C	23.3°C	23.4°C	Humedad Relativa 3.5%
Hr. 4	Cara Ext.	23.8°C	23.8°C	24.6°C	24°C	24.2°C	23.4°C	Tem. Amb. 22.5°C
	Cara Int.	23.5°C	23.6°C	23.8°C	23.8°C	23.3°C	23.1°C	Humedad Relativa 1.4%



Termografía hr.4 concreto armado: izquierda cara externa, derecha cara interna.



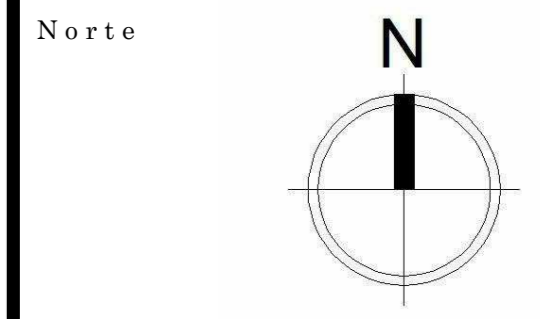
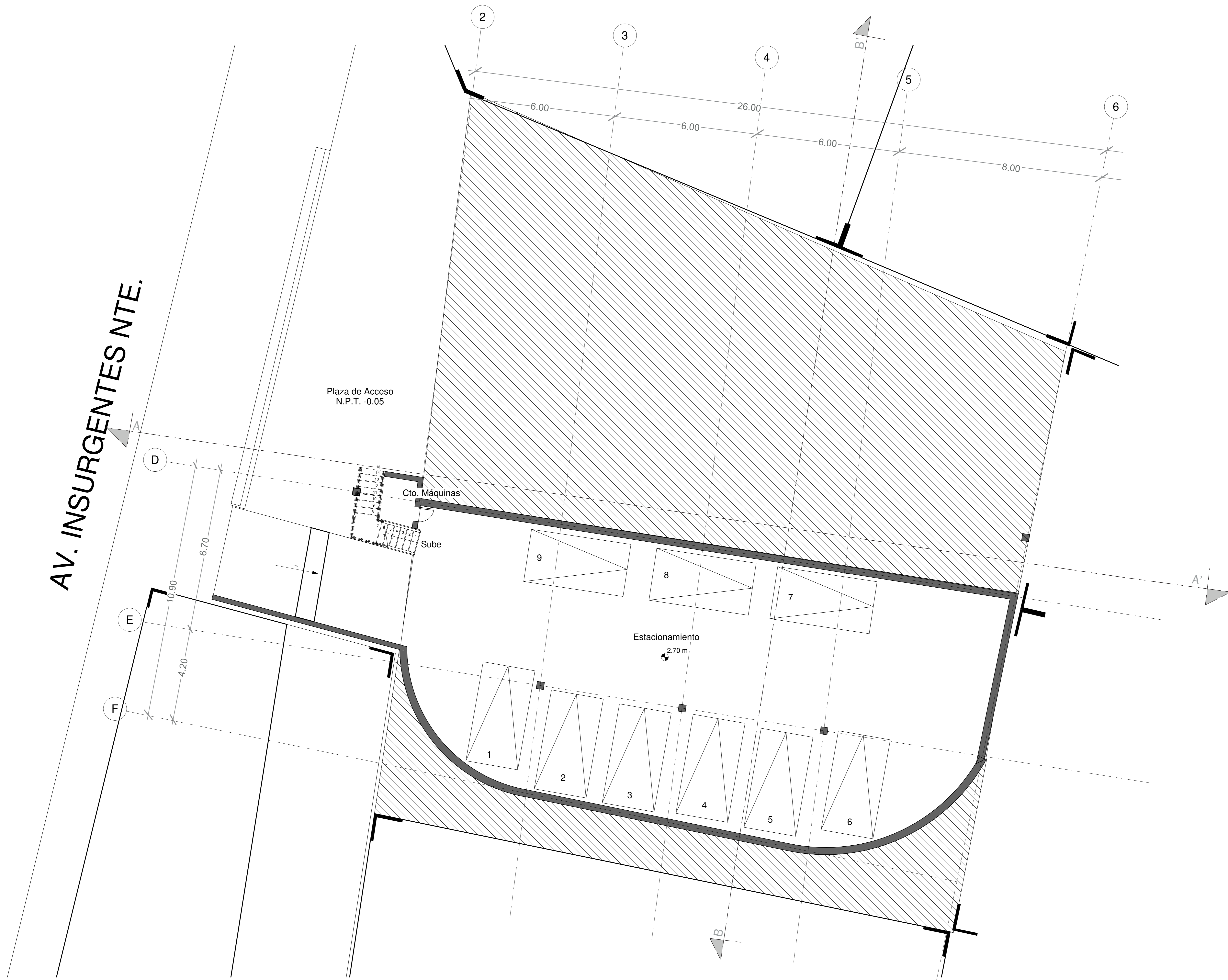
Termografía hr.4 tabique: izquierda cara externa, derecha cara interna.



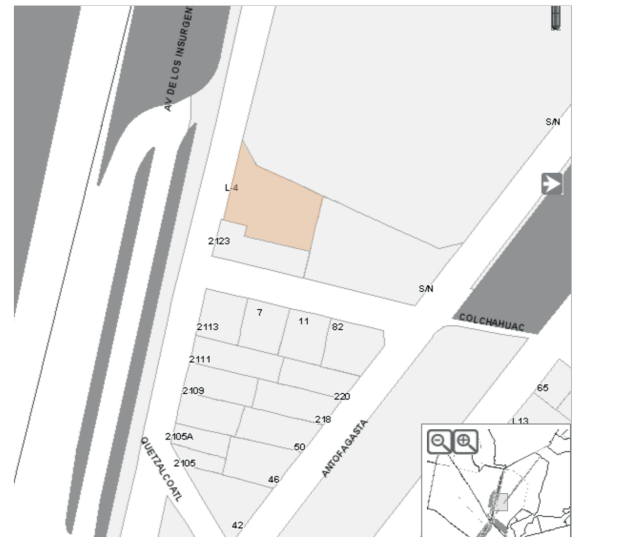
Termografía hr.4 block hueco: izquierda cara externa, derecha cara interna.

Anexo C. Planos Arquitectónicos

AV. INSURGENTES NTE.



Crequis de localización



Simbología
 N.B. Nivel de banqueta
 N.C. Nivel de calle
 N.P.T. Nivel de piso terminado
 Escalón

Notas

Proyecto Centro Educativo

Ubicación Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

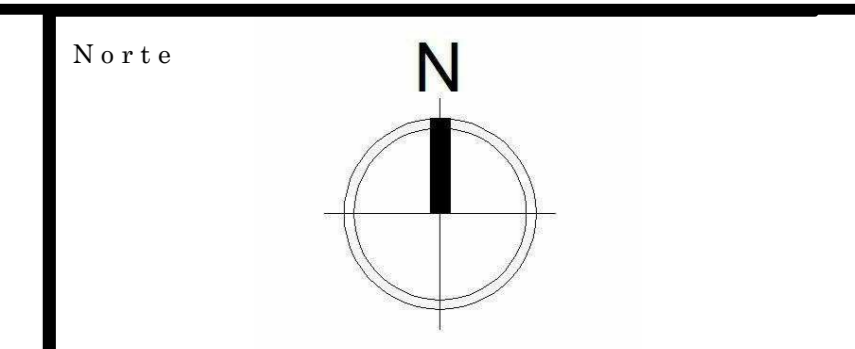
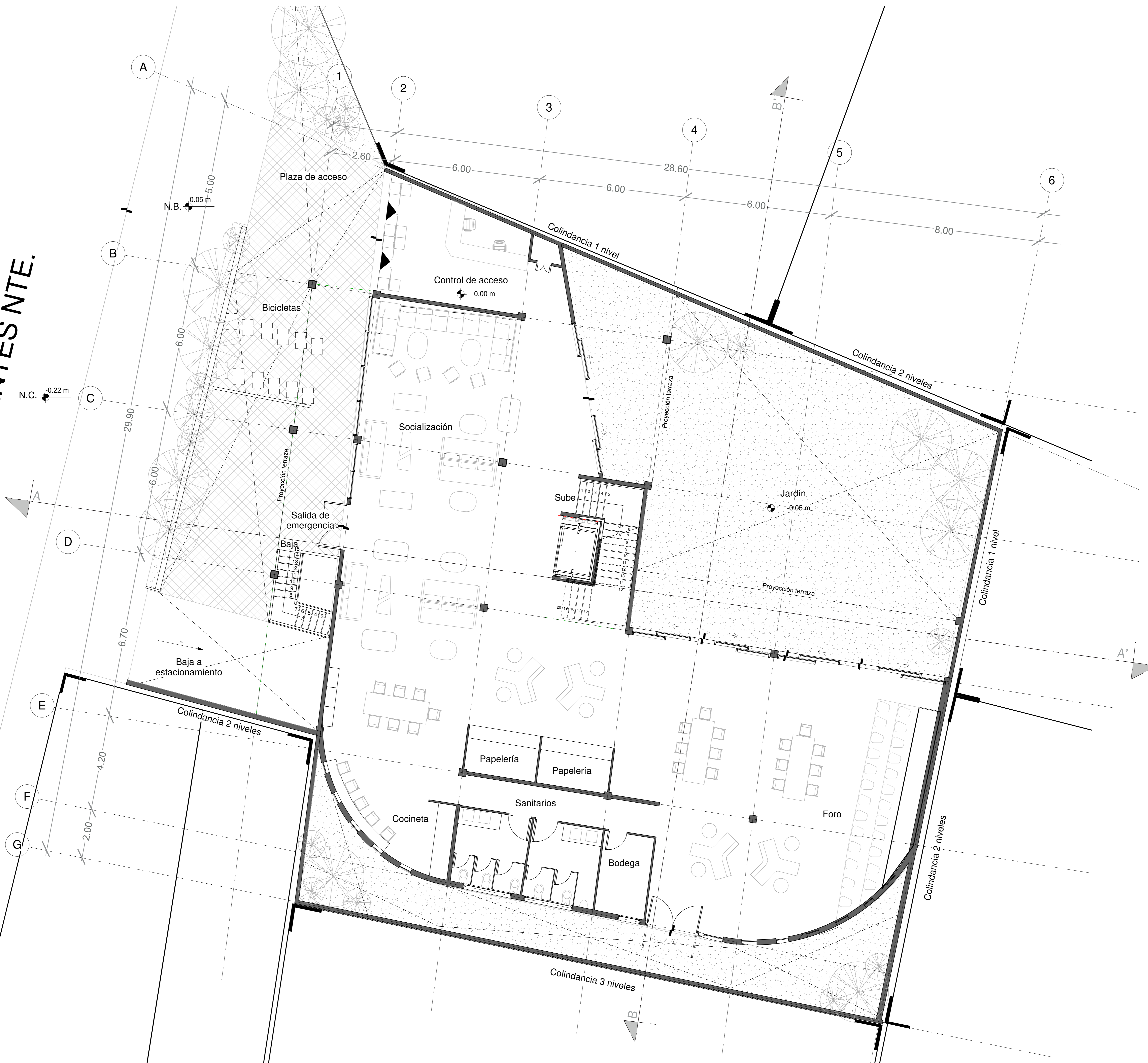
Plano Sótano

Fecha 08/12/2021
 Escala 1:75
 Cotas metros
 Diseñó y dibujó Gerardo Linares

clave A01



AV. INSURGENTES NTE.



Simbología

N.B.	Nivel de banqueta
N.C.	Nivel de calle
N.P.T.	Nivel de piso terminado
	Escalón

Notas

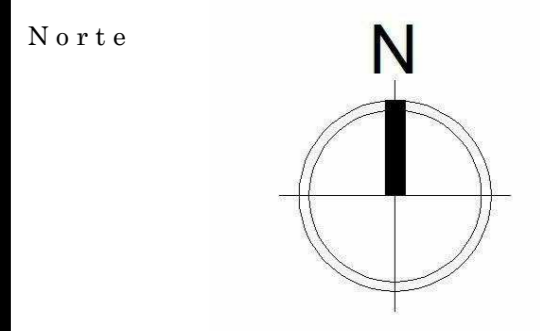
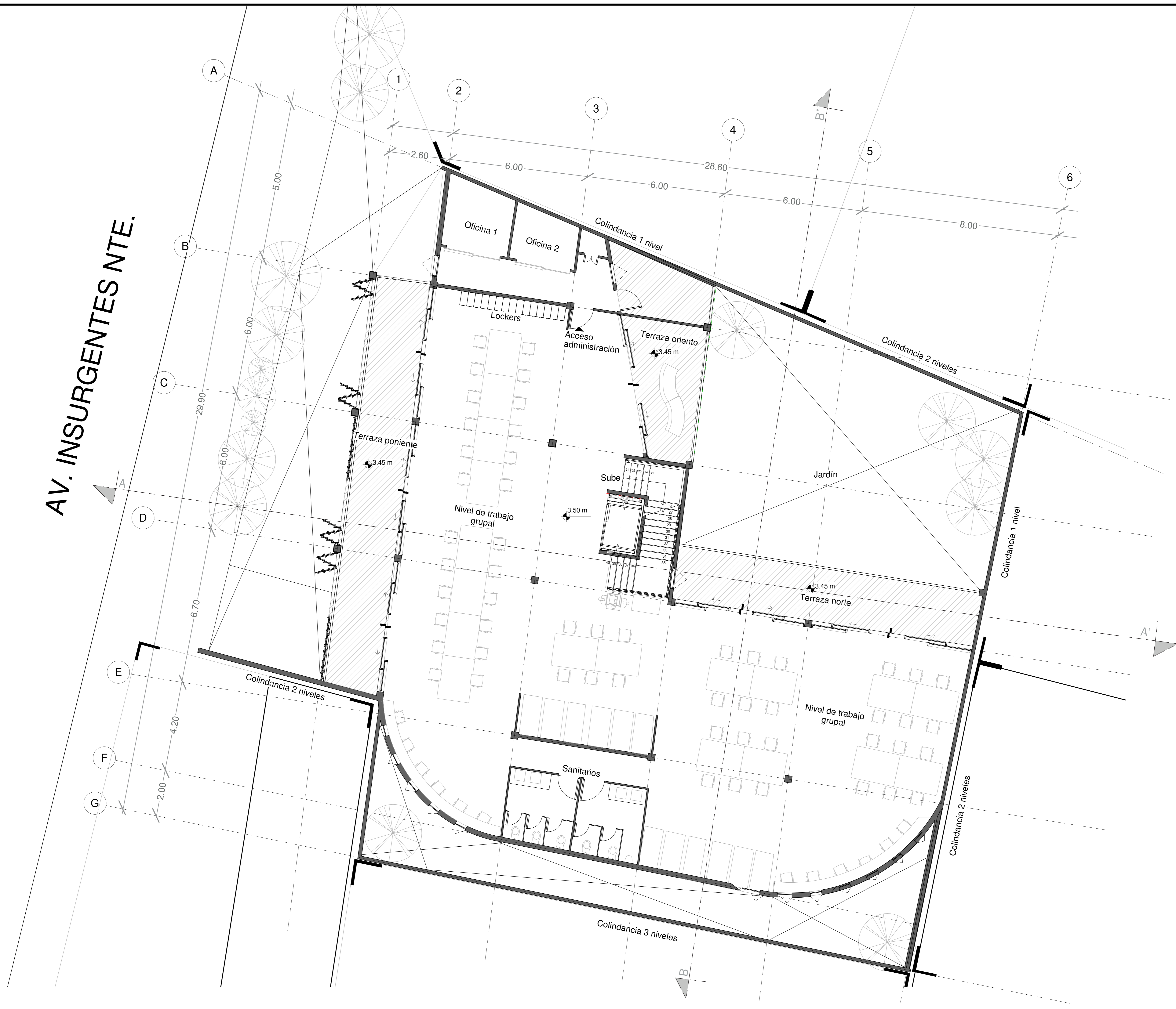
Proyecto **Centro Educativo**

Ubicación
Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

Plano **Planta Baja**

Fecha 08/12/2021	clave
Escala 1 : 75	A02
Cotas metros	
Diseñó y dibujó Gerardo Linares	
Escala gráfica	

AV. INSURGENTES NTE.



Crequis de localización



Simbología

- N.B. Nivel de banqueta
- N.C. Nivel de calle
- N.P.T. Nivel de piso terminado
- Escalón

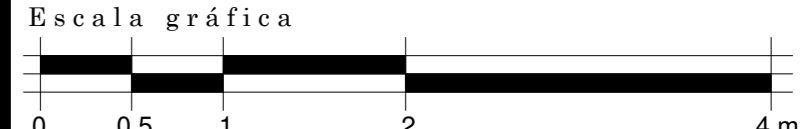
Notas

Proyecto **Centro Educativo**

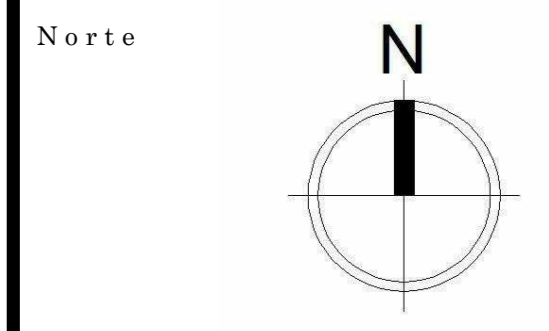
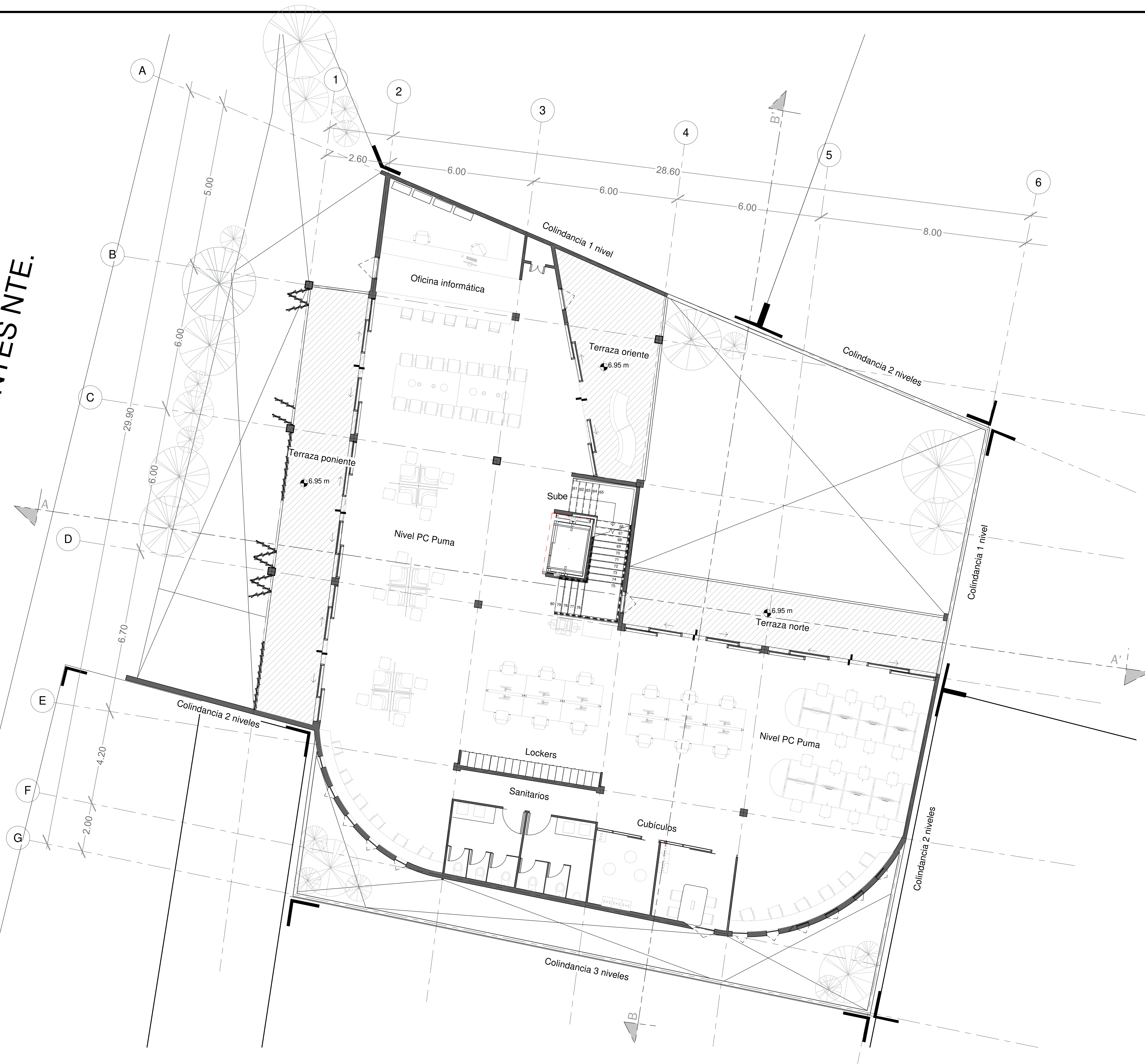
Ubicación
Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

Plano **Primer Nivel**

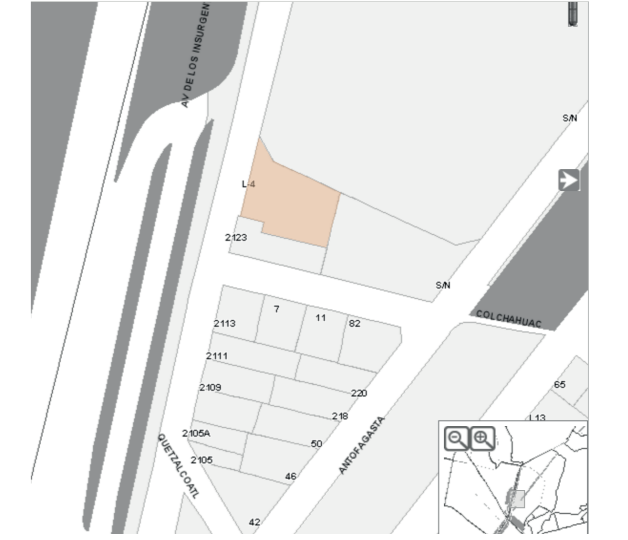
Fecha 08/12/2021	clave
Escala 1 : 75	A03
Cotas metros	
Diseño y dibujo, Gerardo Lizares	



AV. INSURGENTES NTE.



Crequis de localización



Simbología

- N.B. Nivel de banqueta
- N.C. Nivel de calle
- N.P.T. Nivel de piso terminado
- Escalón

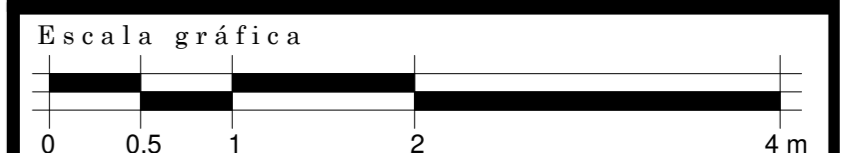
Notas

Proyecto **Centro Educativo**

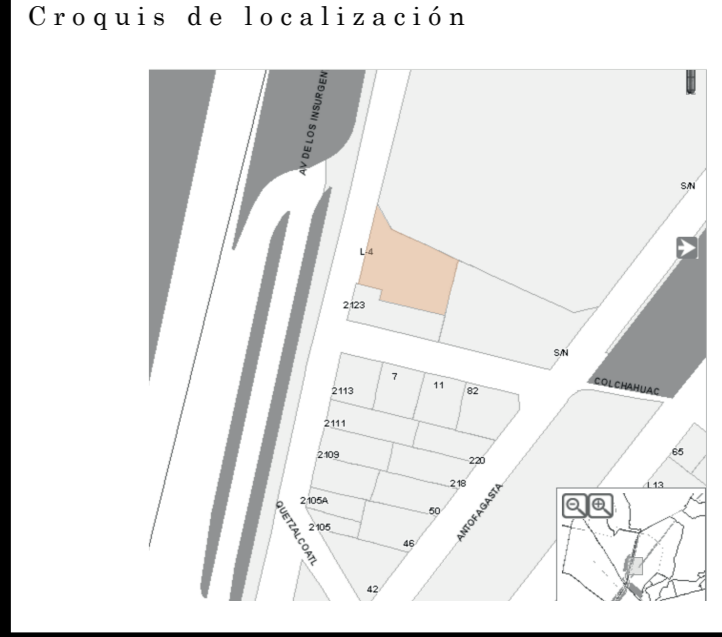
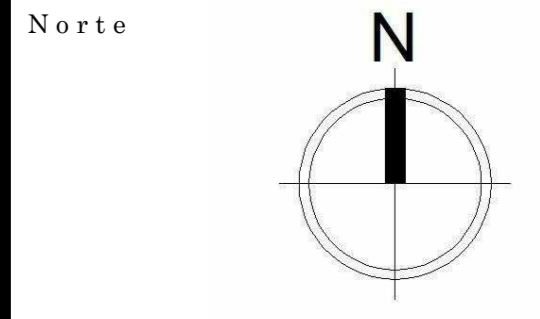
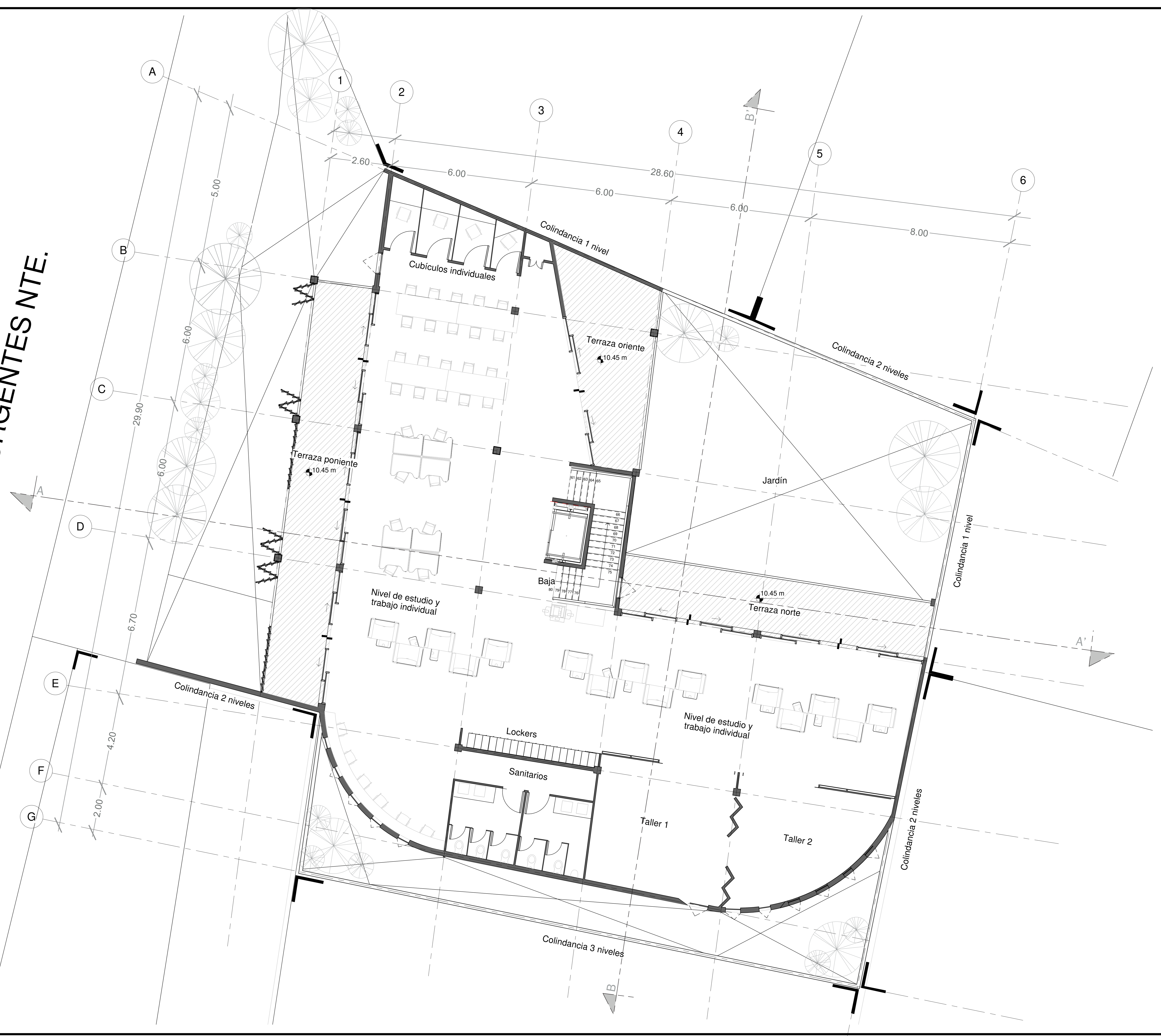
Ubicación
Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

Plano **Segundo Nivel**

Fecha 08/12/2021	clave
Escala 1 : 75	A04
Cotas metros	
Diseño y dibuj, Gerardo Linares	



AV. INSURGENTES NTE.



Simbología

N.B.	Nivel de banquetta
N.C.	Nivel de calle
N.P.T.	Nivel de piso terminado
	Escalón

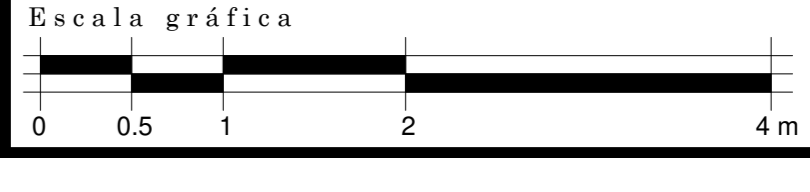
Notas

Proyecto **Centro Educativo**

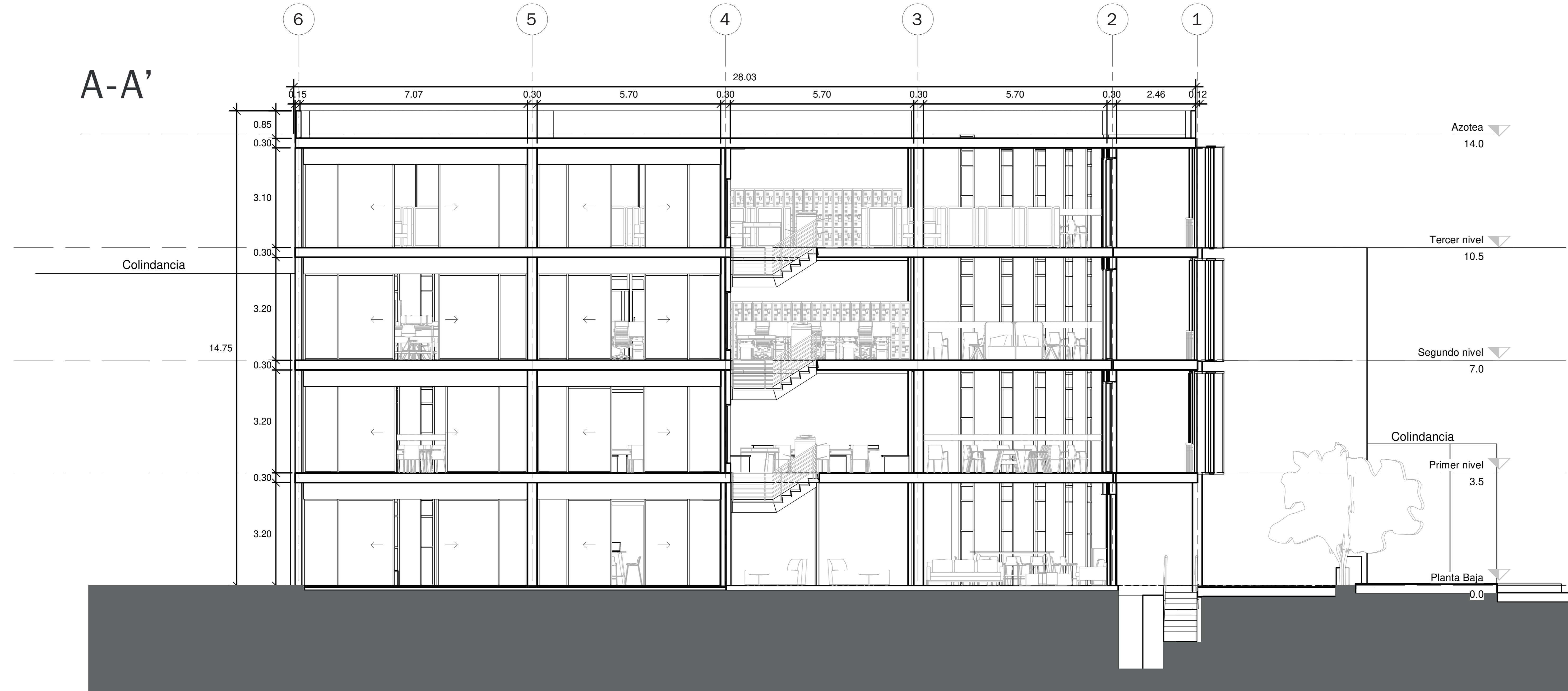
Ubicación
Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

Plano **Tercer Nivel**

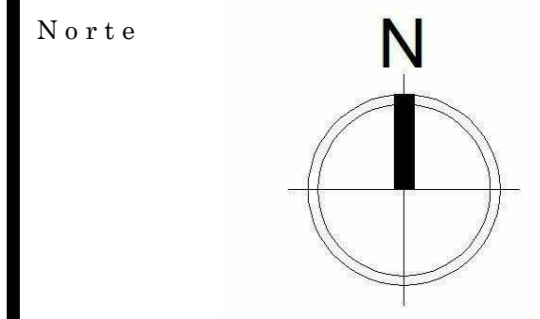
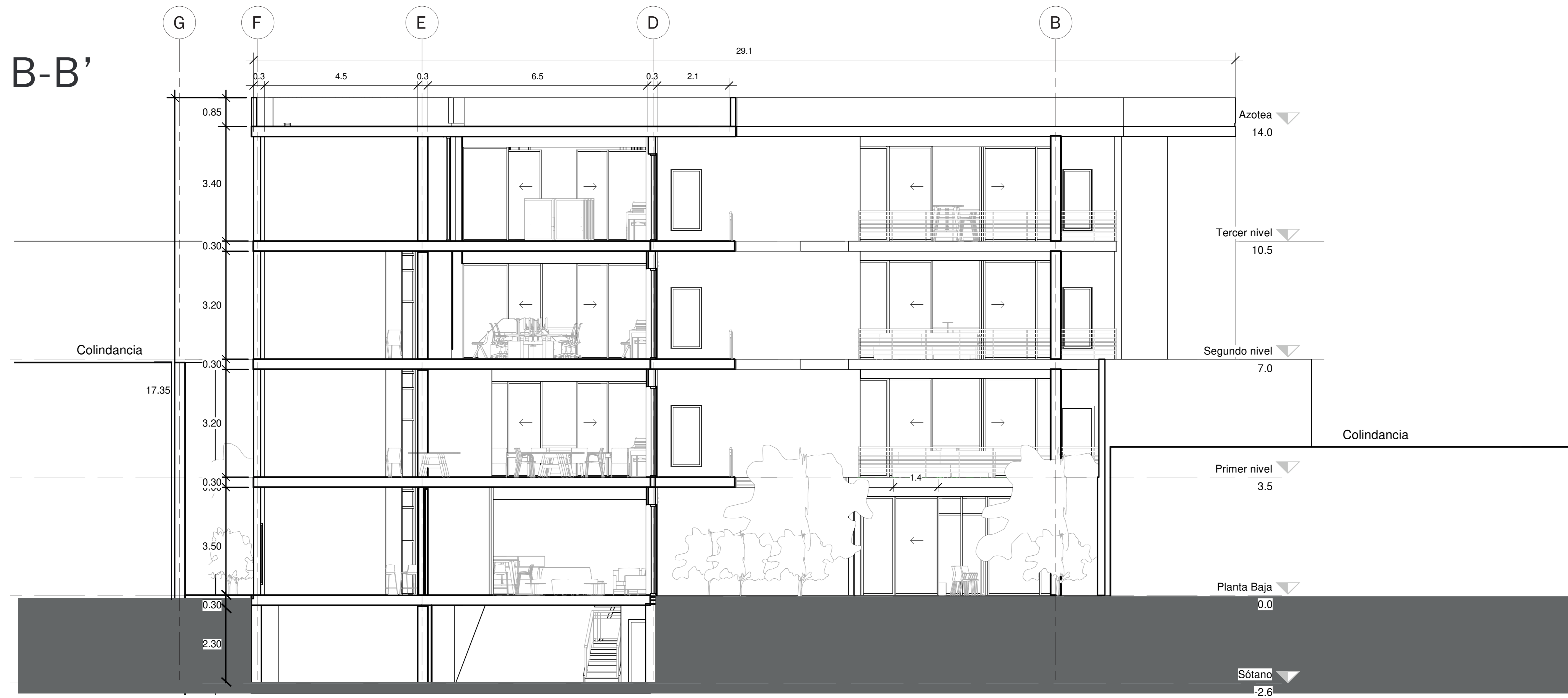
Fecha 08/12/2021	clave
Escala 1:75	A05
Cotas metros	
Diseño y dibujo, Gerardo Linares	



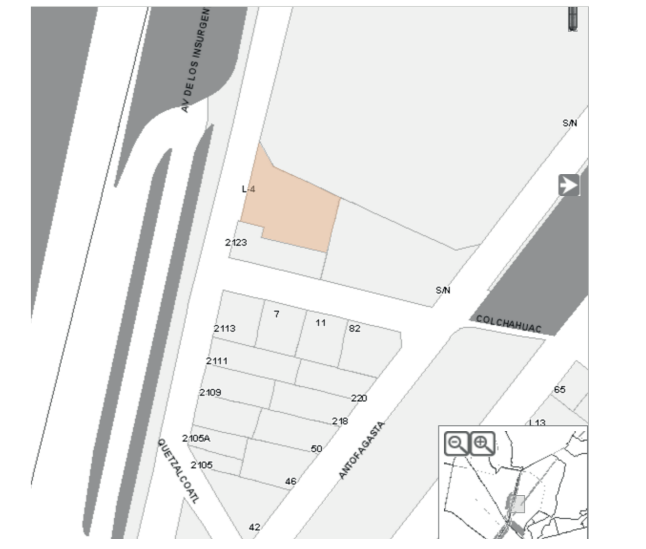
A-A'



B-B'



Crequis de localización



Simbología

- N.B. Nivel de banqueta
- N.C. Nivel de calle
- N.P.T. Nivel de piso terminado
- Escalón

estudio de áreas

Notas

Proyecto **Centro Educativo**

Ubicación
Av. Insurgentes Norte, L-4 Col. Santa Isabel Tola

Plano **Cortes**

Fecha 08/12/2021

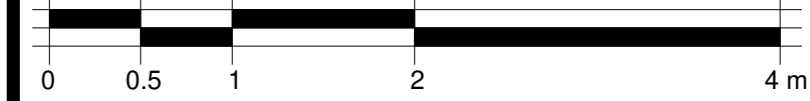
Escala 1:75

Cotas metros

Diseño y dibujo Gerardo Linares

clave **A06**

Escala gráfica



Imágen objetivo



Fachada principal

Imágen objetivo



Patio interior