



**Universidad
de La Laguna**

**Estudio y aplicación de sistemas pasivos para
mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena
Artigas. Integración en un modelo BIM.**

Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado

**Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la
Construcción**

Autores:

Estudiante Gerardo Iván García Díaz

Tutor/a Norena Martín Dorta

Co-tutor/a José Luis Dólera

Julio 2018

Dña. Norena Martín Dorta, con N.I.F. 78674114S, profesora del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería del Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de La Laguna, como tutor.

HACE CONSTAR

Que la presente memoria titulada:

“Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un modelo BIM”

Ha sido realizada bajo su dirección por D. Gerardo Iván García Díaz con N.I.F. 43798173D.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 2 de julio de 2018.

D. José Luis Dólera Martínez, con N.I.F. 34818253W, Arquitecto, como co-tutor.

HACE CONSTAR

Que la presente memoria titulada:

“Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un modelo BIM”

Ha sido realizada bajo su co-dirección por D. Gerardo Iván García Díaz con N.I.F. 43798173D.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 2 de julio de 2018.

Agradecimientos

Este Trabajo Fin de Máster ha sido posible gracias al apoyo y ayuda de muchas personas a las que me gustaría dar mi agradecimiento, ya que con la aportación de cada una de ellas se ha llevado a cabo, así como el total de las asignaturas que lo conforman.

En primer lugar, mi agradecimiento a todos los profesores del Máster, y en especial a mi tutora Norena Martín y a mi co-tutor José Luis Dólera, que han estado constantemente asistiendo y aconsejando con todas las dudas y cuestiones que me han surgido, y que han despertado en mí un interés renovado en las nuevas tecnologías aplicadas a la construcción.

Agradezco enormemente la ayuda recibida por parte de Sonia Herrera, redactora del proyecto que ha servido como base para desarrollar este Trabajo Fin de Máster, a través de su desinteresada colaboración, junto con quien coordino la gestión de la ejecución del proyecto contemplado en este trabajo.

Agradecimientos al interés y ayuda por parte de mis compañeros, con los que se ha formado un grupo dispuesto a colaborar y ayudarse entre sí.

A mi padre, por haberme transmitido el amor y vocación por mi profesión.

En especial a mis tres soles Raquel, Marta y Luis, por su paciencia y privación del tiempo para compartir juntos los ratos libres, sin lo que me hubiese sido imposible desarrollar este trabajo y el Máster.

Resumen

ESTUDIO Y APLICACIÓN DE SISTEMAS PASIVOS PARA MEJORAR LA ENVOLVENTE DEL CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS. INTEGRACIÓN EN UN MODELO BIM.

Propuesta de protecciones pasivas para mejorar la envolvente térmica de una edificación existente denominada “Centro Municipal Tena Artigas” y su integración en un Modelo BIM.

Los objetivos propuestos serán el estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del edificio, vistos en la asignatura de Tecnologías Constructivas Innovadoras en Rehabilitación de Edificios y el modelado BIM del edificio que nos permita el estudio de los sistemas pasivos de forma integral, cuyos conocimientos se adquirieron en la asignatura de Nuevos Modelos de Gestión.

Se propone la utilización de herramientas avanzadas de modelado y cálculo que se exponen en los apartados correspondientes.

Palabras clave: BIM, TENA ARTIGAS, ENVOLVENTE, EDIFICIUS, PUENTE TERMICO

Abstract

STUDY AND IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE PASIVE PROTECTIONS TO IMPROVE THE THERMAL ENVELOPING OF CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS. BIM INTEGRATION MODEL.

A sustainable pasive protections design to improve the thermal enveloping of a building called “Centro Municipal Tena Artigas” and its implementation in a BIM model.

The proposed objectives will be the study and application of passive systems to improve the building enveloping, seen in the subject of Innovative Building Technologies in Building Rehabilitation and the BIM modeling of the building that allows us to study passive systems in an integral way, whose Knowledge was acquired in the subject of New Management Models. It is proposed the use of advanced modeling and calculation tools that are exposed in the corresponding sections.

Keywords: BIM, TENA ARTIGAS, ENVELOPING, EDIFICIUS, THERMAL BRIDGE.

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Introducción / Planteamiento | 8 |
| 1.1. Antecedentes | 8 |
| 1.2. Objetivos | 9 |
| 1.3. Hipótesis | 9 |
| 1.4. Metodología | 10 |
| 2. Estado de la Tecnología | 10 |
| 3. Estudio previo | 12 |
| 4. Caso de Estudio: Centro Municipal Tena Artigas | 20 |
| 5. Resultados | 24 |
| 6. Conclusiones | 31 |
| 7. Líneas de trabajo futuro | 33 |
| 8. Bibliografía | 33 |
| 9. Anexos | 35 |

1. Introducción / Planteamiento

Desde el Servicio de Patrimonio del Excmo. Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife se están promoviendo diferentes actuaciones consistentes en la rehabilitación de inmuebles municipales, con el objetivo de convertir o cambiar su uso y adaptarlos a nuevas necesidades municipales. En otros casos, aunque en menor medida, se están realizando proyectos de nueva planta. Aprovechando el desarrollo de mi labor profesional como Arquitecto Técnico en dicho servicio municipal, y el reciente comienzo de la obra correspondiente a uno de dichos proyectos denominado “PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIO PARA UBICACIÓN DEL CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS” [1], se presenta este Trabajo Fin de Máster, y que centra su desarrollo en el Modelado BIM del edificio cuyo acondicionamiento se prevé en este proyecto, para proponer la mejora de la sostenibilidad de la envolvente mediante sistemas pasivos.

1.1. Antecedentes

El proyecto de acondicionamiento anteriormente citado, surge de la necesidad que tiene el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife de cambiar de ubicación de las instalaciones situadas en la plaza Irineo González, nº1, en el que se desarrollan las funciones propias de un Centro de formación y Empleo. La nueva ubicación se situará en el antiguo Colegio Público de Educación Infantil y Primaria Tena Artigas, emplazado en la calle Francisco García Talavera s/n, del barrio de Miramar (Ofra), el cual cesó su actividad en el año 2010.

Este proyecto de ejecución inició su fase de ejecución el pasado mes de marzo de 2018. Anteriormente a esta fecha, y habiendo previsto su inicio, se presentó como propuesta de Trabajo Fin de Máster el desarrollo de una serie de mejoras consistentes en:

- Mejoras mediante sistemas pasivos de la envolvente del edificio, estudiadas en la asignatura de Tecnologías Constructivas Innovadoras en Rehabilitación de Edificios.[3]
- Empleo de materiales sostenibles (hormigones con espuma de poliuretano, morteros, materiales de cambio de fase), estudiados en la asignatura de Tecnologías Constructivas Innovadoras en Rehabilitación de Edificios.
- Modelado BIM del edificio para el estudio de la envolvente con las mejoras anteriormente citadas.[5]

- Propuesta de mejoras en la Gestión de la Calidad y de Residuos de Construcción de la empresa constructora adjudicataria.

En una primera reunión con la Directora del Máster, y tras recomendación suya, debido básicamente al gran volumen de contenido de la propuesta y al formato del Trabajo Fin de Máster, se acordó la reducción del contenido del mismo, considerando los apartados de modelado BIM y mejoras de la envolvente, descartando el resto.

1.2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo fin de máster pretende abordar dos aspectos:

- el estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del edificio, vistos en la asignatura de Tecnologías Constructivas Innovadoras en Rehabilitación de Edificios.
- desarrollar el modelado BIM del edificio que nos permita el estudio de los sistemas pasivos de forma integral, cuyos conocimientos se adquirieron en la asignatura de Nuevos Modelos de Gestión.

1.3. Hipótesis

Al tratarse de un edificio ya construido en el que se acondicionarán las aulas del antiguo colegio para convertirlas en aulas de formación y sedes de asociaciones vecinales, y cuyas obras de acondicionamiento están en ejecución desde el pasado mes de marzo, se plantea este trabajo como el caso real que es, partiendo de los datos contenidos en el proyecto de ejecución mediante el cual se han adjudicado las obras, como base para realizar el modelado BIM. Se planteará en este modelado la solución de proyecto de estado acondicionado o previsto en proyecto, pudiendo reflejar en el mismo el estado anterior, ya que se producen entre otros, modificaciones consistentes en demoliciones varias o la instalación de ascensores. Dado el carácter real de la intervención, se intentará reflejar en este modelado los posibles cambios realizados hasta la fecha de entrega del Trabajo Fin de Máster.

De igual modo, se plantearán tanto en el modelado como en planos de planta, las protecciones pasivas que mejorarían la envolvente del edificio, justificando su cálculo y cumplimiento con las exigencias del CTE (Código Técnico de la Edificación). Se adoptarán básicamente medidas de mejora en la envolvente del edificio,

principalmente en la fachada y en los huecos, así como algunas en cubierta. Se descartan protecciones activas en el edificio.

1.4. Metodología

Como procedimiento para la realización del presente proyecto, se toman los planos y datos aportados por el Arquitecto redactor del proyecto [*Herrera García, Sonia. Arquitecto*], de acuerdo a su proyecto de ejecución “*Proyecto de Acondicionamiento de Edificio para Centro Municipal Tena Artigas – Miramar (Ofra)– T.M. de Santa Cruz de Tenerife*” [1], que sirven como base para su importación en formato DXF o DWG en la aplicación BIM. Con el modelado BIM se pretende representar el edificio en su estado definitivo, en su ubicación geográfica correspondiente y con la debida orientación, para con ello justificar el cumplimiento de la forma más real posible para las medidas de protección pasiva de la envolvente del edificio. Para el cálculo de transmitancias térmicas y otros necesarios para la envolvente se utilizará la aplicación TERMUS BRIDGE¹, comparando los datos obtenidos con los exigidos por el CTE. Se indican en esta memoria las zonas a estudiar sobre plano. Se incluirán en el trabajo detalles arquitectónicos de las zonas de estudio, junto con tablas justificativas.

También, con la aplicación BIM se pretende ubicar el edificio sobre un modelo real del terreno, obteniendo el modelo topográfico con la vinculación del programa EDIFICIUS a GOOGLE EARTH.

2. Estado de la Tecnología

Hace más de 30 años, apareció en el mercado la primera versión de Archicad, y el concepto de BIM desarrollado en un software: dibujar en 3D incluyendo datos paramétricos en sus elementos. Fue la primera de las plataformas BIM que salió al mercado. Se lo debemos a Gabor Bojar el fundador de Graphisoft. El desarrollo inicial se planteó para Macintosh, siendo actualmente la única de las plataformas BIM que trabaja bajo ese sistema operativo juntamente con Windows.[13]

La trayectoria de Archicad, y podemos decir que paralela al BIM en general, eclosionó de la forma que conocemos hoy, a inicios de la década del 2000 gracias a la mejora constante de la potencia de los ordenadores, la aparición de internet y la mejora global

¹ Software para el cálculo de puentes térmicos con solucionador FEM. ACCA SOFTWARE.

del ancho de comunicación, y también con la nube como tecnología de almacenamiento y compartición de archivos.

La tecnología BIM es la consecuencia del avance en la técnica constructiva, derivada del uso extendidísimo de aplicaciones CAD, en las que se dibuja en formato de dos y tres dimensiones, pero en la que no se tratan los elementos como entidades y no se incluyen datos paramétricos en los mismos. La tecnología BIM permite el tratamiento de los diferentes elementos realizados en el modelado, permitiendo el aporte de los datos paramétricos de cada uno de ellos, tal como la medición, características geométricas, materiales, estratigrafía, características térmicas o estructurales, con una integración total con otras aplicaciones que intercambian los ficheros de modelado en varios formatos, siendo el IFC de los más extendidos, para facilitar cálculos de tipo estructural, acústico, o de envolvente térmica.

Pero su uso va más allá de la fase de diseño o proyecto, extendiéndose cada vez más su aplicación en el seguimiento virtual de la ejecución de obras, pudiendo establecer las fases ejecutadas y comparando lo proyectado con el estado real.

En el ámbito del estudio energético de la envolvente de edificaciones, la demanda de aplicaciones que faciliten las exigencias energéticas se ha visto enormemente incrementada en los últimos años como consecuencia de la entrada en vigor del Real Decreto 235/2013, al realizar la transposición a la que obligaba la directiva de eficiencia energética y su legislación europea. Esta ley modificó la normativa de los certificados de eficiencia energética al tenerse en cuenta la experiencia acumulada de la aplicación del R.D. 47/2007 en los últimos cinco años hasta que se aprobó el nuevo Real Decreto.

Esto ha supuesto un cambio importante, que junto a las exigencias del CTE, ha afectado al mercado inmobiliario y al proceso de alquiler y venta de inmuebles debido a que al construir, alquilar o vender un inmueble es necesario un certificado de eficiencia energética para mostrar al comprador o arrendatario, ya sea una empresa o un particular.

Casi de forma paralela a la aparición de la ley, comenzaron a surgir aplicaciones informáticas que realizan los cálculos de eficiencia energética y la envolvente de la edificación, unas con carácter oficial como CE3X (método simplificado) o LIDER-CALENER, y otras que facilitan mucho el cálculo y justificación de las exigencias energéticas como pueden ser las aplicaciones de CYPE Software.

Para la realización del presente Trabajo Fin de Máster, se han utilizado las siguientes aplicaciones:

- **EDIFICIUS**, Versión 10.00 a, para el modelado BIM.[7]
- **TERMUS-BRIDGE**, para el cálculo de puentes térmicos y transmitancia térmica.[8]

Ambas aplicaciones de ACCA Software.

3. Estudio previo

Como base teórica para el desarrollo del trabajo se aplicarán los conocimientos adquiridos en las asignaturas siguientes:

- **NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**. Tema 2 / MÓDULO II / BLOQUE II >GESTIÓN DE PROYECTOS CON EDIFICIUS. [4]
- **MODELADO Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN -BIM-[5]**
- **TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS INNOVADORAS EN REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS**. SISTEMAS PASIVOS Y ACTIVOS EN EDIFICACIÓN.[3]
- **INSPECCIONES TÉCNICAS DE EDIFICIOS**. TEMA 2 : CERTIFICACION ENERGETICA E. EXISTENTE - CE3X.[6]

Además, al tratarse de un caso real, se toman los siguientes datos como referencias indispensables:

- **PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIO PARA CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS – MIRAMAR (OFRA)**. Autor: Sonia Herrera García, colegiado nº 2722 del C.O.A.C.[1]
- **PLIEGO DE CLAÚSULAS ADMINISTRATIVAS Y ESTUDIO TÉCNICO PARA LA CONTRATACIÓN DE LAS OBRAS COMPRENDIDAS EN EL PROYECTO ORIGINAL Y COMPLEMENTARIO DE "ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIO PARA CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS – MIRAMAR (Ofra)" PARA EL EXCMO. AYUNTAMIENTO DE SANTA CRUZ DE TENERIFE**. [11]
- **OFERTA DE LA EMPRESA ADJUDICATARIA DE LAS OBRAS**: UTE VVO-VR.[12]
- **SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**. En coordinación con la Dirección Facultativa de las obras.

Como punto de partida se indican a continuación datos generales del edificio, obtenidos del archivo de Patrimonio Municipal del Ayuntamiento, del Proyecto de Ejecución, y del conocimiento propio del mismo.

El edificio principal se compone de dos volúmenes independientes de planta rectangular, desplazados verticalmente entre sí y unidos en dos puntos por las cajas de escaleras.



Figura 1. Fachada Norte del Edificio, Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los volúmenes del edificio, consta de tres plantas. Las cubiertas son inclinadas, salvo las de las cajas de escaleras, que se desarrollan con el trazado de las losas.

El acceso al edificio, se realiza a través de un soportal, al que se accede a través de dos escalones ubicados delante de cada uno de las entradas del edificio. Se colocarán dos rampas para hacer que la entrada al edificio sea accesible.



Figura 2. Fachada Este del Edificio, Fuente: Elaboración propia

Las obras a realizar consisten, principalmente, en la reparación de las humedades existentes en diversas zonas concretas del edificio, en la instalación de un ascensor que dé acceso a todas las plantas, en la redistribución interior de los distintos espacios, principalmente en planta baja y planta primera, así como la reforma de todos los aseos del edificio, incorporando

aseos adaptados. Se adaptarán y sustituirán las instalaciones que sean necesarias para que cumplan con la normativa vigente, y se adaptarán a la nueva distribución. En las fachadas se sustituirán la totalidad de las carpinterías y se procederá a la reparación y pintado de las mismas. Se colocará un trasdosado interior en todos los lugares de trabajo del edificio y se instalará falso techo en las zonas donde la altura lo permita. Se pulirá el pavimento existente y se reparará donde sea necesario.

La planta baja, se destinará principalmente, a la recepción del centro. Se respetarán las dos entradas existentes, y se ubicarán el mostrador de información (recepción), la secretaría y un aula teórica. Se mantiene el salón de actos existente; se sustituirá su pavimento, recuperando las piezas para futuras reposiciones, se colocará un falso techo acústico a base de paneles rígidos de lana de roca o fibra de vidrio de 20 - 25 mm de espesor, y se reparará la cubierta, ya que presenta signos de humedad. La cubierta del salón de actos es una cubierta plana con claraboyas dispuestas en toda su superficie, se observa que muchas de ellas han sido reparadas, y se encuentran actualmente anuladas.



Figura 3. Salón de actos, Fuente: Elaboración propia

La entreplanta primera tiene una altura libre de 2,39 metros, quedando por debajo de la altura mínima permitida para desarrollar los trabajos sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables, por lo que en esta planta se ubicarán todos los servicios necesarios para dotar al edificio de las correspondientes instalaciones para su funcionamiento. Así, en esta planta se ubicarán un almacén de material, un cuarto para el servidor, un office para el personal de plantilla, un archivo, un cuarto de almacenaje de los utensilios de limpieza, un almacén de mobiliario y los aseos para el personal del centro.



Figura 4. Vista parcial entreplanta segunda (estado actual), Fuente: Elaboración propia

En la entreplanta segunda, se ubicará el Club del Empleo y el área de profesores. Su distribución se ha adaptado a la distribución existente.

Las entreplantas tercera, cuarta y quinta, están destinadas al desarrollo de la formación del centro. Se situarán en ellas las aulas teóricas de formación, aulas de informática y aulas polivalentes.

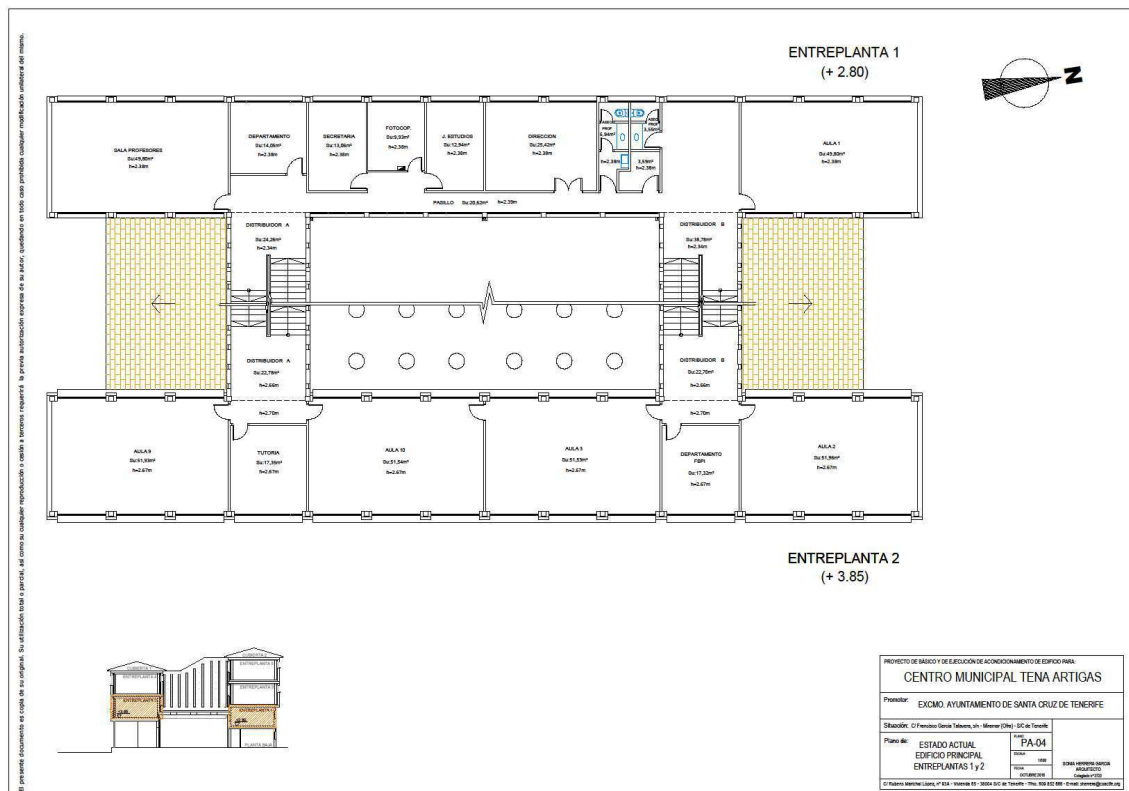
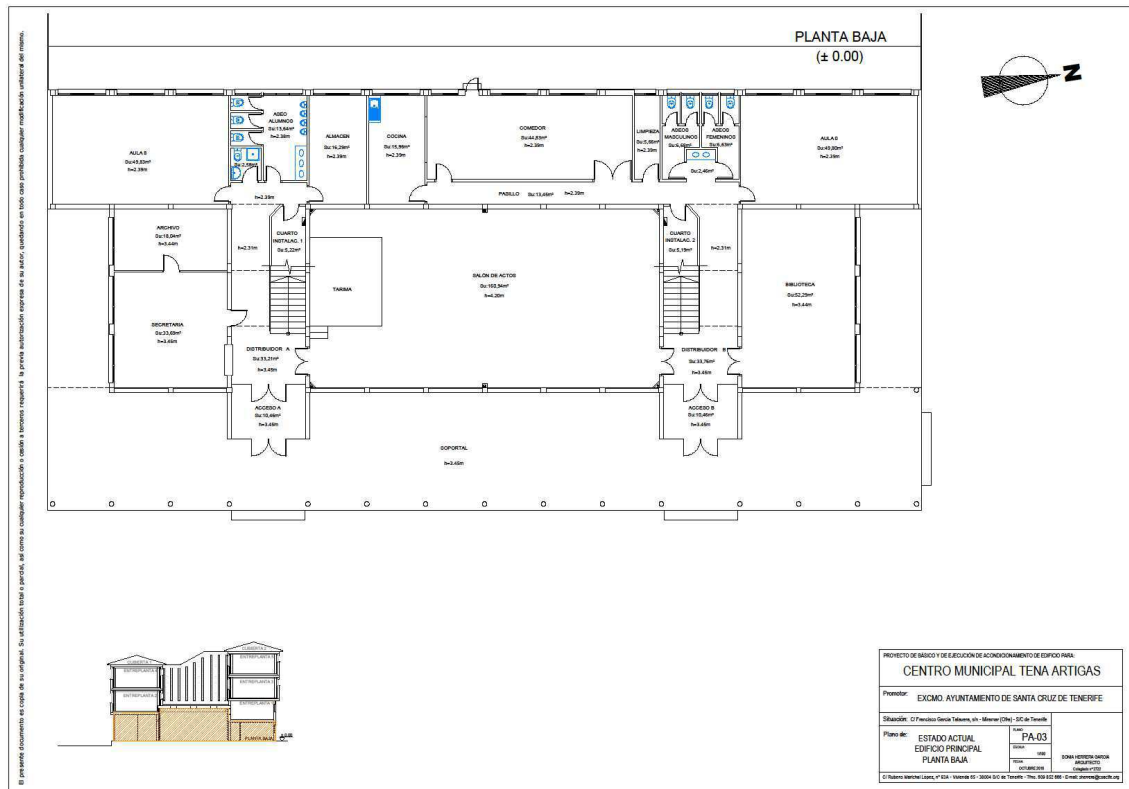
A su vez, en las plantas tercera y quinta, se reformarán los aseos existentes para dotar al centro de aseos masculinos y femeninos para los alumnos, así como un aseo adaptado en la planta quinta.

Las cubiertas del centro presentan un mal estado de conservación y mantenimiento, por lo que se plantea la reparación de las zonas deterioradas, sobre todo en las cubiertas de las cajas de escaleras, donde cambia de pendiente y en sus encuentros con las fachadas y los desagües.

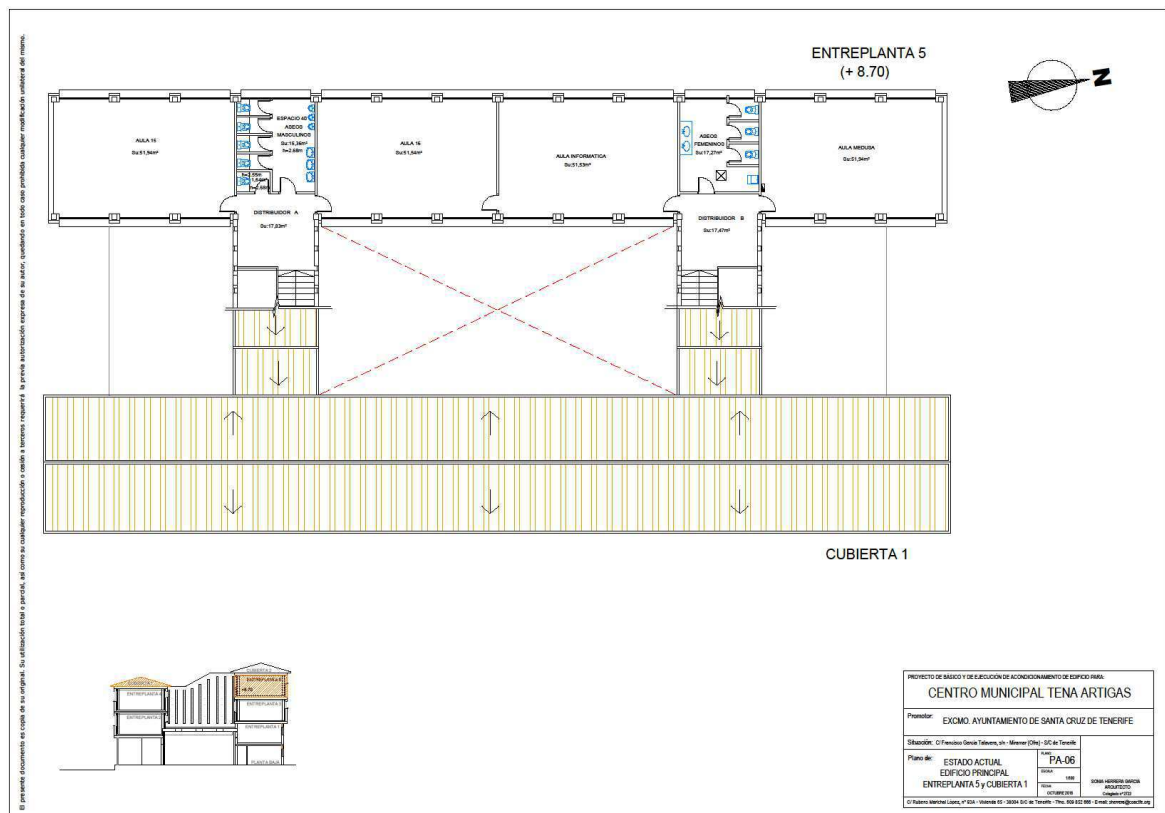
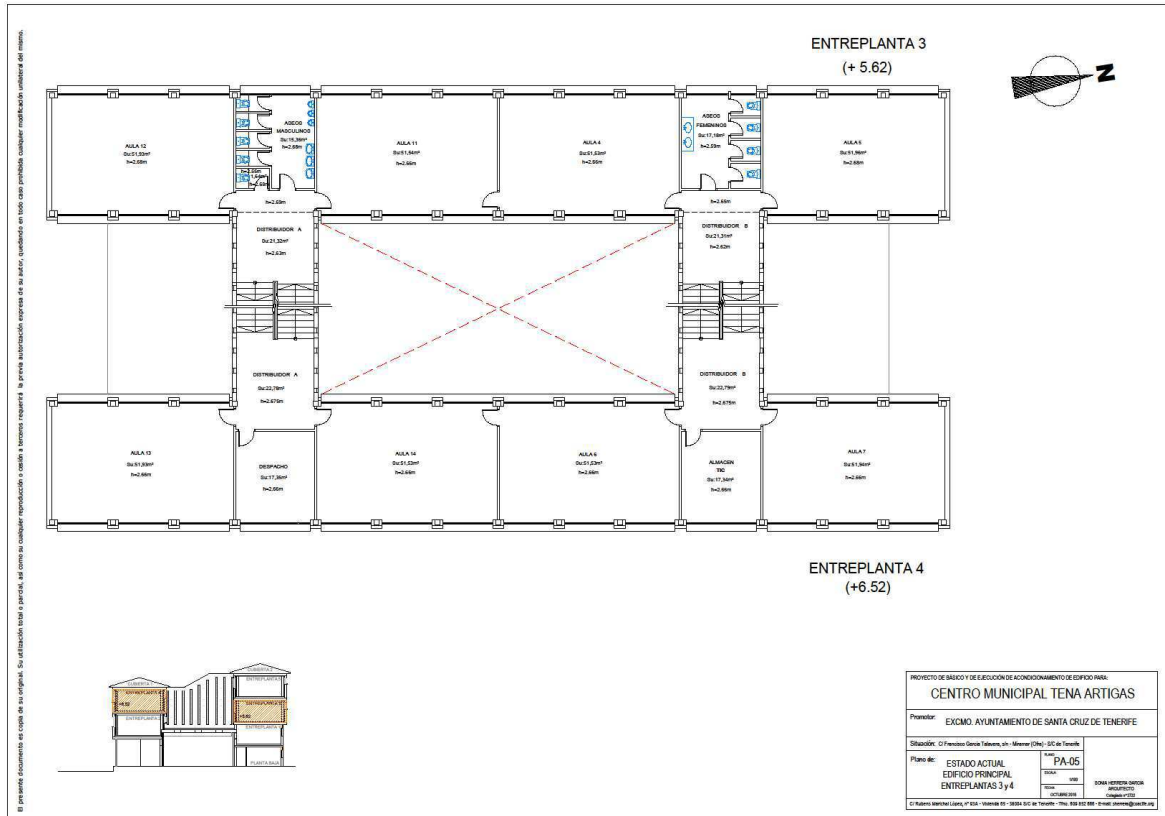


Figura 5. Vista parcial estado actual de las cubiertas, Fuente: Elaboración propia

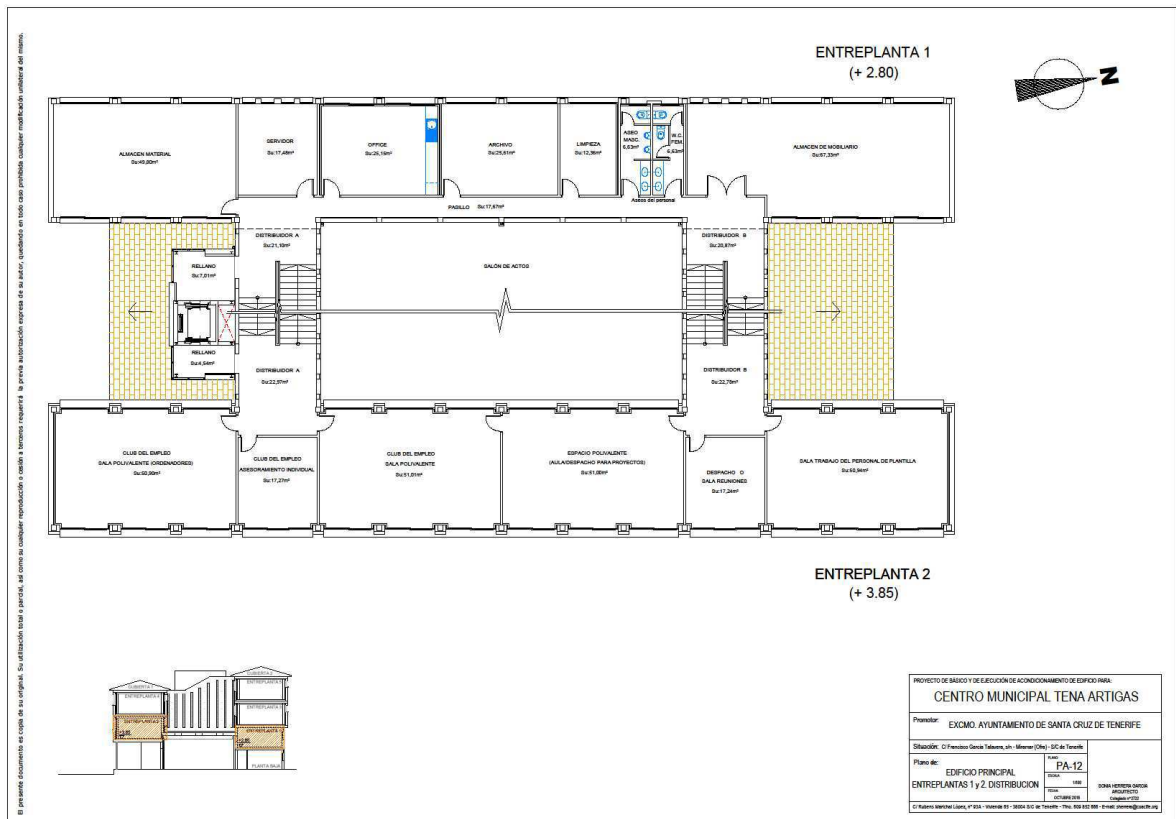
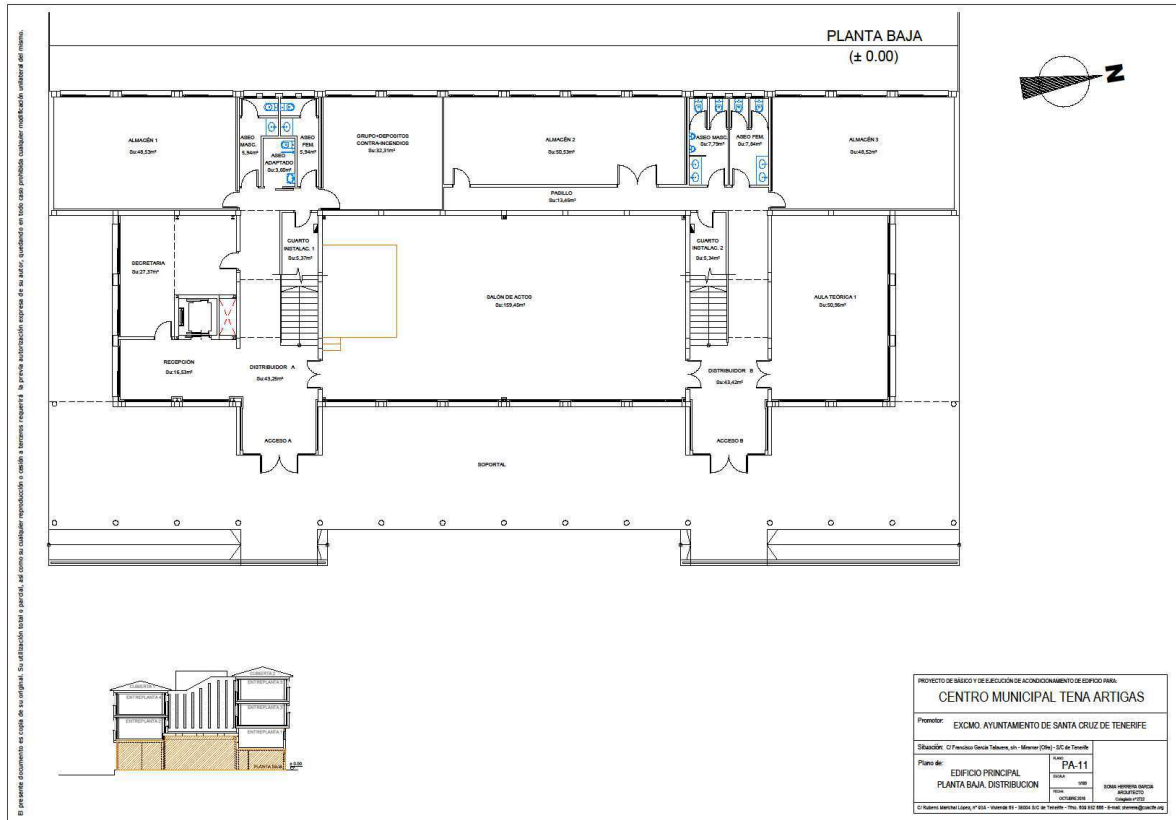
Para el objeto de este trabajo se realizará el levantamiento en 3D o modelado del edificio a partir de los planos de planta de estado actual y futuro que se indican:



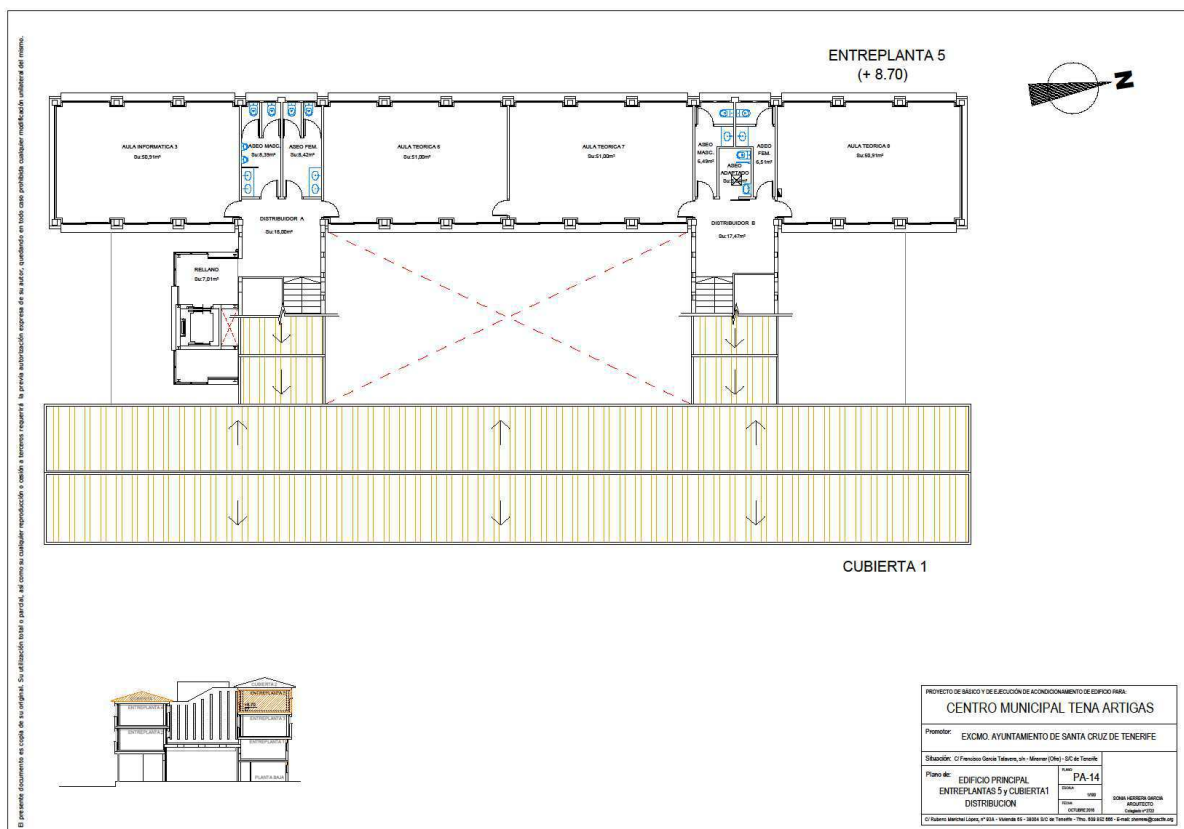
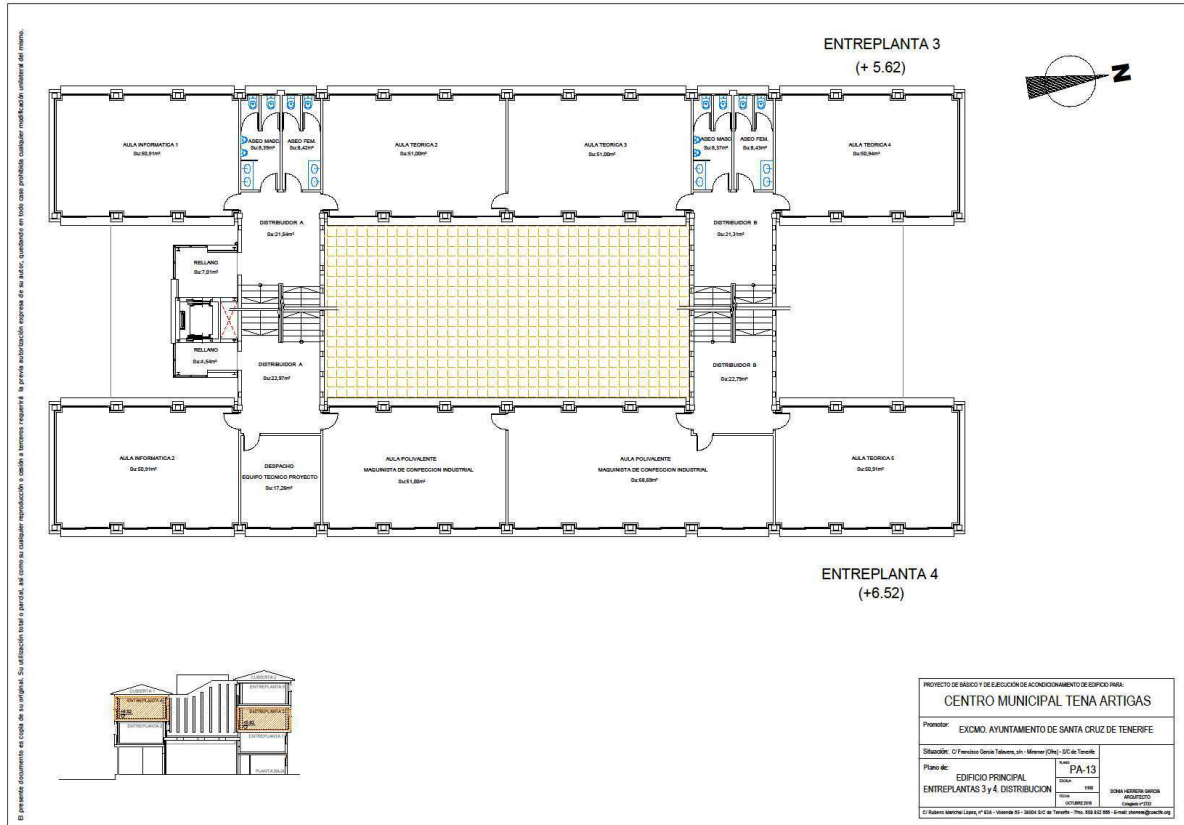
Figs. 6 y 7. Estado actual. Planta Baja, Entreplantas 1 y 2. Planos de Proyecto.



Figs. 8 y 9. Estado actual. Entreplantas 3,4, 5 y Cubierta 1. Planos de Proyecto.



Figs. 10 y 11. Estado modificado. Planta Baja. Entreplantas 1 y 2. Planos de Proyecto



Figs. 12 y 13. Estado modificado. Entreplantas 3 y 4. Cubierta 1. Planos de proyecto.

4. Caso de Estudio: Centro Municipal Tena Artigas

El objetivo del Trabajo Fin de Máster es la aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del edificio y la integración en un modelo BIM.

Como punto de partida, se realiza el siguiente estudio de la demanda energética de acuerdo a las exigencias documento básico HE1 del CTE: Limitación de demanda energética.

EXIGENCIA BÁSICA HE 1: Limitación de demanda energética.

La envolvente del edificio cumple todos los requisitos necesarios para garantizar la limitación de la demanda energética adecuada para avalar el bienestar térmico en función del clima de su localidad y de su uso. De este modo, tiene unas características adecuadas de aislamiento e inercia, de permeabilidad al aire y de exposición a la radiación solar, evitando la aparición de humedades de condensación e intersticiales.

Por tratarse de una obra de reforma de menos del 25% de la superficie total de la envolvente térmica, que no implica cambio de uso ni modifica la demanda interior o exterior del edificio, únicamente han de cumplir esta exigencia, los elementos de la envolvente térmica que se sustituyen (incorporan o modifican) cumpliendo con las limitaciones correspondientes.

La edificación objeto del presente proyecto cumple con el objeto de evitar descompensaciones entre la calidad térmica de los diferentes espacios habitables. Se limita la presencia de condensaciones así como otros riesgos debidos a procesos que pueden producir una merma significativa de las prestaciones térmicas o de la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica.

El edificio se ubica en Santa Cruz de Tenerife, en zona climática $\alpha 3$ (altitud inferior a los 350 m)

Es un edificio aislado, con fachada principal orientada a Este, fachada posterior a Oeste, y fachadas laterales a Norte y a Sur. Por tanto, constituyen la envolvente térmica del edificio los siguientes cerramientos:

- Cubiertas.
- Fachadas.
- Ventanas y Puertas acristaladas de cada fachada.
- Suelo en contacto con el terreno.
- Suelo en contacto con el aire exterior.

El perfil de uso no se modifica con respecto al perfil de uso anterior del edificio. Es de media carga interna según ocupación, equipos, iluminación y ventilación y temperatura de consigna baja. Se establece un periodo de utilización 12 h.

Se plantea como mejora, la **colocación de un trasdosado interior**, con el fin de evitar posibles condensaciones, ya que **se van a sustituir completamente, todas las carpinterías exteriores.**

Se ha tenido en cuenta la composición de la fachada existente, planteándose la siguiente composición de cerramiento: **Fachada existente + Cámara de aire + Trasdoso autoportante con aislamiento térmico de 5 cms.** Esta solución estaría por debajo de los valores de transmitancia máximos, permitidos por el CTE.

D.2.3 ZONA CLIMÁTICA $\alpha 3$, A3

| | |
|--|--|
| Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno | $U_{Mlim}: 0,94 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de suelos | $U_{Slim}: 0,53 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de cubiertas | $U_{Clim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Factor solar modificado límite de lucernarios | $F_{Lim}: 0,29$ |

Tabla 1. Apéndice D. Documento básico HE1 del CTE.

Asimismo, los elementos de la envolvente térmica que se modifican, cumplen las limitaciones establecidas en la tabla siguiente (tabla 2):

| | Valor límite | Valor de proyecto |
|--|-------------------------------|---|
| Transmitancia térmica de huecos ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) | Zona α : $U \leq 5,70$ | CA1: $U = 3,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA2: $U = 4,86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA3: $U = 4,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA4: $U = 5,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA5: $U = 4,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA6: $U = 1,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA7: $U = 1,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA8: $U = 1,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA9: $U = 4,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA10: $U = 5,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA11: $U = 4,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA12: $U = 5,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA13: $U = 4,79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA14: $U = 1,54 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA15: $U = 1,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ CA16: $U = 2,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ |
| Permeabilidad al aire de huecos ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) | Zona α : < 50 | Clase 3: $9 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ Clase 4: $3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ |

Tabla 2. Cumplimiento de los elementos en huecos. Elaboración propia.

Justificación de los cálculos de las transmitancias de los huecos:

Vidrios

| Nombre | $U(\text{W/m}^2 \text{K})$ | Factor Solar |
|--------------------------------|----------------------------|--------------|
| Doble con control solar_6/12/6 | 1,30 | 0,28 |
| Doble con control solar_6/16/6 | 1,30 | 0,28 |

Marcos

| Nombre | $U(\text{W/m}^2 \text{K})$ |
|---|----------------------------|
| Corredera con rotura de puente térmico | 4,00 |
| Corredera con rotura de puente térmico mayor de 12 mm | 3,20 |

| | |
|--|------|
| Oscilante con rotura de puente térmico | 2,90 |
|--|------|

La transmitancia térmica de los marcos con rotura de puente térmico mayor de 12 mm es de 3,20 W/m²K

La transmitancia de la parte transparente de las mismas tanto para los vidrios DC_6-12-6 como para los vidrios de la fachada ligera, es de 1,30 W/m²K

Por lo que la transmitancia resultante de todos los huecos es $\leq 5,70$ W/m²K. En la fig.14 de indica detalle constructivo del cerramiento de fachada obtenido con EDIFICIUS:

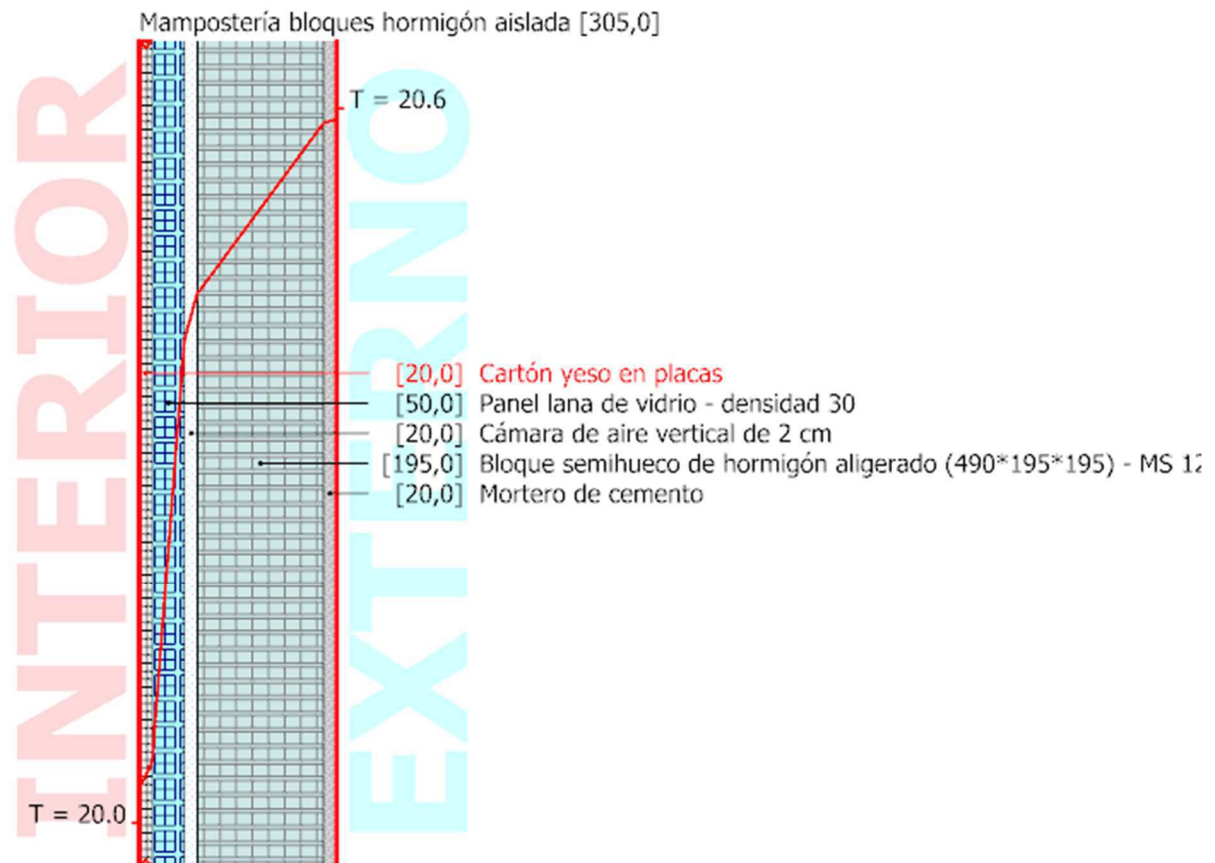


Fig.14. Detalle constructivo del cerramiento en fachada obtenido desde EDIFICIUS.

Con estos resultados, siendo favorables, se proponen además unas mejoras de la envolvente mediante los sistemas de protección pasivos siguientes:

- **Instalación de protección solar en huecos mediante persianas de lamas verticales exteriores.** Se adjunta ficha técnica de las características en los anexos. No se estima necesario el cálculo de transmitancia térmica de estas persianas dado el carácter operativo arbitrario de las mismas, pero hay que destacar su funcionalidad en cuanto a la reducción de la transmitancia térmica por la radiación solar. (Ver Anexo I).
- **Cubierta ajardinada sobre salón de actos (patio interior).** (ver anexo II). El cálculo de la transmitancia térmica de esta mejora se ha realizado con la aplicación TERMUS BRIDGE, de acuerdo a la sección esquemática obtenida y que se muestra en la Fig.15 y con la conductividad térmica que se indica en la tabla2 (tabla 3 en el anexo de cálculo):

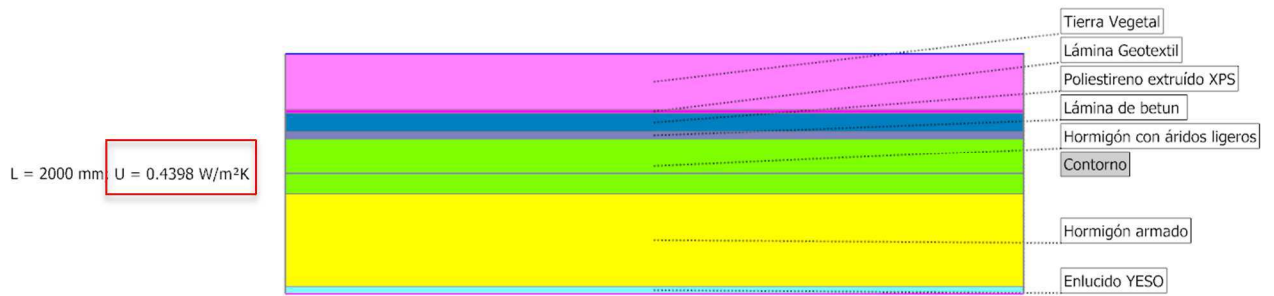


Fig.15. Sección esquemática de la cubierta ajardinada obtenida con TERMUS-BRIDGE. Elaboración propia.

En la tabla 3 se indican los distintos materiales que componen la cubierta ajardinada con la conductividad térmica de cada uno de ellos:

Tabla 3

| Material | Conductividad térmica [W/mK] |
|-----------------------------|------------------------------|
| Enlucido YESO | 0.5700 |
| Hormigón armado | 2.5000 |
| Hormigón con áridos ligeros | 1.3500 |
| Lámina de betún | 0.2300 |
| Poliestireno extruido XPS | 0.0390 |
| Lámina Geotextil | 0.0500 |
| Tierra Vegetal | 0.5200 |

Tabla 3. Conductividad térmica de los materiales. Tabla obtenida de la aplicación TERMUS-BRIDGE

Como puede observarse en la Fig.15, la transmitancia térmica resultante U es inferior a la límite exigida en el CTE (Tabla 1).

En los anexos se incluyen además otros dos cálculos (Ver Anexos III y IV) de puentes térmicos realizados con la misma aplicación, concretamente el de un pilar en fachada y el de otro pilar en esquina, de los cuales se presentan detalle de cada uno de ellos en las Figuras 16 y 17:

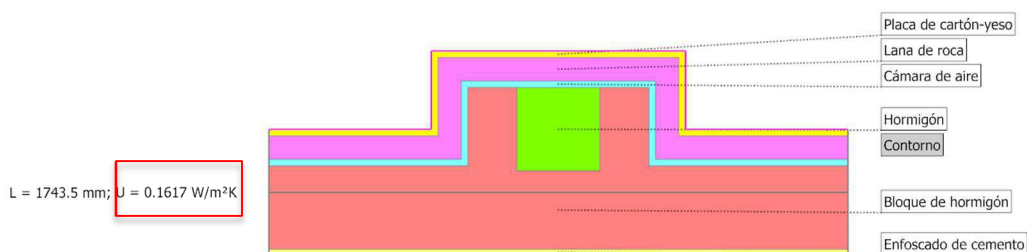


Fig. 16. Detalle del puente térmico de pilar en fachada con indicación del cálculo obtenido con TERMUS-BRIDGE. Elaboración propia.

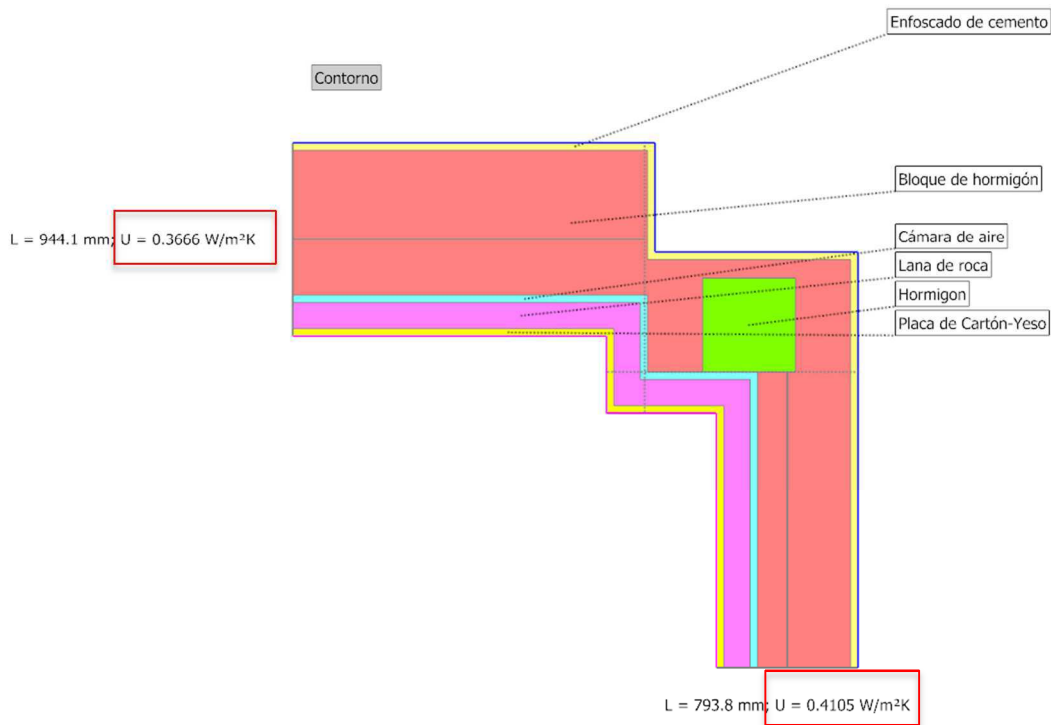


Fig. 17. Detalle del puente térmico de pilar en esquina con indicación del cálculo obtenido con TERMUS-BRIDGE. Elaboración propia.

Comprobándose en ambos que la transmitancia U es inferior a la límite exigida en la tabla 1.

5. Resultados

Los resultados del cálculo de los puentes térmicos y las propuestas de protecciones pasivas se han indicado a modo de resumen en el apartado 4 Caso de Estudio del presente Trabajo Fin de Máster, justificando el desarrollo de los mismos en los anexos. Se resumen en el cuadro siguiente:

| Mejora | Estado actual | Solución propuesta |
|------------------------------|---|--|
| Cerramiento vertical fachada | Fachada existente consistente en cerramiento con bloque de hormigón 20 cm esp. +enfoscado cemento ex+yeso int | Fachada existente + Cámara de aire + Trasdosado autoportante con aislamiento térmico de 5 cms. |
| Ventanas | Aluminio de hojas correderas con vidrio sencillo | Aluminio.Doble acristalamiento 6+12+6 y rotura de puente térmico |
| Protección solar | Ninguna | Persianas de lamas verticales |
| Cubierta Salón de actos | Cubierta plana | Cubierta ajardinada |

En el apartado BIM, las mejoras son evidentes:

| Característica | Estado previo (proyecto) | Programa EDIFICIUS |
|---|---|--|
| Planimetría, plantas, alzados, sección, formato, detalles y grafismo en general | Base en ficheros DWG/DXF, en 2D sin parámetros y escaso nivel de detalle. | Modelado del volumen con parámetros constructivos y gran nivel de detalle, a partir de la base en DWG/DXF. |
| Sencillez e intuición | Los elementos constructivos no lo son, se trata de un conjunto de líneas. | Cualquier elemento constructivo es un ente constructivo con datos. |
| Formato | En CAD resulta complicado aplicar formato a los elementos constructivos. | Cada elemento puede transformar sus características de forma automática. |

En este apartado se mostrarán varios resultados del modelado BIM realizados con la aplicación EDIFICIUS, con la que, a partir de los planos de proyecto de estado actual y modificado se ha modelado en 3D el edificio objeto de estudio. Para este modelado se ha cuidado un nivel de detalle que incluye las protecciones pasivas propuestas (cubierta ajardinada y protecciones solares en huecos), no representando gráficamente el trasdosado interior en los cerramientos exteriores aunque sí se ha tenido en cuenta la estratigrafía del mismo en dicha aplicación, como puede comprobarse en la Fig.14.

También se ha reflejado en el modelado modificado la instalación de un ascensor junto a la escalera sur, ya que el edificio no disponía y se hace necesario por normativa de accesibilidad. Las distribuciones interiores han sido representadas con sus carpinterías y huecos correspondientes, dibujando las escaleras que comunican los dos cuerpos principales del edificio. Se ha tomado un criterio personal a la hora del diseño de la fachada, como es el color definitivo o la terminación de la cubierta, que no es exactamente el contemplado en el proyecto de ejecución, representando en el estado modificado jardines verticales en la fachadas norte y sur, que no están previstos en proyecto y que no han sido objeto de cálculo, planteando en las conclusiones de este trabajo su posible inclusión en el proyecto.

Además se ha modelado la zona exterior más inmediata que rodea el edificio, intentando representar su estado real de la forma más exacta posible, aunque al realizar el montaje con el entorno del barrio donde se ubica, se pueden apreciar errores al no coincidir los volúmenes de forma precisa.

En el modelo BIM de EDIFICIUS se ha situado el edificio en su ubicación real, sito en Calle Francisco García Talavera, barrio de Ofra – Miramar, T.M. de Santa Cruz de Tenerife. Su fachada principal se orienta al Este y la posterior al Oeste, disponiendo en estas fachadas las protecciones solares de los huecos.

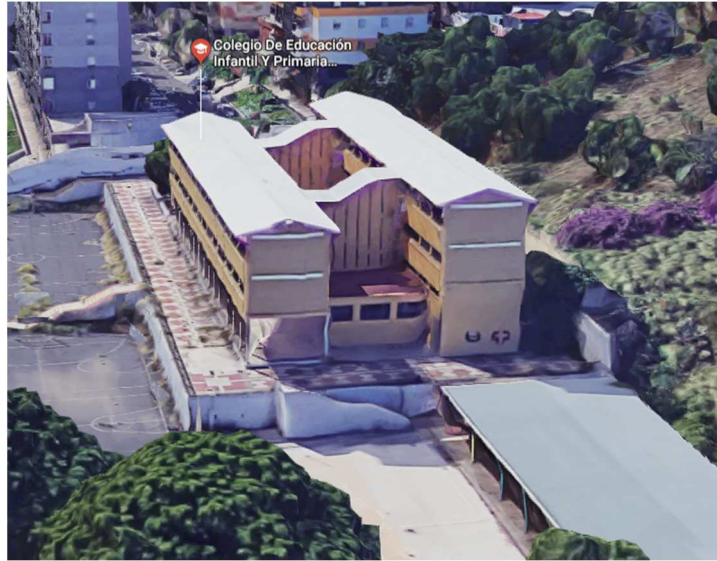


Fig. 18. Foto aérea del antiguo Colegio Tena Artigas. Fuente: Google Maps

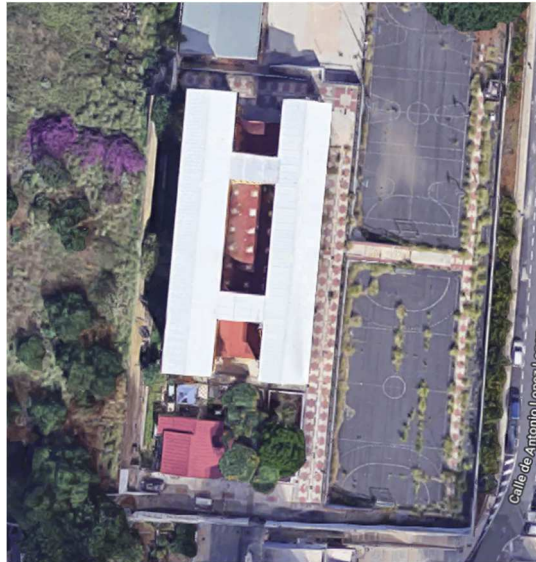


Fig. 19. Vista aérea del edificio. Orientación. Fuente: Google Maps



Fig.20. Fotomontaje del Modelado (estado actual) en el entorno de Google Maps realizado con EDIFICIUS. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 21. Fotomontaje del Modelado (estado modificado) en el entorno de Google Maps realizado con EDIFICIUS. Fuente: Elaboración propia.



Fig.22. Vista Fachada Sur y Este obtenida con EDIFICIUS. Estado actual. Fuente: Elaboración propia.



Fig.23. Vista Fachada Sur y Este obtenida con EDIFICIUS. Estado modificado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 24. Vista parcial fachada Norte y Este obtenida con EDIFICIUS. Estado actual. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 25. Vista parcial fachada Norte y Este obtenida con EDIFICIUS. Estado modificado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 26. Fachada Sur obtenida con EDIFICIUS. Estado modificado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 27. Vista de protecciones solares en huecos y cubierta ajardinada sobre salón de actos obtenida con EDIFICIUS. Estado modificado. Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

A través de este trabajo fin de Máster se ha intentado demostrar la gran versatilidad y utilidad de algunas aplicaciones informáticas en el mundo de la Arquitectura y de la Construcción. El avance de la tecnología BIM aplicada a la construcción es imparable a día de hoy, y existen multitud de aplicaciones basada en la misma, siendo las de algunas marcas comerciales las más conocidas y extendidas, como puede ser el programa BIM REVIT de Autodesk. Sin embargo, existen otras tantas aplicaciones que realizan la misma función y que incluso interactúan con otras aplicaciones.

Después de haber cursado las asignaturas del Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en La Construcción, y cuando surgió el proponer la temática de este trabajo, no dudé demasiado en aplicar el programa informático EDIFICIUS, el cual aprendí a utilizar en la asignatura de NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN. Me parece una aplicación sobre todo intuitiva, con una interfaz clara y sencilla, pero de gran potencial gráfico y veloz. Del mismo modo, el cálculo de puentes térmicos con la aplicación THERMUS-BRIDGE, ha sido igual de intuitivo y sencillo en el planteamiento.

En el desarrollo de trabajo se procuró ir desarrollando el modelado desde las plantas de proyecto, dibujando sobre planos importados en DXF y respetando las condiciones y dimensiones del mismo. El gran abanico que ofrece una aplicación como EDIFICIUS, permite la descarga de un amplio catálogo de soluciones constructivas de reciente creación que ayuda sobremanera a realizar el modelado a criterio propio. La interfaz del programa permite la rápida asimilación de datos y la exportación o creación de todo tipo de planos o el intercambio y creación de ficheros como pueden ser los IFC, para trabajar con otras aplicaciones BIM.

Por otro lado, la finalidad del trabajo exigió el cálculo de la demanda energética del edificio que, aunque se trata de una reforma inferior al 25% de la superficie total, requirió el cálculo de la envolvente del mismo, planteando soluciones constructivas mediante protecciones pasivas, cuyo cumplimiento se justificó con el cálculo del CTE y con la ayuda del programa THERMUS-BRIDGE, arrojando resultados muy convincentes y fiables, utilizándolo no solo para los puentes térmicos, sino también para cálculo general.

Conclusions

Through this Master's thesis, I have tried to demonstrate the great versatility and usefulness of some computer applications in the world of Architecture and Construction. The advance of BIM technology applied to construction is unstoppable today, and there are many applications based on it, being those of some commercial brands the best known and extended, such as the BIM REVIT program of Autodesk. However, there are many other applications that perform the same function and even interact with other applications.

After having completed the subjects of the Master in Management and Technological Innovation in Construction, and when it was proposed to propose the subject of this work, I did not hesitate to apply the EDIFICIUS computer program, which I learned to use in the subject of NEW MODELS MANAGEMENT. It seems to me to be an intuitive application, with a clear and simple interface, but with great graphic and fast potential. In the same way, the calculation of thermal bridges with the THERMUS-BRIDGE application has been equally intuitive and simple in the approach.

In the development of work, we tried to develop the modeling from the project plants, drawing on plans imported in DXF and respecting the conditions and dimensions of the same. The wide range offered by an application such as EDIFICIUS, allows the downloading of a wide range of recently created construction solutions that greatly help to carry out the modeling at your own discretion. The program interface allows the rapid assimilation of data and the export or creation of all types of plans or the exchange and creation of files such as IFC, to work with other BIM applications.

On the other hand, the purpose of the work required the calculation of energy demand of the building, although it is a reform of less than 25% of the total area, required the calculation of the envelope thereof, posing constructive solutions through passive protections, whose fulfillment was justified with the calculation of the CTE and with the help of the THERMUS-BRIDGE program, yielding very convincing and reliable results, using it not only for thermal bridges, but also for general calculation.

7. Líneas de trabajo futuro

Este trabajo o proyecto se podría ampliar en lo referente al cálculo de la envolvente de tal forma que se integre el cálculo de la misma con el modelado, opción que ahora no es posible con la aplicación EDIFICIUS, aunque ya existen entornos de colaboración de la misma aplicación con otras para el cálculo estructural, en el caso de la envolvente térmica está cercana su integración con THERMUS-BRIDGE, para fusionar el modelado con el cálculo de la envolvente. Existe una aplicación denominada TERMUS, versión en italiano, que amplía mucho más TERMUS-BRIDGE, para además calcular la envolvente total del edificio, pero es de reciente creación y aún no está integrada con EDIFICIUS.

En el caso del trabajo que se presenta, se podría explotar el modelado para el seguimiento de la ejecución de la obra que se encuentra en curso, realizando las modificaciones derivadas del ritmo normal de los trabajos, y representándolos en el modelado. De igual modo, la aplicación EDIFICIUS posee una herramienta muy útil, no desarrollada en el presente trabajo, que es PRIMUS, para la creación y seguimiento del presupuesto de la obra, con lo que sería de gran aplicación al caso real que nos ocupa.

Como se mencionó anteriormente, en las infografías realizadas con EDIFICIUS, se proponen mejoras sostenibles que no siendo objeto de este estudio, sería muy interesante para líneas de acción futura, tales como el ajardinado de las cubiertas de las cajas de escalera del edificio, así como disponer de jardines verticales en las fachadas norte y sur.

8. Bibliografía

1. **PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIO PARA CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS – MIRAMAR (OFRA).** Herrera García, Sonia. Arquitecto colegiado nº 2722 del C.O.A.C.
2. **Apuntes de Arquitectura Sostenible.** Módulo. Tema 5. Grado en Ingeniería de Edificación. Universidad de Nebrija. Curso 2009-2010.
3. **Apuntes de Tecnologías Constructivas Innovadoras en Rehabilitación de Edificios.** Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en La Construcción. José Luis Dólera. Universidad de La Laguna. Curso 2017-2018.
4. **Asignatura Nuevos Modelos de Gestión.** Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en La Construcción. Tema 2 / MÓDULO II / BLOQUE II >GESTIÓN DE PROYECTOS CON EDIFICIUS. Universidad de La Laguna. Curso 2017-2018.
5. **Asignatura de Modelado y Gestión de la Información de la Construcción –BIM.** Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en La Construcción. Universidad de La Laguna. Curso 2017-2018.
6. **Asignatura de Inspecciones Técnicas de Edificios. Tema 2 : Certificación Energética e. existente .** Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en La Construcción. Universidad de La Laguna. Curso 2017-2018.
7. **Tutoriales Edificius.** <http://video.accasoftware.com/es/edificius/id41/index.html>

8. **TutorialesTERMUSBRIDGE.** <http://video.accasoftware.com/es/termusbridge/id701/index.html>
9. **Código Técnico de la Edificación.**
10. **SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN EN CANARIAS,**
[Instituto Tecnológico de Canarias, S.A]
11. **PLIEGO DE CLAÚSULAS ADMINISTRATIVAS Y ESTUDIO TÉCNICO PARA LA CONTRATACIÓN DE LAS OBRAS COMPRENDIDAS EN EL PROYECTO ORIGINAL Y COMPLEMENTARIO DE "ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIO PARA CENTRO MUNICIPAL TENA ARTIGAS – MIRAMAR (Ofra)" PARA EL EXCMO. AYUNTAMIENTO DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.**
12. **OFERTA DE LA EMPRESA ADJUDICATARIA DE LAS OBRAS: UTE VVO-VR.**
13. **Apogea Virtual Building Solutions.** <http://www.apogeavirtualbuilding.com/archicad-la-primera-de-las-plataformas-bim/>

Anexo I. Modelo de persiana de lama vertical propuesto como protección solar



Fig.1. Modelo de persiana de lama vertical propuesto como protección solar. Fuente: Giménez Ganga. <https://www.gimenezganga.com/productos/mod-o-120/>

Anexo II. Cálculo de la transmitancia térmica en la cubierta ajardinada propuesta como protección pasiva

INFORME TÉCNICO

Cálculo del flujo y de la transmitancia lineal de puentes térmicos Comprobación riesgo formación moho

OBJETO: Cálculo de la transmitancia térmica en la cubierta ajardinada propuesta como protección pasiva.

PARTE DE LA OBRA: ACONDICIONAMIENTO COLEGIO TENA ARTIGAS

PROYECTISTA: Gerardo Iván García Díaz

COMITENTE: Trabajo Fin de Master en Gestion en Innovacion Tecnologica en La Construccion por la Universidad de La Laguna.

Proyectista

INFORME TÉCNICO

Cálculo numérico de la energía transmitida a través de las estructuras construidas afectadas por puentes térmicos y comprobación del riesgo de formación de moho.

La evaluación deriva de una simulación numérica a los elementos finitos; de esa manera se calculan y se reportan los flujos térmicos sobre cada elemento y el flujo térmico total, las temperaturas internas y las temperaturas superficiales, las transmitancias térmicas de cada uno de los elementos, el coeficiente de acoplamiento térmico y la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

Para la valoración de la formación de moho se resalta la mínima temperatura superficial sobre la cara interior, la temperatura crítica, el factor de temperatura crítico $f_{RSi,max}$ y el mes crítico.

Acabado el cálculo se marca si el puente térmico es correcto y si el puente térmico está sujeto o no a riesgo de formación de moho.

Método de cálculo

El método de cálculo de los elementos finitos, previsto por la norma UNI EN ISO 10211, permite recabar las transmitancias térmicas lineales y las temperaturas superficiales.

Se basa en las siguientes premisas:

- todas las propiedades físicas son independientes de la temperatura;
- no hay fuentes de calor en el interior del elemento de edificación.

El método numérico utilizado es válido según cuanto previsto por el Apéndice A. de la misma norma, en cuanto:

- proporciona las temperaturas y los flujos térmicos;
- permite calcular las temperaturas y los flujos térmicos en posiciones diferentes de las indicadas en la norma;
- calcula la suma de los valores absolutos de todos los flujos térmicos dos veces, para n nudos (o celdas) y para $2n$ nudos (o celdas). La diferencia entre estos dos resultados siempre es menor del 1%;
- repite el cálculo hasta cuando la suma de todos los flujos térmicos (positivo y negativo) entrantes en el objeto, dividida por la mitad de la suma de los valores absolutos de todos estos flujos térmicos, es menor de 0,0001.

DATOS Y RESULTADOS DE CÁLCULO

Dimensiones geométricas

En la siguiente figura se reporta el esquema geométrico del puente térmico en el cual están representadas las dimensiones, la forma y las estratigrafías de los materiales que lo componen; cada diferente segmento de confín está contraseñado por una etiqueta numerada.

En la tabla a la derecha se reportan las dimensiones, expresas en m, de todos los tramos de confín contraseñados por las etiquetas.

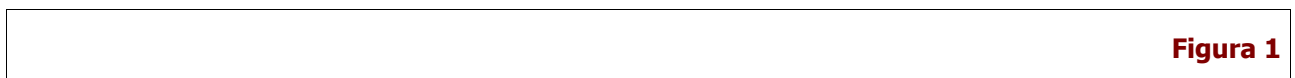
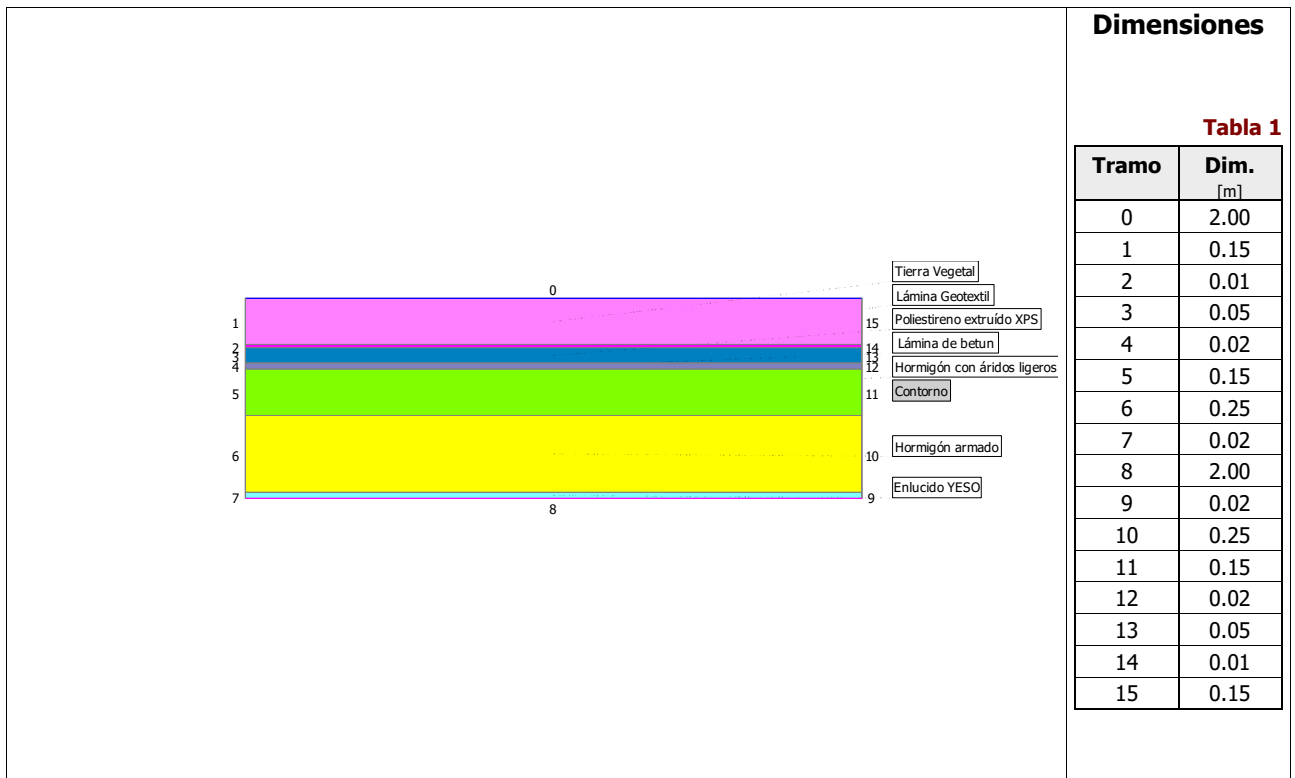


Figura 1

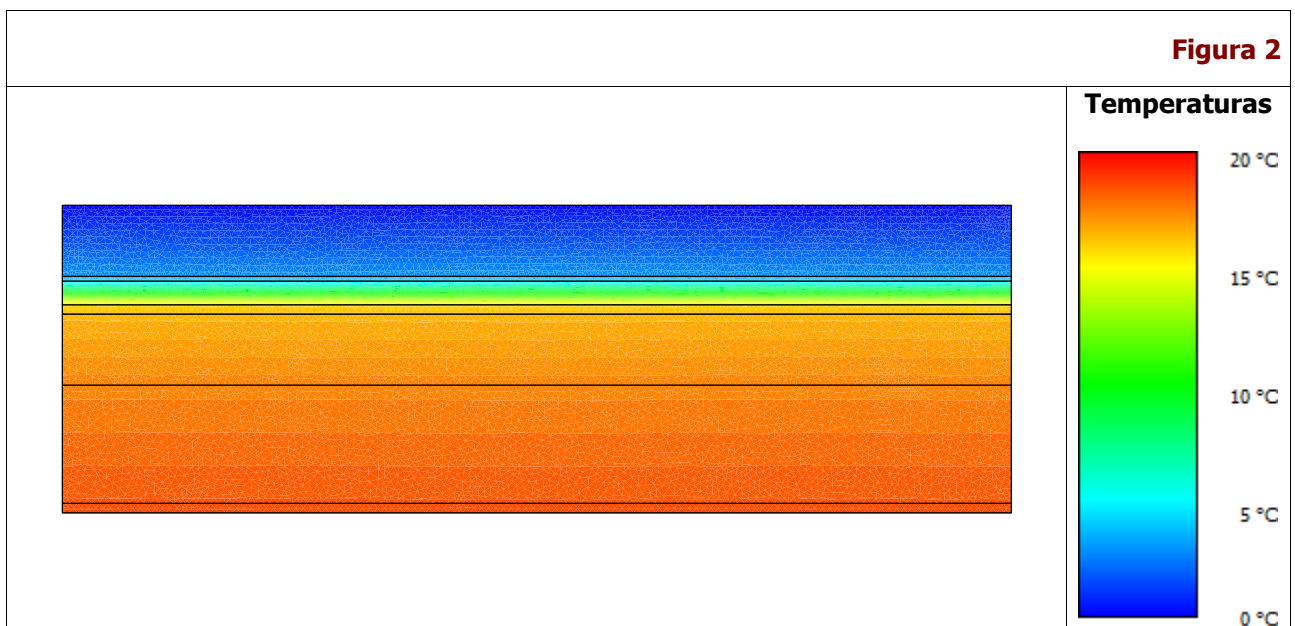


Curvas de temperatura

La figura 2 reporta la representación de las curvas de nivel del puente térmico calculado.

En la tabla a la derecha se reporta la escalera cromática relativa al intervalo de temperatura definida sobre el contorno. Las temperaturas mínimas y máximas se refieren a las temperaturas calculadas sobre los flancos, al confín con el ambiente interno y externo, tomando en cuenta también la transferencia térmica convectiva.

Las curvas están definidas con un paso de 0.25 °C.



Condiciones al contorno externas – Datos Climáticos

En la siguiente tabla se reportan los datos climáticos (temperaturas e humedad relativa) utilizados para la valoración de la temperatura y del mes crítico para la formación de moho sobre las superficies internas.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 17.5 | 17.3 | 18.4 | 18.6 | 20.0 | 21.7 | 23.4 | 24.6 | 24.6 | 22.2 | 20.3 | 18.6 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 63.0 | 62.5 | 63.5 | 62.5 | 61.5 | 62.5 | 66.0 | 68.5 | 66.5 | 67.5 |

Condiciones al contorno - Cálculo de la transmitancia

En la siguiente tabla están enumeradas todas las zonas de confín con las relativas temperaturas y coeficiente de convección.

Para poder efectuar el cálculo es necesario definir por lo menos un ambiente INTERNO y uno EXTERNO: el cálculo de la transmitancia térmica lineal se efectúa a partir desde el ambiente INTERNO.

Tabla 2

| Zonas | btr | Temperatura [°C] |
|---|-----|---------------------|
| EXTERNO | - | 0.00 |
| Interno (respecto al cual se calcula el PT) | - | 20.00 |

Condiciones al contorno internas – Valoración riesgo formación de moho

En la siguiente tabla se reportan las temperaturas y las humedades relativas de la zona interior.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 |

Características térmicas de los materiales

En la siguiente tabla se propone la lista de todos los materiales utilizados para la estructura del puente con el relativo valor de conductividad térmica.

Tabla 3

| Material | Conductividad térmica [W/mK] |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Enlucido YESO | 0.5700 |
| Hormigón armado | 2.5000 |
| Hormigón con áridos ligeros | 1.3500 |

Tabla 3

| Material | Conductividad térmica [W/mK] |
|---------------------------|---------------------------------|
| Lámina de betun | 0.2300 |
| Poliestireno extruído XPS | 0.0390 |
| Lámina Geotextil | 0.0500 |
| Tierra Vegetal | 0.5200 |

Características terreno

La siguiente tabla reporta las características del TERRENO, cuando presente.

La evaluación del coeficiente de la transferencia térmica de los suelos sobre el terreno está hecha conformemente a la *UNI EN ISO 13370*.

Tabla 4

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|-------------------------------------|---------|--------|----------------------|
| Conductividad térmica | k | 1.5000 | [W/mK] |
| Dimensión característica | B' | 0.00 | [m] |
| Espesor equivalente | dt | 0.00 | [m] |
| Transmitancia equivalente del suelo | Ug | 0.00 | [W/m ² K] |

Dimensión característica $B' = (2 * \text{Área pavimento}) / \text{Perímetro pavimento}$

Flujos térmicos

En la siguiente tabla, por cada confín del puente térmico, se visualiza el flujo térmico con la zona de confín y el coeficiente de convección relativo a cada flanco.

Tabla 5

| Fachada | Zona asociada | Flujo [W/m] | Coefficiente de convección [W/m ² K] |
|---------|---|----------------|--|
| 0 | EXTERNO | -17.80 | 25.0 |
| 8 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 17.80 | 7.7 |

Resultados finales - Cálculo de la transmitancia térmica lineal

En la tabla final se reportan los valores de cálculo relativos a la estructura completa.

El resultado de la simulación numérica es el flujo térmico (**F**) que atraviesa la estructura, expresado en W/m, debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente INTERNO y el ambiente EXTERNO.

El flujo térmico equivalente (**F_{spt}**), expresado siempre en W/m, relativo a la estructura sin puente térmico, ha sido evaluado en relación a la misma diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y a la longitud equivalente (**L**) definida para la comparación.

A partir de la diferencia entre estos dos valores son calculadas la transmitancia térmica lineal (**k_l**) y el coeficiente de acoplamiento (**L_{2D}**).

Tabla 6

| U [W/mK] | Long. asociada [mm] |
|--------------------|---------------------------------|
| 0.44 | 2.00 |

Tabla 7

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|------------------------------------|----------------|--------------|----------------------------|
| Transmitancia térmica lineal | kl | 0.01 | [W/mK] |
| Flujo térmico total | F | 17.80 | [W/m] |
| Coefficiente de acoplamiento | L2D | 0.89 | [W/mK] |
| Longitud equivalente | L | 2.00 | [m] |
| Flujo térmico (sin puente térmico) | F_spt | 17.59 | [W/m] |

Comprobación riesgo formación moho

En la tabla final se reportan los valores mensuales para la valoración del mes crítico, del factor de temperatura crítico y de la temperatura crítica, como prevé la **EN ISO 13788**.

| | | | |
|--------------------------------------|---------------|------|-------|
| Factor de temperatura crítico | $f_{RSi,max}$ | [-] | 0 |
| Temperatura formación moho | T_{min} | [°C] | 16.69 |

De la valoración resulta:

- mes crítico: **Mayo**
- temperatura mínima sobre la cara interna: **20.00°C**

El puente térmico no es sujeto a riesgo formación moho.

| | <i>condiciones externas</i> | | <i>condiciones internas</i> | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|---------------------|-------|------------------------|--------------|-----------|
| | T_e | φ_e | T_i | φ_i | $p_{sat}(\theta_i)$ | p_i | $p_{sat}(\theta_{si})$ | $T_{si,min}$ | f_{RSi} |
| Ene | 17.5 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.32 |
| Feb | 17.3 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.23 |
| Mar | 18.4 | 63% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.07 |
| Abr | 18.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |
| May | 20.0 | 63.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 0 |
| Jun | 21.7 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.95 |
| Jul | 23.4 | 61.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.97 |
| Ago | 24.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Set | 24.6 | 66% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Oct | 22.2 | 68.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.51 |
| Nov | 20.3 | 66.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 12.04 |
| Dic | 18.6 | 67.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |

LEYENDA

T_e Temperatura externa media mensual [°C]
 φ_e Humedad relativa externa media mensual [%]

| | | |
|------------------------|--|------|
| T_i | Temperatura interna media mensual | [°C] |
| ϕ_i | Humedad relativa interna media mensual | [%] |
| $p_{sat}(\theta_i)$ | Presión de saturación interna | [Pa] |
| p_i | Presión de vapor interno | [Pa] |
| $p_{sat}(\theta_{si})$ | Presión de saturación interna mínima aceptable | [Pa] |
| $T_{si,min}$ | Temperatura superficial mínima aceptable | [°C] |
| f_{RSi} | Factor de temperatura | [-] |

El puente térmico es está correcto.

El proyectista

Gerardo Iván García Díaz

(sello y firma)

Anexo III. Cálculo de la transmitancia térmica en pilar de fachada

INFORME TÉCNICO

Cálculo del flujo y de la transmitancia lineal de puentes térmicos
Comprobación riesgo formación moho

OBJETO: Cálculo de puente térmico en pilar de fachada

PARTE DE LA OBRA: ACONDICIONAMIENTO COLEGIO TENA ARTIGAS

PROYECTISTA: Gerardo Iván García Díaz

COMITENTE: Máster Universitario en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la Universidad de La Laguna

Proyectista

Gerardo Iván García Díaz

INFORME TÉCNICO

Cálculo numérico de la energía transmitida a través de las estructuras construidas afectadas por puentes térmicos y comprobación del riesgo de formación de moho.

La evaluación deriva de una simulación numérica a los elementos finitos; de esa manera se calculan y se reportan los flujos térmicos sobre cada elemento y el flujo térmico total, las temperaturas internas y las temperaturas superficiales, las transmitancias térmicas de cada uno de los elementos, el coeficiente de acoplamiento térmico y la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

Para la valoración de la formación de moho se resalta la mínima temperatura superficial sobre la cara interior, la temperatura crítica, el factor de temperatura crítico $f_{R_{Si,max}}$ y el mes crítico.

Acabado el cálculo se marca si el puente térmico es correcto y si el puente térmico está sujeto o no a riesgo de formación de moho.

Método de cálculo

El método de cálculo de los elementos finitos, previsto por la norma UNI EN ISO 10211, permite recabar las transmitancias térmicas lineales y las temperaturas superficiales.

Se basa en las siguientes premisas:

- todas las propiedades físicas son independientes de la temperatura;
- no hay fuentes de calor en el interior del elemento de edificación.

El método numérico utilizado es válido según cuanto previsto por el Apéndice A. de la misma norma, en cuanto:

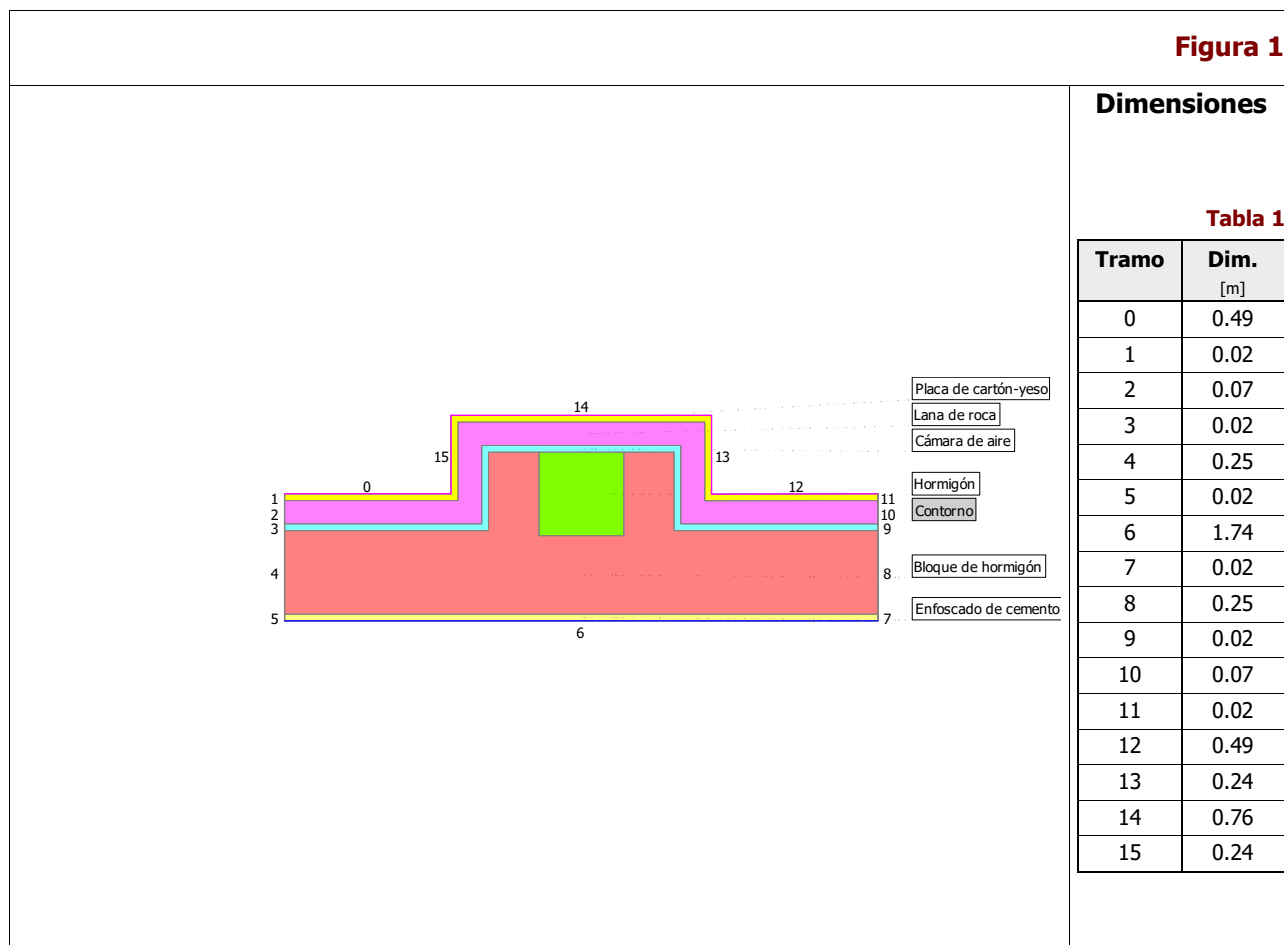
- proporciona las temperaturas y los flujos térmicos;
- permite calcular las temperaturas y los flujos térmicos en posiciones diferentes de las indicadas en la norma;
- calcula la suma de los valores absolutos de todos los flujos térmicos dos veces, para n nudos (o celdas) y para $2n$ nudos (o celdas). La diferencia entre estos dos resultados siempre es menor del 1%;
- repite el cálculo hasta cuando la suma de todos los flujos térmicos (positivo y negativo) entrantes en el objeto, dividida por la mitad de la suma de los valores absolutos de todos estos flujos térmicos, es menor de 0,0001.

DATOS Y RESULTADOS DE CÁLCULO

Dimensiones geométricas

En la siguiente figura se reporta el esquema geométrico del puente térmico en el cual están representadas las dimensiones, la forma y las estratigrafías de los materiales que lo componen; cada diferente segmento de confín está contraseñado por una etiqueta numerada.

En la tabla a la derecha se reportan las dimensiones, expresas en m, de todos los tramos de confin contraseñados por las etiquetas.

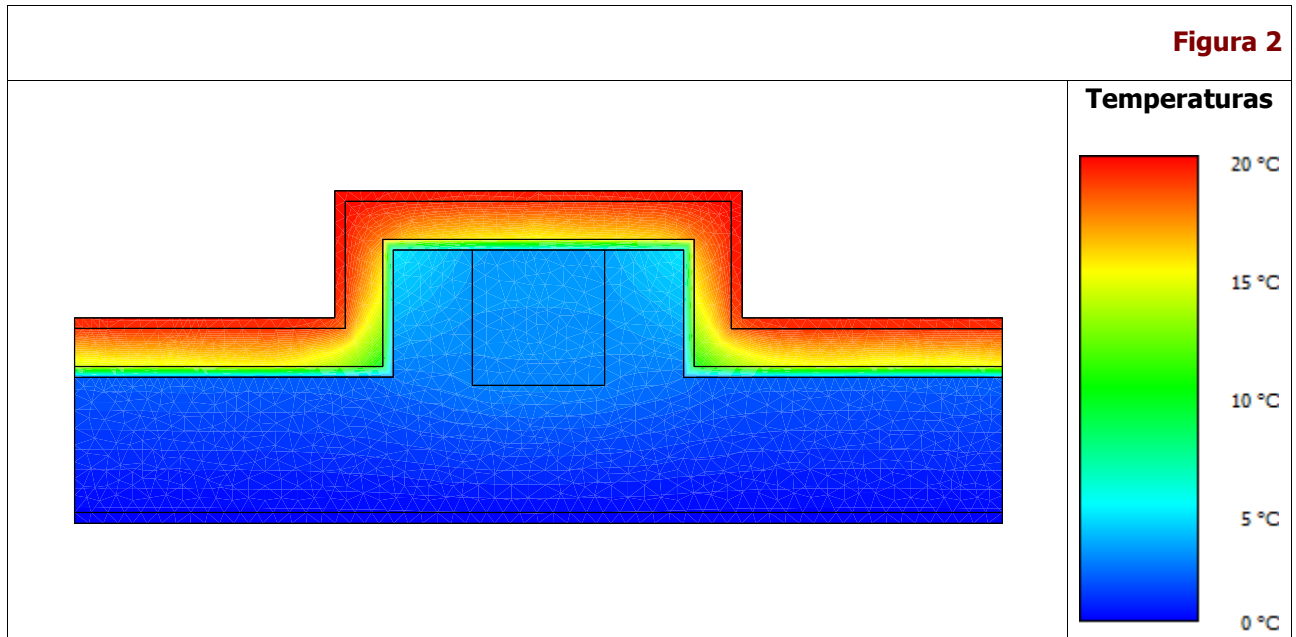


Curvas de temperatura

La figura 2 reporta la representación de las curvas de nivel del puente térmico calculado.

En la tabla a la derecha se reporta la escalera cromática relativa al intervalo de temperatura definida sobre el contorno. Las temperaturas mínimas y máximas se refieren a las temperaturas calculadas sobre los flancos, al confín con el ambiente interno y externo, tomando en cuenta también la transferencia térmica convectiva.

Las curvas están definidas con un paso de 0.25 °C.



Condiciones al contorno externas – Datos Climáticos

En la siguiente tabla se reportan los datos climáticos (temperaturas e humedad relativa) utilizados para la valoración de la temperatura y del mes crítico para la formación de moho sobre las superficies internas.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 17.5 | 17.3 | 18.4 | 18.6 | 20.0 | 21.7 | 23.4 | 24.6 | 24.6 | 22.2 | 20.3 | 18.6 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 63.0 | 62.5 | 63.5 | 62.5 | 61.5 | 62.5 | 66.0 | 68.5 | 66.5 | 67.5 |

Condiciones al contorno - Cálculo de la transmitancia

En la siguiente tabla están enumeradas todas las zonas de confín con las relativas temperaturas y coeficiente de convección.

Para poder efectuar el cálculo es necesario definir por lo menos un ambiente INTERNO y uno EXTERNO: el cálculo de la transmitancia térmica lineal se efectúa a partir desde el ambiente INTERNO.

Tabla 2

| Zonas | btr | Temperatura [°C] |
|---|-----|------------------|
| Interno (respecto al cual se calcula el PT) | - | 20.00 |
| EXTERNO | - | 0.00 |

Condiciones al contorno internas – Valoración riesgo formación de moho

En la siguiente tabla se reportan las temperaturas y las humedades relativas de la zona interior.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 |

Características térmicas de los materiales

En la siguiente tabla se propone la lista de todos los materiales utilizados para la estructura del puente con el relativo valor de conductividad térmica.

Tabla 3

| Material | Conductividad térmica [W/mK] |
|----------------------|------------------------------|
| Placa de cartón-yeso | 0.2500 |
| Lana de roca | 0.0500 |
| Cámara de aire | 0.0050 |
| Hormigón | 2.3000 |
| Bloque de hormigón | 0.4800 |
| Enfoscado de cemento | 1.3000 |

Características terreno

La siguiente tabla reporta las características del TERRENO, cuando presente.

La evaluación del coeficiente de la transferencia térmica de los suelos sobre el terreno está hecha conformemente a la *UNI EN ISO 13370*.

Tabla 4

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|-------------------------------------|---------|--------|----------------------|
| Conductividad térmica | k | 1.5000 | [W/mK] |
| Dimensión característica | B' | 0.00 | [m] |
| Espesor equivalente | dt | 0.00 | [m] |
| Transmitancia equivalente del suelo | Ug | 0.00 | [W/m ² K] |

Dimensión característica $B' = (2 * \text{Área pavimento}) / \text{Perímetro pavimento}$

Flujos térmicos

En la siguiente tabla, por cada confín del puente térmico, se visualiza el flujo térmico con la zona de confín y el coeficiente de convección relativo a cada flanco.

Tabla 5

| Fachada | Zona asociada | Flujo [W/m] | Coefficiente de convección [W/m ² K] |
|---------|---|----------------|--|
| 0 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 1.81 | 7.7 |
| 6 | EXTERNO | -6.51 | 25.0 |
| 12 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 1.80 | 7.7 |
| 13 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 0.61 | 7.7 |
| 14 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 1.69 | 7.7 |
| 15 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 0.61 | 7.7 |

Resultados finales - Cálculo de la transmitancia térmica lineal

En la tabla final se reportan los valores de cálculo relativos a la estructura completa.

El resultado de la simulación numérica es el flujo térmico (**F**) que atraviesa la estructura, expresado en W/m, debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente INTERNO y el ambiente EXTERNO.

El flujo térmico equivalente (**F_{spt}**), expresado siempre en W/m, relativo a la estructura sin puente térmico, ha sido evaluado en relación a la misma diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y a la longitud equivalente (**L**) definida para la comparación.

A partir de la diferencia entre estos dos valores son calculadas la transmitancia térmica lineal (**k_l**) y el coeficiente de acoplamiento (**L_{2D}**).

Tabla 6

| U [W/mK] | Long. asociada [mm] |
|-------------|--------------------------|
| 0.16 | 1.74 |

Tabla 7

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|------------------------------------|---------|-------|---------------------|
| Transmitancia térmica lineal | kI | 0.04 | [W/mK] |
| Flujo térmico total | F | 6.51 | [W/m] |
| Coefficiente de acoplamiento | L2D | 0.33 | [W/mK] |
| Longitud equivalente | L | 1.74 | [m] |
| Flujo térmico (sin puente térmico) | F_spt | 5.64 | [W/m] |

Comprobación riesgo formación moho

En la tabla final se reportan los valores mensuales para la valoración del mes crítico, del factor de temperatura crítico y de la temperatura crítica, como prevé la **EN ISO 13788**.

| | | | |
|-------------------------------|---------------|------|-------|
| Factor de temperatura crítico | $f_{RSi,max}$ | [-] | 0 |
| Temperatura formación moho | T_{min} | [°C] | 16.69 |

De la valoración resulta:

- mes crítico: **Mayo**
- temperatura mínima sobre la cara interna: **20.00°C**

El puente térmico no es sujeto a riesgo formación moho.

| | condiciones externas | | condiciones internas | | | | | | |
|------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------|-------|------------------------|--------------|-----------|
| | T_e | φ_e | T_i | φ_i | $p_{sat}(\theta_i)$ | p_i | $p_{sat}(\theta_{si})$ | $T_{si,min}$ | f_{RSi} |
| Ene | 17.5 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.32 |
| Feb | 17.3 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.23 |
| Mar | 18.4 | 63% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.07 |
| Abr | 18.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |
| May | 20.0 | 63.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 0 |
| Jun | 21.7 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.95 |
| Jul | 23.4 | 61.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.97 |
| Ago | 24.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Set | 24.6 | 66% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Oct | 22.2 | 68.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.51 |
| Nov | 20.3 | 66.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 12.04 |
| Dic | 18.6 | 67.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |

LEYENDA

| | | |
|------------------------|--|------|
| T_e | Temperatura externa media mensual | [°C] |
| φ_e | Humedad relativa externa media mensual | [%] |
| T_i | Temperatura interna media mensual | [°C] |
| φ_i | Humedad relativa interna media mensual | [%] |
| $p_{sat}(\theta_i)$ | Presión de saturación interna | [Pa] |
| p_i | Presión de vapor interno | [Pa] |
| $p_{sat}(\theta_{si})$ | Presión de saturación interna mínima aceptable | [Pa] |
| $T_{si,min}$ | Temperatura superficial mínima aceptable | [°C] |
| f_{RSi} | Factor de temperatura | [-] |

Anexo IV. Cálculo puente térmico pilar en esquina

INFORME TÉCNICO

Cálculo del flujo y de la transmitancia lineal de puentes térmicos
Comprobación riesgo formación moho

| | |
|--------------------------|---|
| OBJETO: | Cálculo puente termico pilar en esquina |
| PARTE DE LA OBRA: | ACONDICIONAMIENTO TENA ARTIGAS |
| PROYECTISTA: | Gerardo Iván García Díaz |
| COMITENTE: | Trabajo Fin de Máster en Gestion e Innovación Tecnológica en La Construccion por la Universidad de La Laguna. |

Proyectista

Gerardo Iván García Díaz

INFORME TÉCNICO

Cálculo numérico de la energía transmitida a través de las estructuras construidas afectadas por puentes térmicos y comprobación del riesgo de formación de moho.

La evaluación deriva de una simulación numérica a los elementos finitos; de esa manera se calculan y se reportan los flujos térmicos sobre cada elemento y el flujo térmico total, las temperaturas internas y las temperaturas superficiales, las transmitancias térmicas de cada uno de los elementos, el coeficiente de acoplamiento térmico y la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

Para la valoración de la formación de moho se resalta la mínima temperatura superficial sobre la cara interior, la temperatura crítica, el factor de temperatura crítico $f_{R_{Si,max}}$ y el mes crítico.

Acabado el cálculo se marca si el puente térmico es correcto y si el puente térmico está sujeto o no a riesgo de formación de moho.

Método de cálculo

El método de cálculo de los elementos finitos, previsto por la norma UNI EN ISO 10211, permite recabar las transmitancias térmicas lineales y las temperaturas superficiales.

Se basa en las siguientes premisas:

- todas las propiedades físicas son independientes de la temperatura;
- no hay fuentes de calor en el interior del elemento de edificación.

El método numérico utilizado es válido según cuanto previsto por el Apéndice A. de la misma norma, en cuanto:

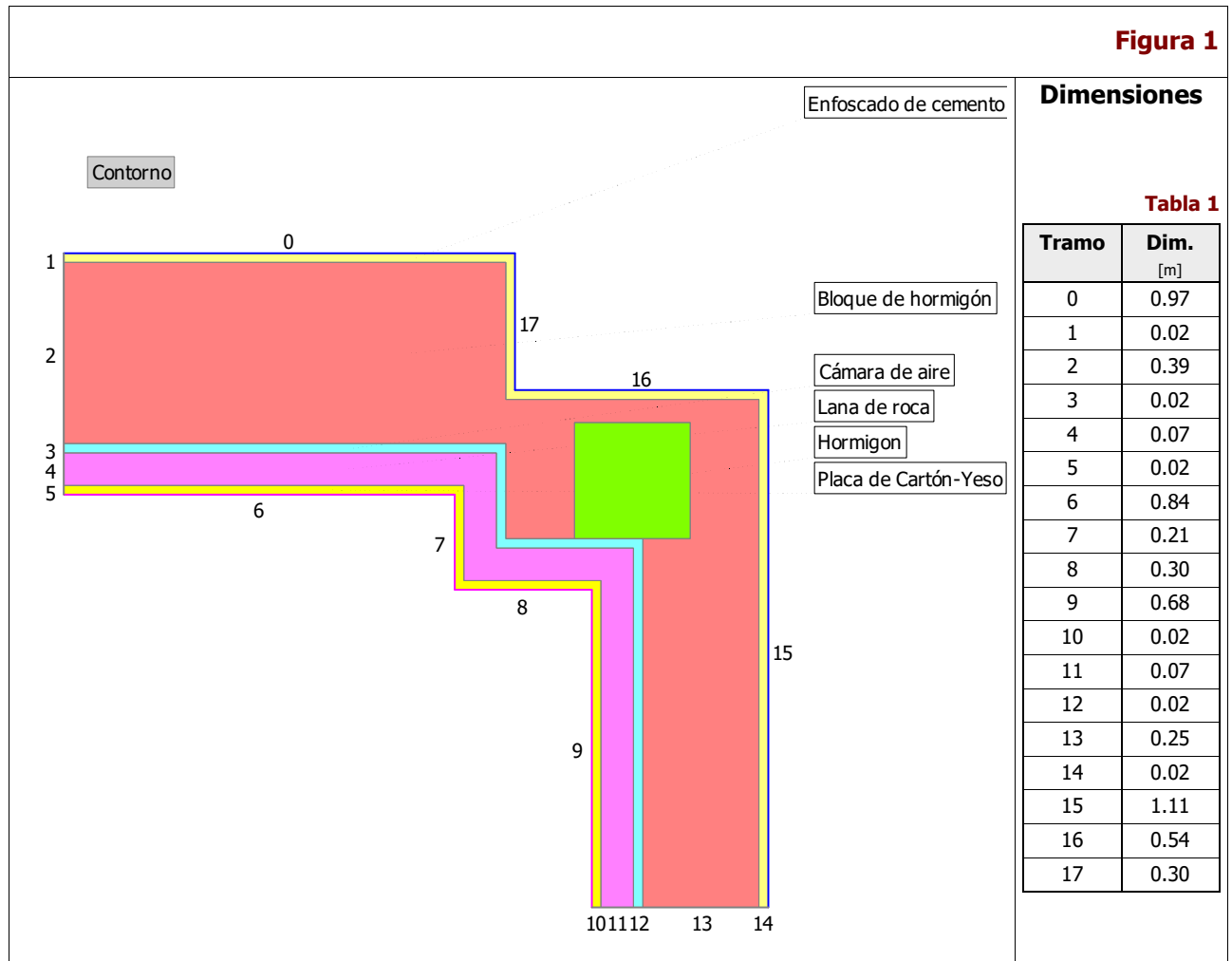
- proporciona las temperaturas y los flujos térmicos;
- permite calcular las temperaturas y los flujos térmicos en posiciones diferentes de las indicadas en la norma;
- calcula la suma de los valores absolutos de todos los flujos térmicos dos veces, para n nudos (o celdas) y para $2n$ nudos (o celdas). La diferencia entre estos dos resultados siempre es menor del 1%;
- repite el cálculo hasta cuando la suma de todos los flujos térmicos (positivo y negativo) entrantes en el objeto, dividida por la mitad de la suma de los valores absolutos de todos estos flujos térmicos, es menor de 0,0001.

DATOS Y RESULTADOS DE CÁLCULO

Dimensiones geométricas

En la siguiente figura se reporta el esquema geométrico del puente térmico en el cual están representadas las dimensiones, la forma y las estratigrafías de los materiales que lo componen; cada diferente segmento de confín está contraseñado por una etiqueta numerada.

En la tabla a la derecha se reportan las dimensiones, expresas en m, de todos los tramos de confin contraseñados por las etiquetas.



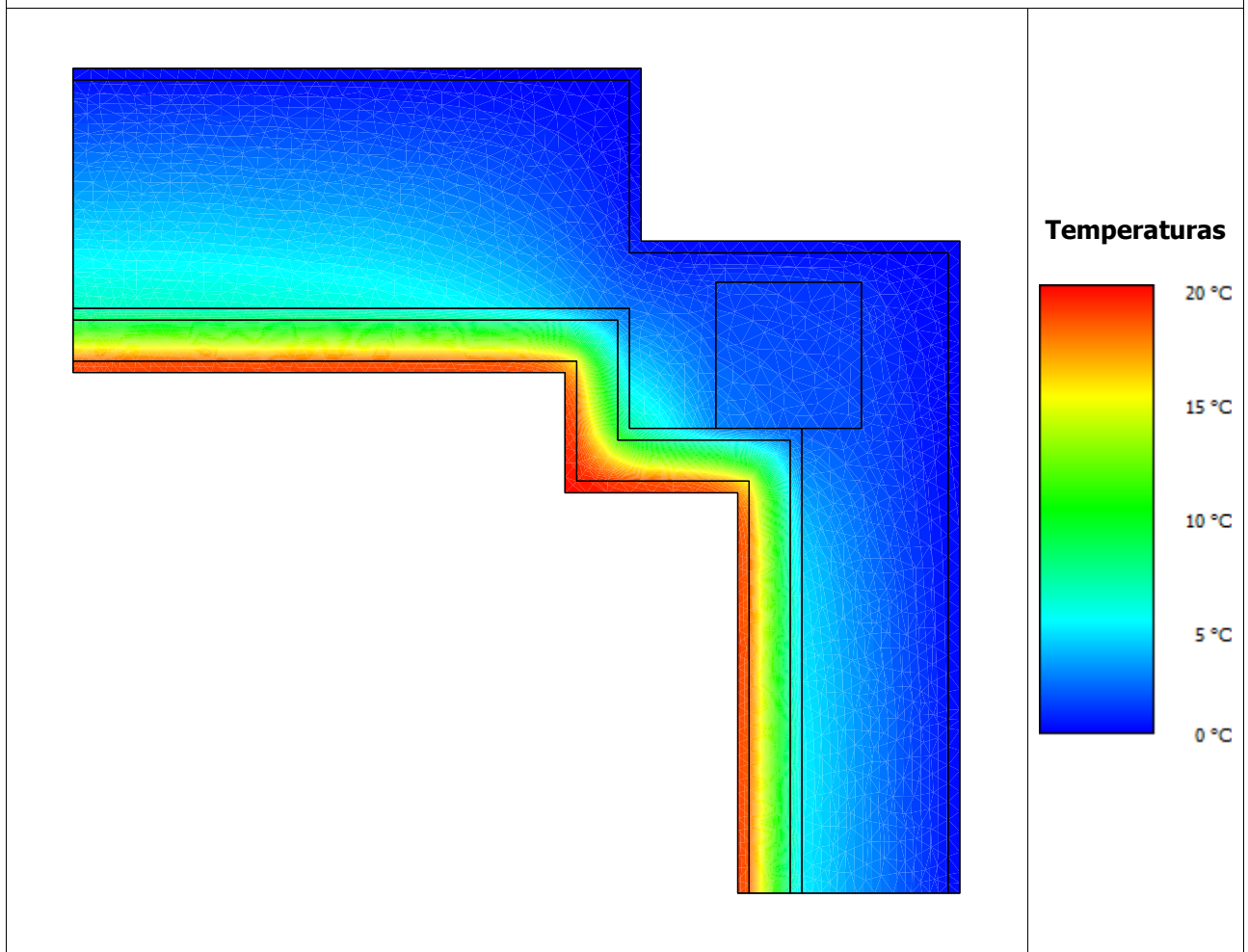
Curvas de temperatura

La figura 2 reporta la representación de las curvas de nivel del puente térmico calculado.

En la tabla a la derecha se reporta la escalera cromática relativa al intervalo de temperatura definida sobre el contorno. Las temperaturas mínimas y máximas se refieren a las temperaturas calculadas sobre los flancos, al confín con el ambiente interno y externo, tomando en cuenta también la transferencia térmica convectiva.

Las curvas están definidas con un paso de 0.25 °C.

Figura 2



Condiciones al contorno externas – Datos Climáticos

En la siguiente tabla se reportan los datos climáticos (temperaturas e humedad relativa) utilizados para la valoración de la temperatura y del mes crítico para la formación de moho sobre las superficies internas.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 17.5 | 17.3 | 18.4 | 18.6 | 20.0 | 21.7 | 23.4 | 24.6 | 24.6 | 22.2 | 20.3 | 18.6 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 63.0 | 62.5 | 63.5 | 62.5 | 61.5 | 62.5 | 66.0 | 68.5 | 66.5 | 67.5 |

Condiciones al contorno - Cálculo de la transmitancia

En la siguiente tabla están enumeradas todas las zonas de confín con las relativas temperaturas y coeficiente de convección.

Para poder efectuar el cálculo es necesario definir por lo menos un ambiente INTERNO y uno EXTERNO: el cálculo de la transmitancia térmica lineal se efectúa a partir desde el ambiente INTERNO.

Tabla 2

| Zonas | btr | Temperatura [°C] |
|---|-----|------------------|
| EXTERNO | - | 0.00 |
| Interno (respecto al cual se calcula el PT) | - | 20.00 |

Condiciones al contorno internas – Valoración riesgo formación de moho

En la siguiente tabla se reportan las temperaturas y las humedades relativas de la zona interior.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T[°C] | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| UR[%] | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0 |

Características térmicas de los materiales

En la siguiente tabla se propone la lista de todos los materiales utilizados para la estructura del puente con el relativo valor de conductividad térmica.

Tabla 3

| Material | Conductividad térmica [W/mK] |
|----------------------|------------------------------|
| Hormigon | 2.3000 |
| Enfoscado de cemento | 1.3000 |
| Bloque de hormigón | 0.4800 |
| Cámara de aire | 0.0800 |
| Lana de roca | 0.0500 |
| Placa de Cartón-Yeso | 0.2500 |

Características terreno

La siguiente tabla reporta las características del TERRENO, cuando presente.

La evaluación del coeficiente de la transferencia térmica de los suelos sobre el terreno está hecha conformemente a la *UNI EN ISO 13370*.

Tabla 4

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|-------------------------------------|---------|--------|----------------------|
| Conductividad térmica | k | 1.5000 | [W/mK] |
| Dimensión característica | B' | 0.00 | [m] |
| Espesor equivalente | dt | 0.00 | [m] |
| Transmitancia equivalente del suelo | Ug | 0.00 | [W/m ² K] |

Dimensión característica $B' = (2 * \text{Área pavimento}) / \text{Perímetro pavimento}$

Flujos térmicos

En la siguiente tabla, por cada confín del puente térmico, se visualiza el flujo térmico con la zona de confín y el coeficiente de convección relativo a cada flanco.

Tabla 5

| Fachada | Zona asociada | Flujo [W/m] | Coficiente de convección [W/m ² K] |
|---------|---|----------------|--|
| 0 | EXTERNO | -5.19 | 25.0 |
| 6 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 6.83 | 7.7 |
| 7 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 1.35 | 7.7 |
| 8 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 2.16 | 7.7 |
| 9 | Interno (respecto al cual se calcula el PT) | 6.22 | 7.7 |
| 15 | EXTERNO | -6.64 | 25.0 |
| 16 | EXTERNO | -3.38 | 25.0 |
| 17 | EXTERNO | -1.36 | 25.0 |

Resultados finales - Cálculo de la transmitancia térmica lineal

En la tabla final se reportan los valores de cálculo relativos a la estructura completa.

El resultado de la simulación numérica es el flujo térmico (**F**) que atraviesa la estructura, expresado en W/m, debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente INTERNO y el ambiente EXTERNO.

El flujo térmico equivalente (**F_spt**), expresado siempre en W/m, relativo a la estructura sin puente térmico, ha sido evaluado en relación a la misma diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y a la longitud equivalente (**L**) definida para la comparación.

A partir de la diferencia entre estos dos valores son calculadas la transmitancia térmica lineal (**kl**) y el coeficiente de acoplamiento (**L2D**).

Tabla 6

| U [W/mK] | Long. asociada [mm] |
|--------------------|---------------------------------|
| 0.37 | 0.94 |
| 0.41 | 0.79 |

Tabla 7

| Descripción | Símbolo | Valor | Sistema de Medición |
|------------------------------------|----------------|--------------|----------------------------|
| Transmitancia térmica lineal | kl | 0.16 | [W/mK] |
| Flujo térmico total | F | 16.56 | [W/m] |
| Coefficiente de acoplamiento | L2D | 0.83 | [W/mK] |
| Longitud equivalente | L | 1.74 | [m] |
| Flujo térmico (sin puente térmico) | F_spt | 13.44 | [W/m] |

Comprobación riesgo formación moho

En la tabla final se reportan los valores mensuales para la valoración del mes crítico, del factor de temperatura crítico y de la temperatura crítica, como prevé la **EN ISO 13788**.

| | | | |
|--------------------------------------|---------------|------|-------|
| Factor de temperatura crítico | $f_{RSi,max}$ | [-] | 0 |
| Temperatura formación moho | T_{min} | [°C] | 16.69 |

De la valoración resulta:

- mes crítico: **Mayo**
- temperatura mínima sobre la cara interna: **20.00°C**

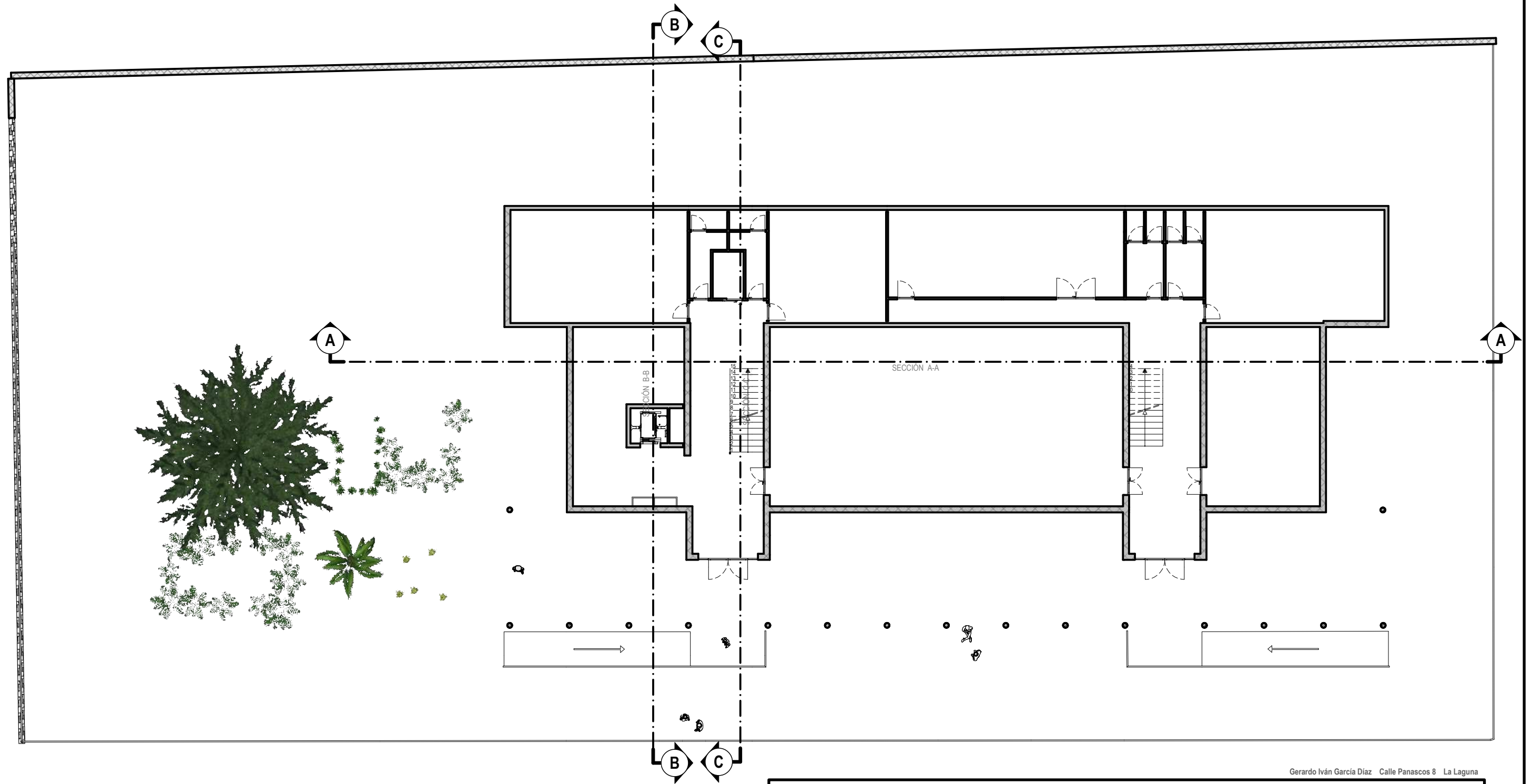
El puente térmico no es sujeto a riesgo formación moho.

| | <i>condiciones externas</i> | | <i>condiciones internas</i> | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|---------------------|-------|------------------------|--------------|-----------|
| | T_e | φ_e | T_i | φ_i | $p_{sat}(\theta_i)$ | p_i | $p_{sat}(\theta_{si})$ | $T_{si,min}$ | f_{RSi} |
| Ene | 17.5 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.32 |
| Feb | 17.3 | 65% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -0.23 |
| Mar | 18.4 | 63% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.07 |
| Abr | 18.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |
| May | 20.0 | 63.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 0 |
| Jun | 21.7 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.95 |
| Jul | 23.4 | 61.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.97 |
| Ago | 24.6 | 62.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Set | 24.6 | 66% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 1.72 |
| Oct | 22.2 | 68.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 2.51 |
| Nov | 20.3 | 66.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | 12.04 |
| Dic | 18.6 | 67.5% | 20.0 | 65% | 2337 | 1519 | 1519 | 16.69 | -1.37 |

LEYENDA

| | | |
|------------------------|--|------|
| T_e | Temperatura externa media mensual | [°C] |
| φ_e | Humedad relativa externa media mensual | [%] |
| T_i | Temperatura interna media mensual | [°C] |
| φ_i | Humedad relativa interna media mensual | [%] |
| $p_{sat}(\theta_i)$ | Presión de saturación interna | [Pa] |
| p_i | Presión de vapor interno | [Pa] |
| $p_{sat}(\theta_{si})$ | Presión de saturación interna mínima aceptable | [Pa] |
| $T_{si,min}$ | Temperatura superficial mínima aceptable | [°C] |
| f_{RSi} | Factor de temperatura | [-] |

Anexo V. Planos

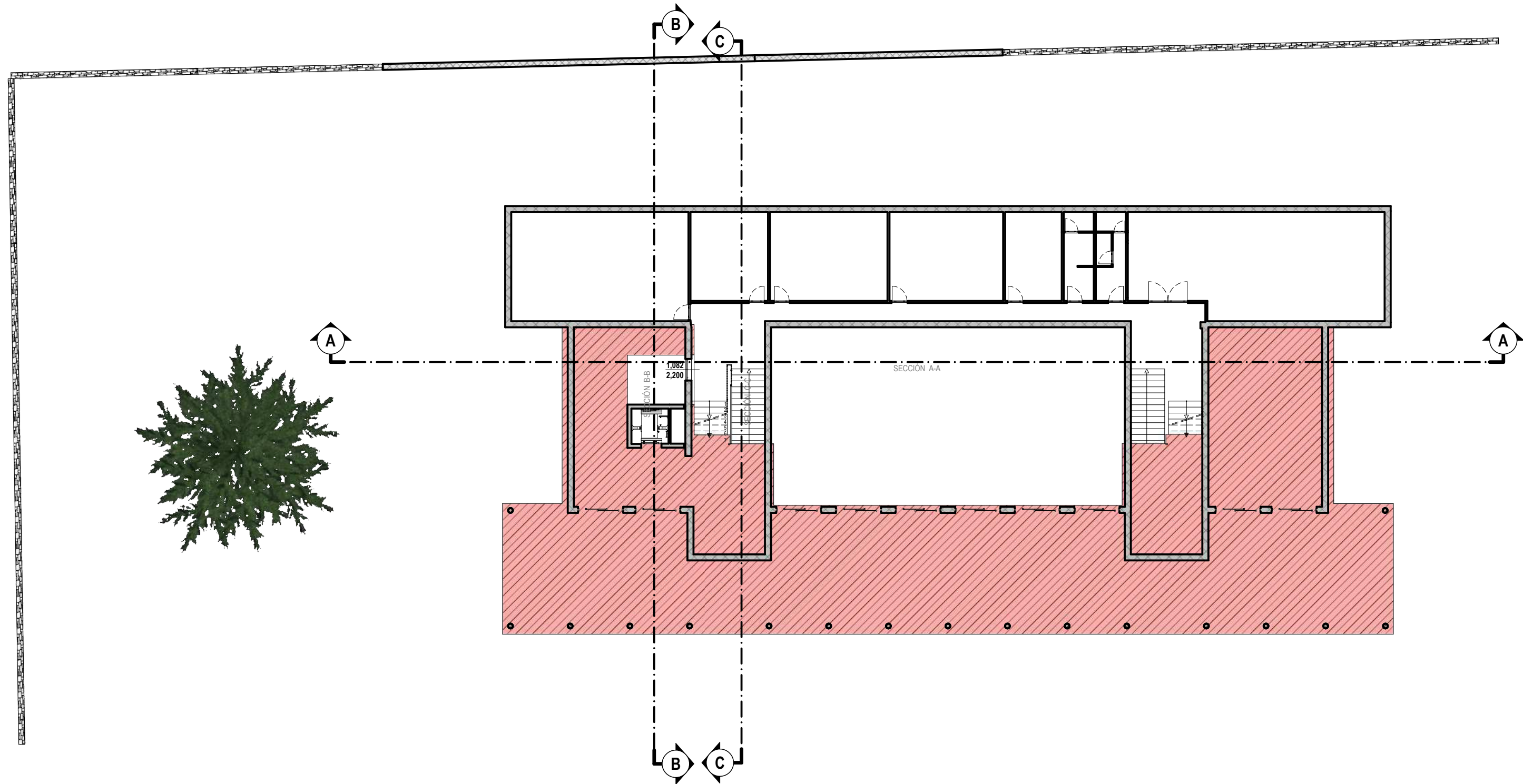


Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|--------------------------------------|-------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | PLANTA BAJA ESTADO MODIFICADO | 1 |
| ALUMNO | | | escala |
| Gerardo Iván García Díaz | | | 1/200 |
| | | | fecha |
| | | | 01/07/2018 |

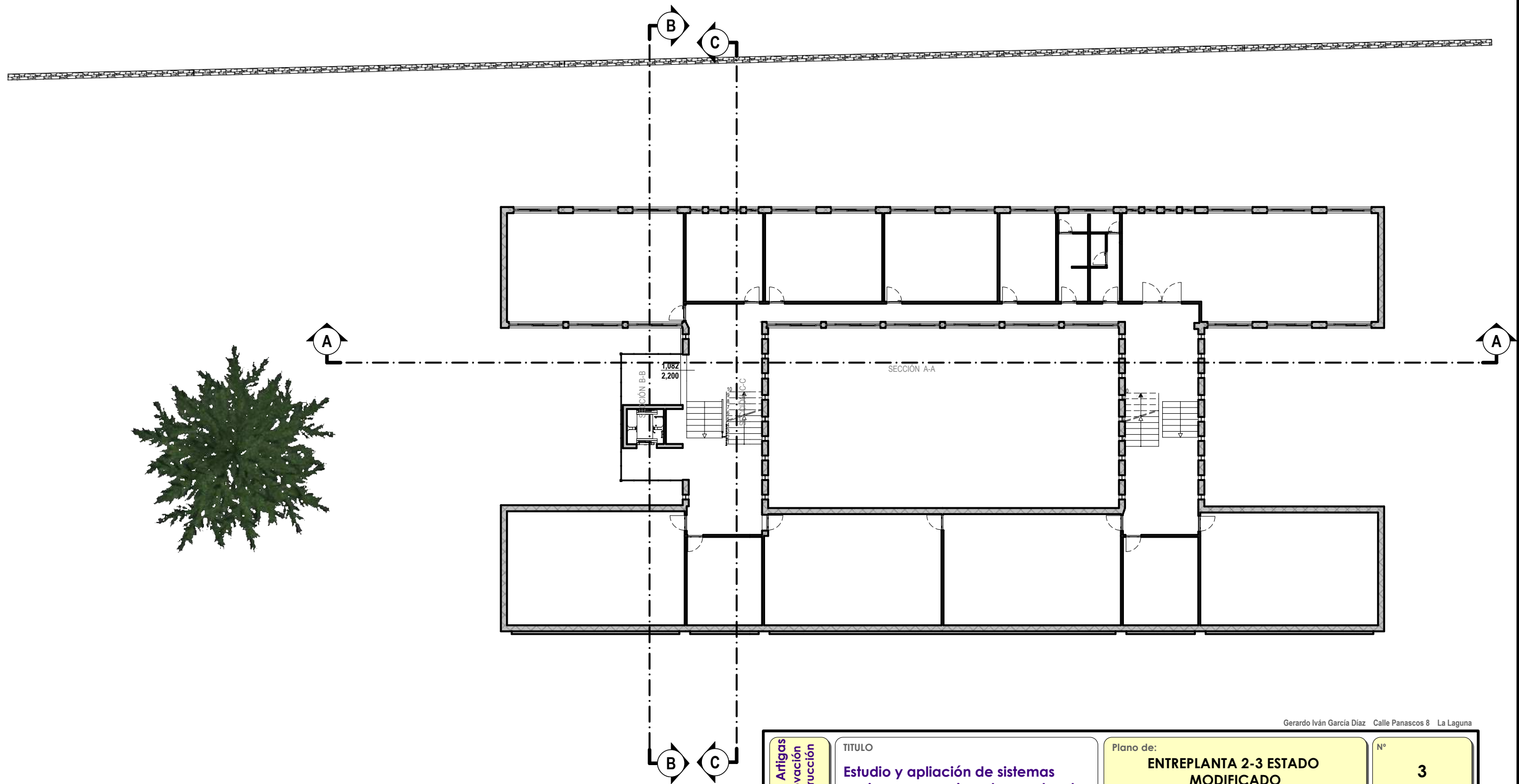


Universidad de La Laguna



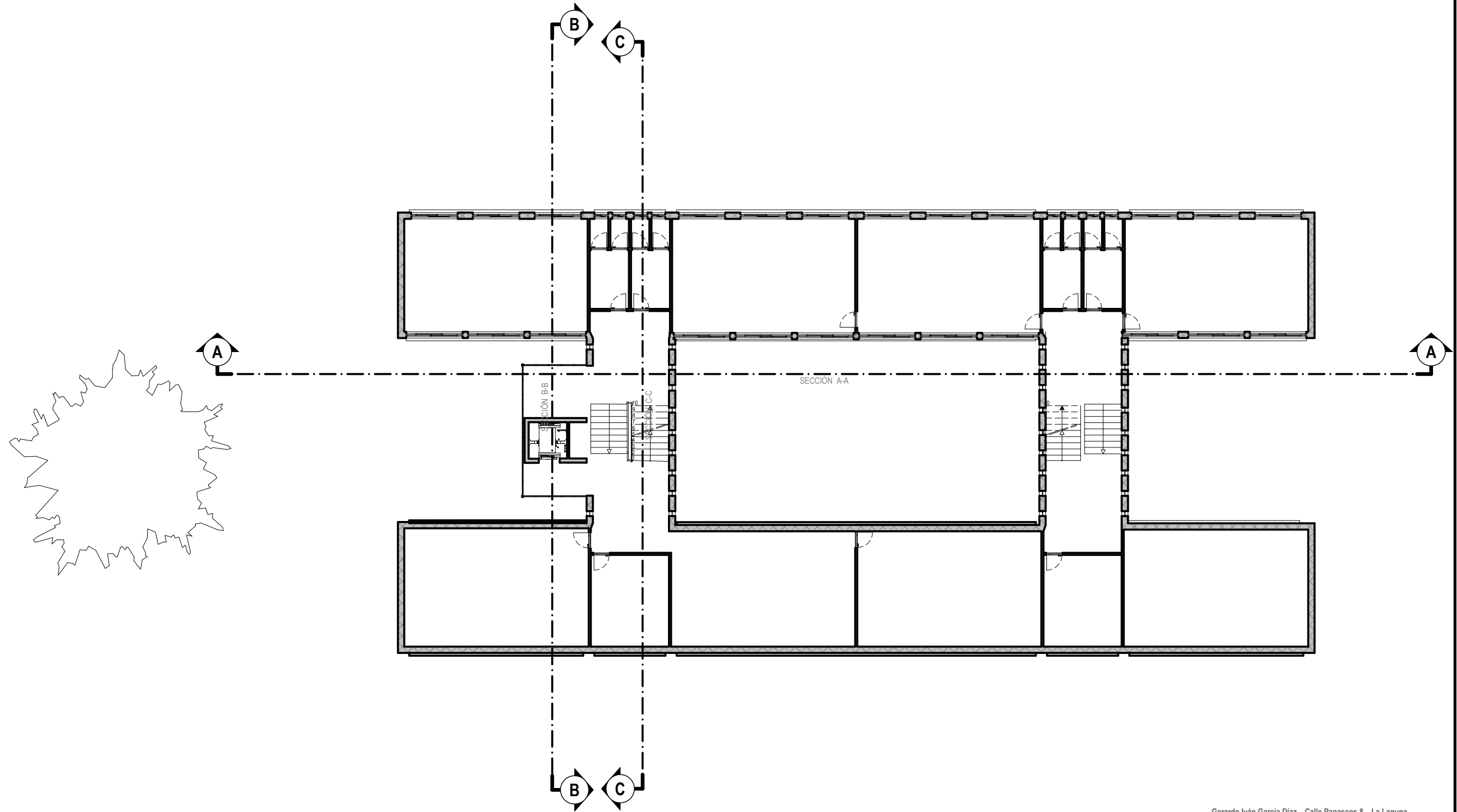
Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---|-------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ENTREPLANTA 1-2 ESTADO MODIFICADO | 2 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/200 | |
| | |  Universidad de La Laguna | fecha |
| | | | 01/07/2018 |



Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|--|----------------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ENTREPLANTA 2-3 ESTADO MODIFICADO | 3 |
| ALUMNO |  Universidad de La Laguna | | escala |
| Gerardo Iván García Díaz | | | fecha 01/07/2018 |

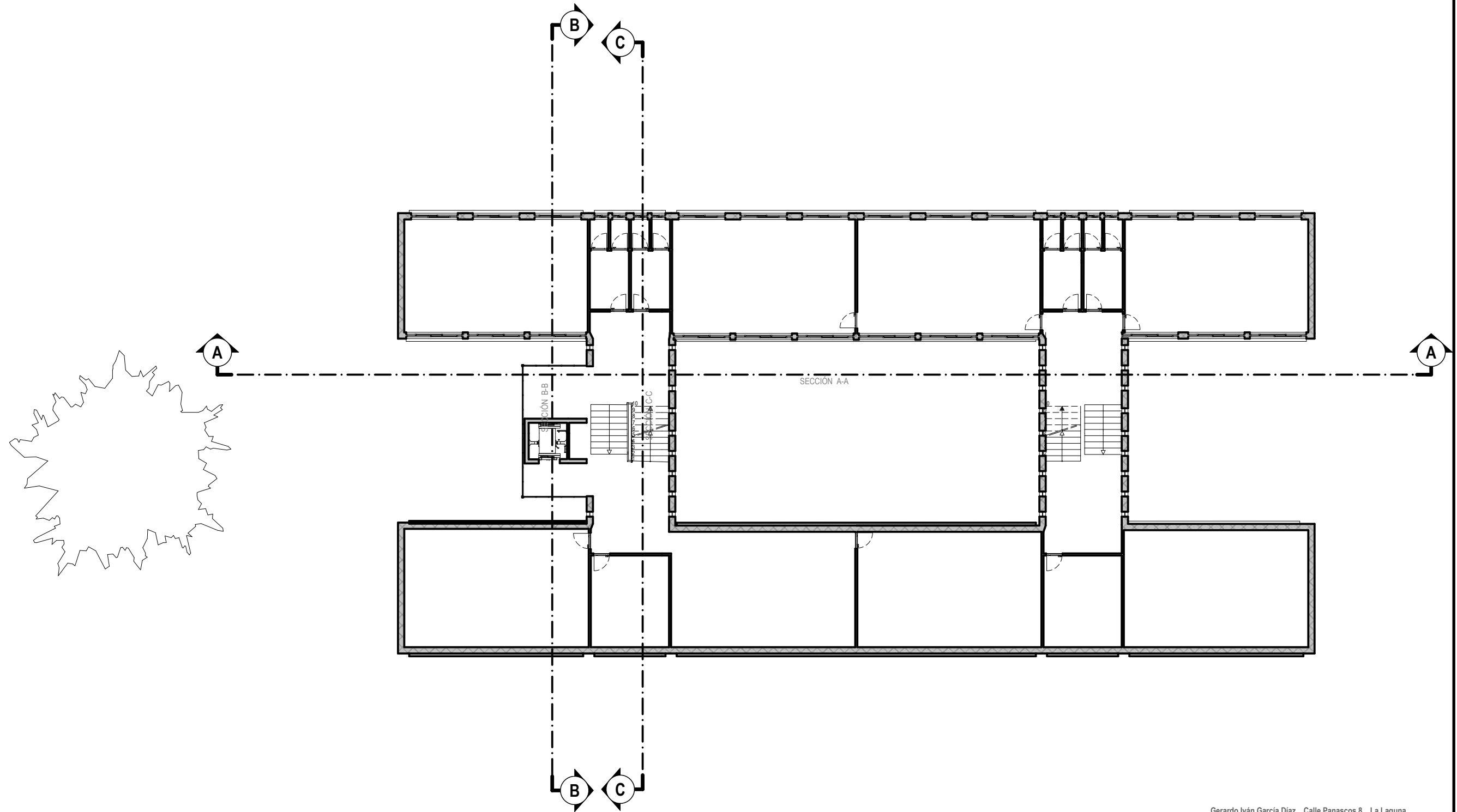


Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|--|----------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ENTREPLANTA 3-4 ESTADO MODIFICADO | 4 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/200 | |
| | | fecha | |
| | | 01/07/2018 | |

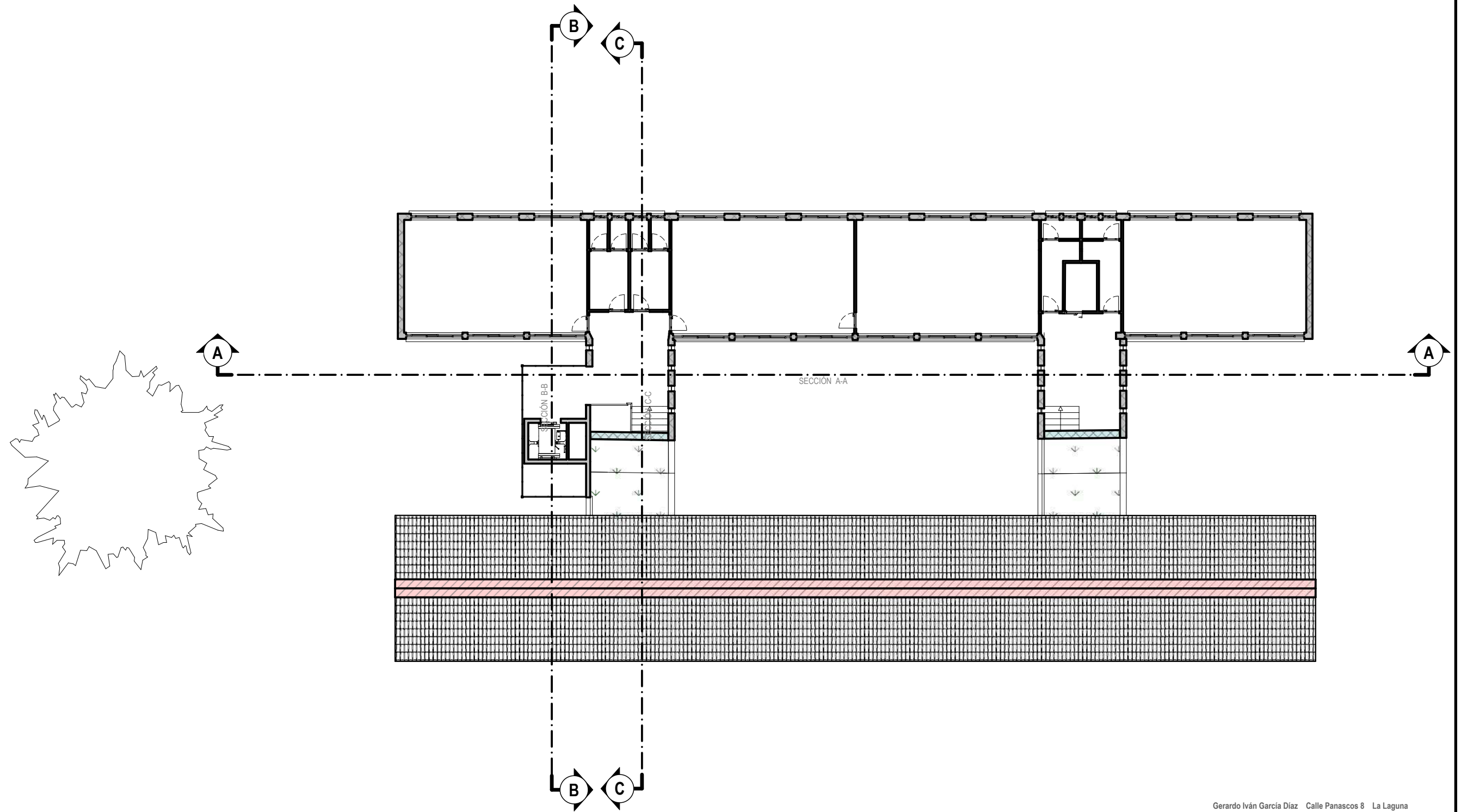


Universidad de La Laguna



Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---|----------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | Plano de: ENTREPLANTA 4-5 ESTADO MODIFICADO | N° 5 |
| | ALUMNO Gerardo Iván García Díaz |  Universidad de La Laguna | |
| | | escala 1/200 | |
| | | fecha 01/07/2018 | |



Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---|----------------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | Plano de: ENTREPLANTA 5-CUBIERTA ESTADO MODIFICADO | N° 6 |
| | ALUMNO Gerardo Iván García Díaz |  Universidad de La Laguna | |
| | | escala 1/200 | fecha 01/07/2018 |


ALZADO ESTE

Escala 1:200



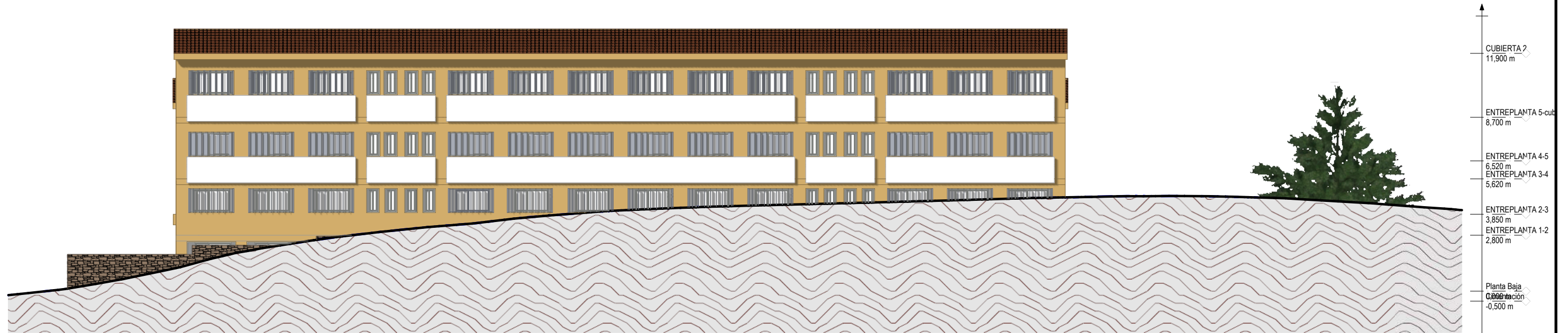
Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|--------------------|----------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ALZADO ESTE | 7 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/200 | |
| | | fecha | |
| | | 01/07/2018 | |

 **Universidad de La Laguna**


ALZADO OESTE

Escala 1:200



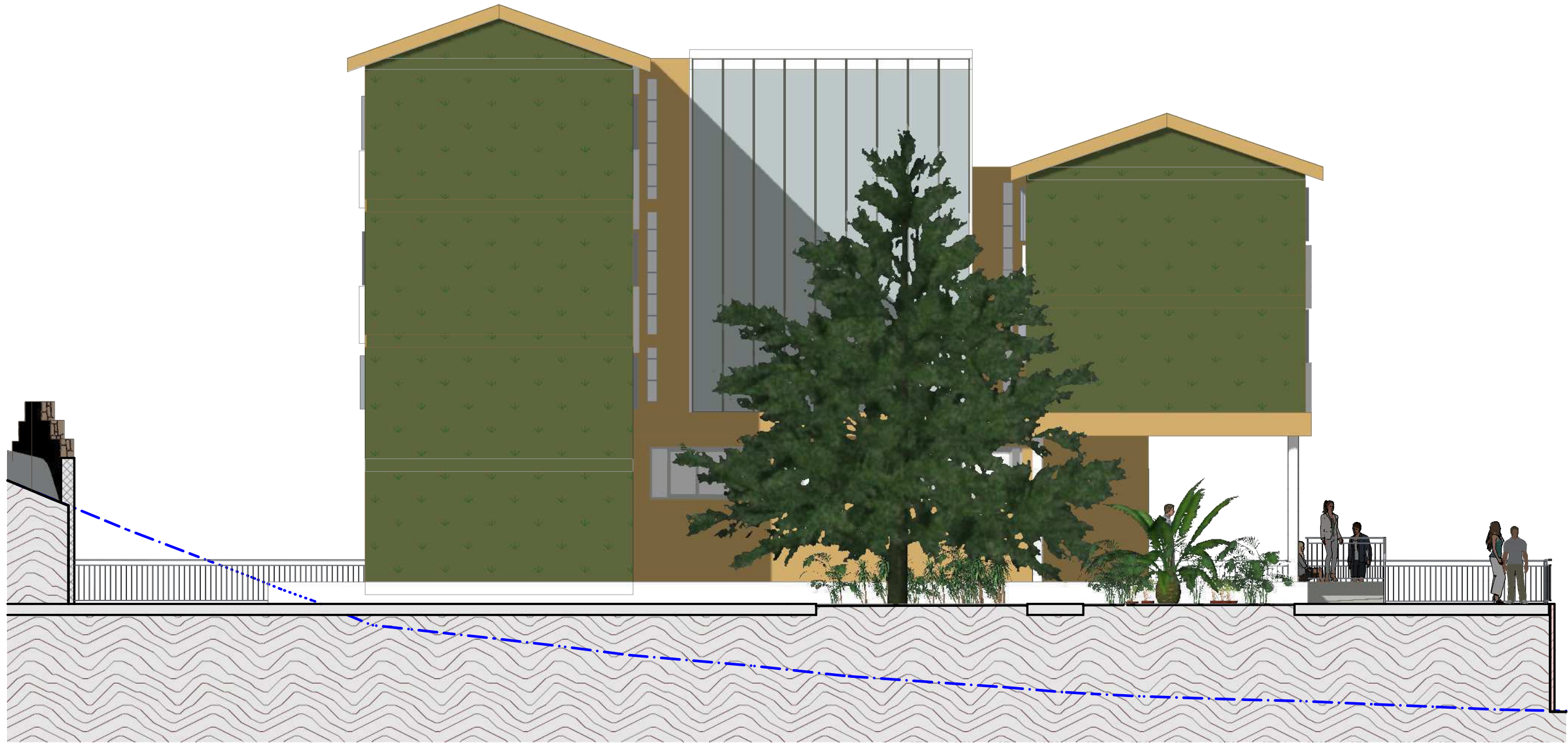
Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---------------------|----------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ALZADO OESTE | 8 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/200 | |
| | | fecha | |
| | | 01/07/2018 | |

 **Universidad de La Laguna**


ALZADO SUR

Escala 1:100



Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|-------------------|-------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ALZADO SUR | 9 |
| ALUMNO | escala | | fecha |
| Gerardo Iván García Díaz | 1/100 | | 01/07/2018 |

 **Universidad de La Laguna**


ALZADO NORTE

Escala 1:100



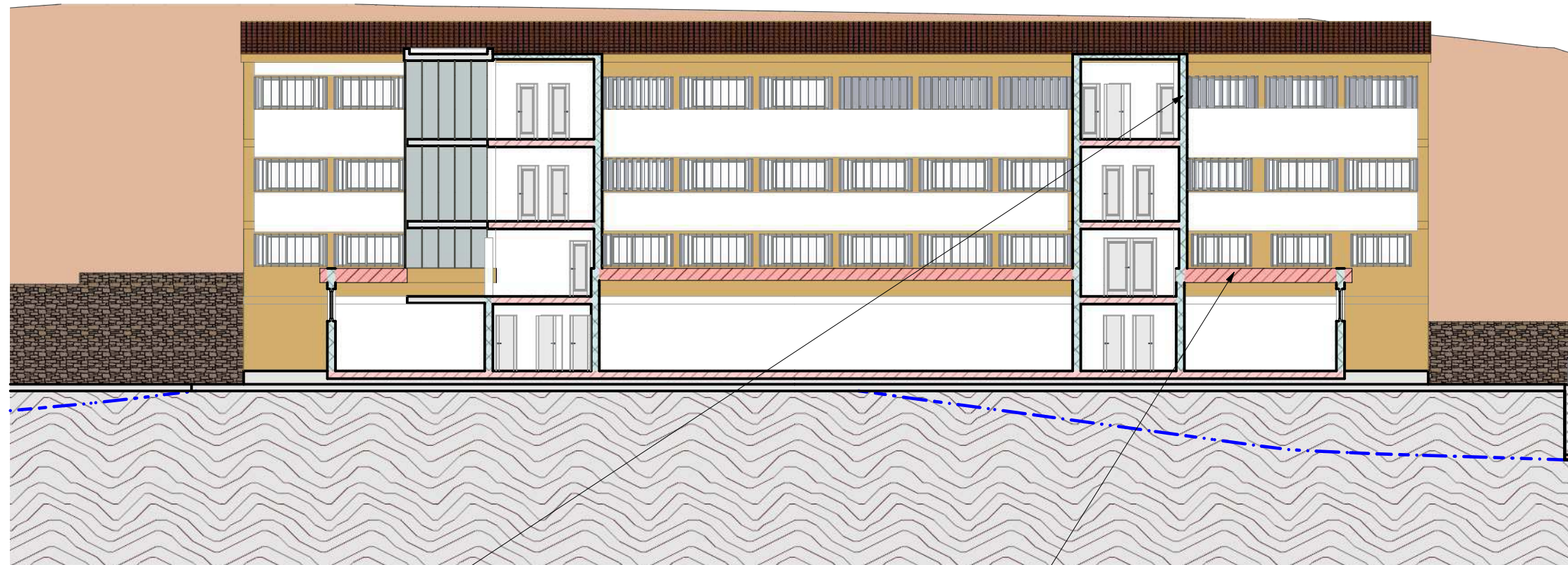
Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---------------------|-----------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | ALZADO NORTE | 10 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/100 | |
| | | fecha | |
| | | 01/07/2018 | |

 **Universidad de La Laguna**

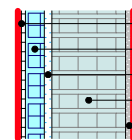
SECCIÓN A-A

Escala 1:200



Envoltura (escala 1:20)

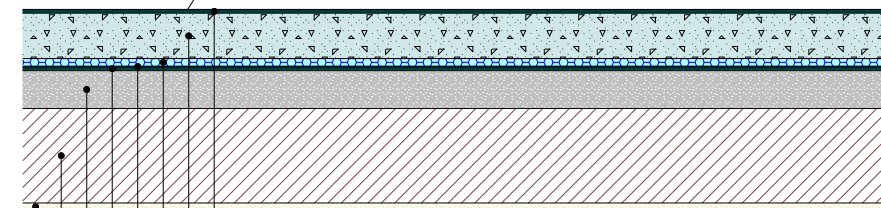
Mampostería bloques hormigón aislada [305,0]



- Cartón yeso en placas: 20,0 mm
- Panel lana de vidrio - densidad 30: 50,0 mm
- Cámara de aire vertical de 2 cm: 20,0 mm
- Bloque semihueco de hormigón aligerado (490*195*195) - MS 121: 195,0 mm
- Mortero de cemento: 20,0 mm

Envoltura horizontal (escala 1:20)

Cubierta plana no transitable [532,0]



- betún: 10,0 mm
- Contrapiso ordinario: 120,0 mm
- Poliestireno expandido extruido sin piel - densidad 30: 20,0 mm
- 2,0 mm
- betún: 10,0 mm
- Mortero de cemento: 100,0 mm
- Forjado estructural: 250,0 mm
- Revoque de yeso - densidad 1300: 20,0 mm

Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

Centro Municipal Tena Artigas
 Máster en Gestión e Innovación
 Tecnológica en la Construcción
 por la ULL

TÍTULO

Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM

ALUMNO

Gerardo Iván García Díaz

Plano de:

SECCION A-A

Nº

11

escala

1/200

fecha

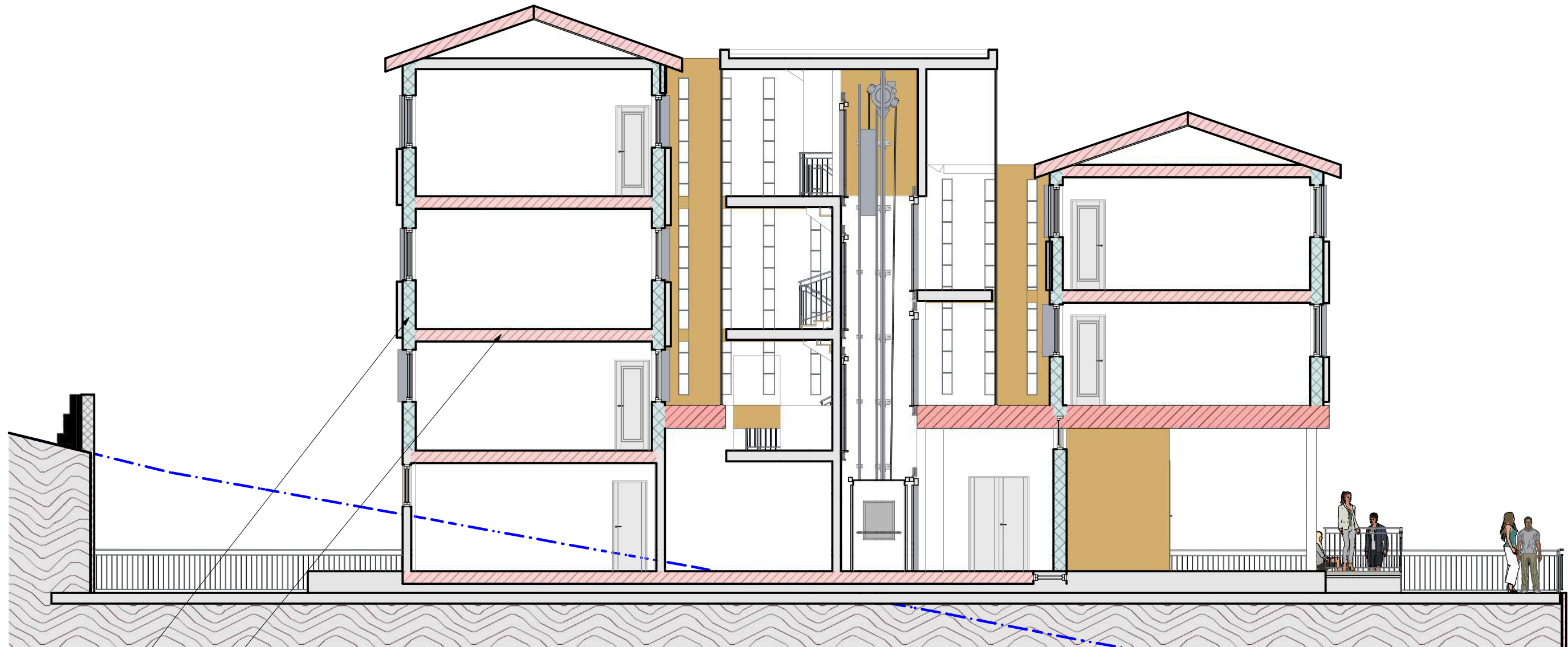
01/07/2018



Universidad de La Laguna

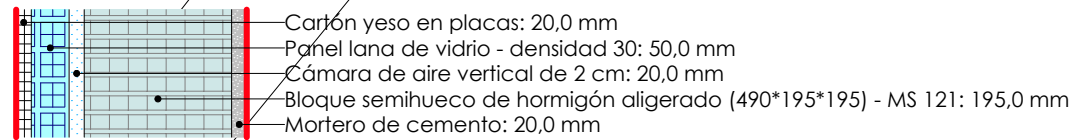
SECCIÓN B-B

Escala 1:100



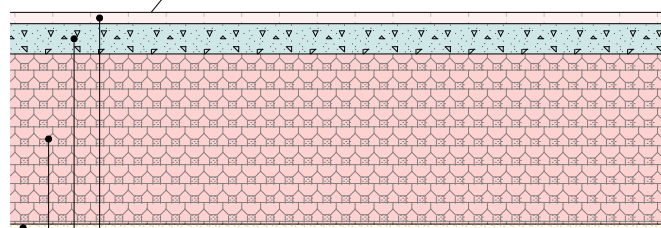
Envoltura (escala 1:10)

Mampostería bloques hormigón aislada [305,0]



Envoltura horizontal (escala 1:10)

Forjado con viguetas y bovedillas [290,0]

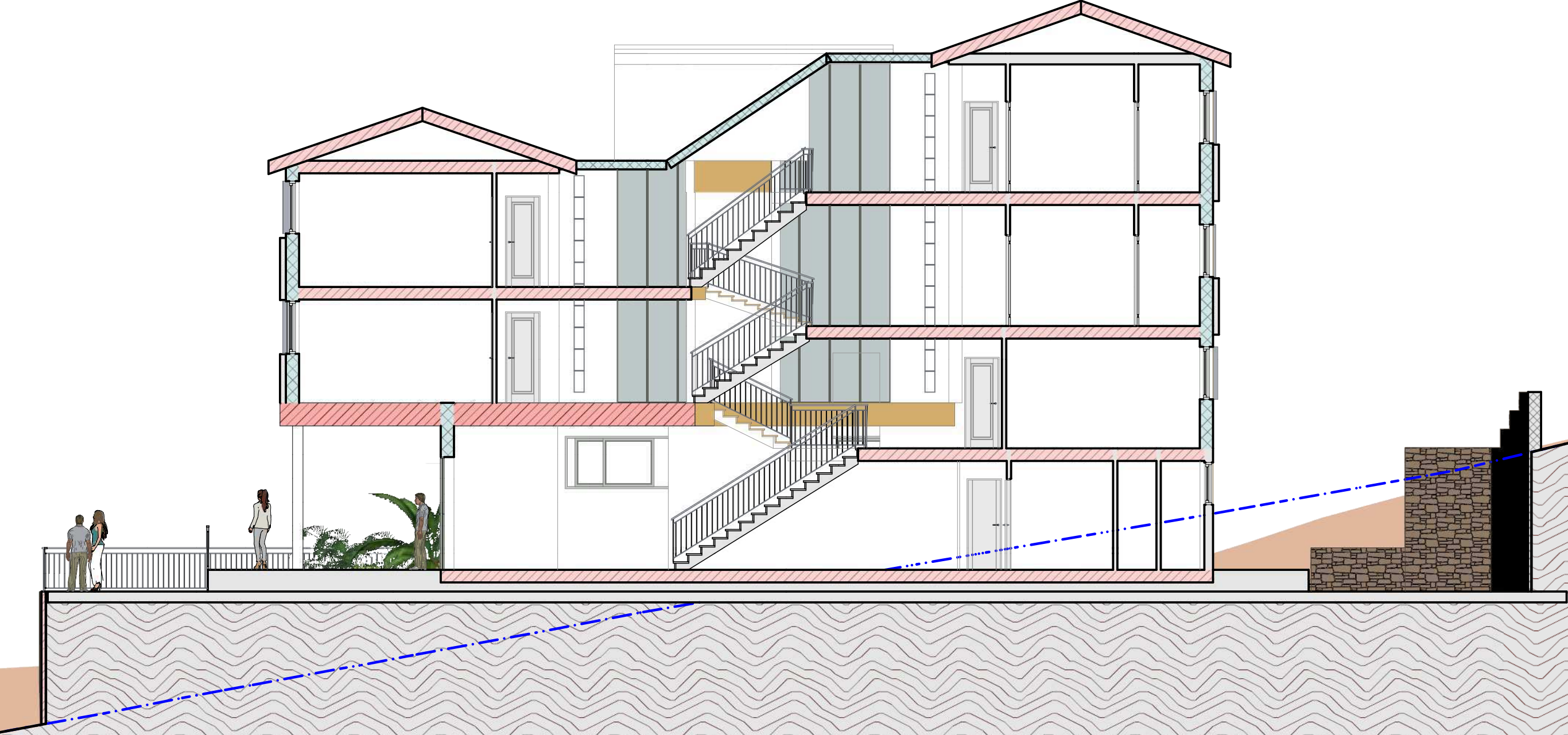


Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|---|-------------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | SECCION B-B | 12 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/100 | |
| | |  Universidad de La Laguna | fecha |
| | | | 01/07/2018 |

SECCIÓN C-C

Escala 1:100



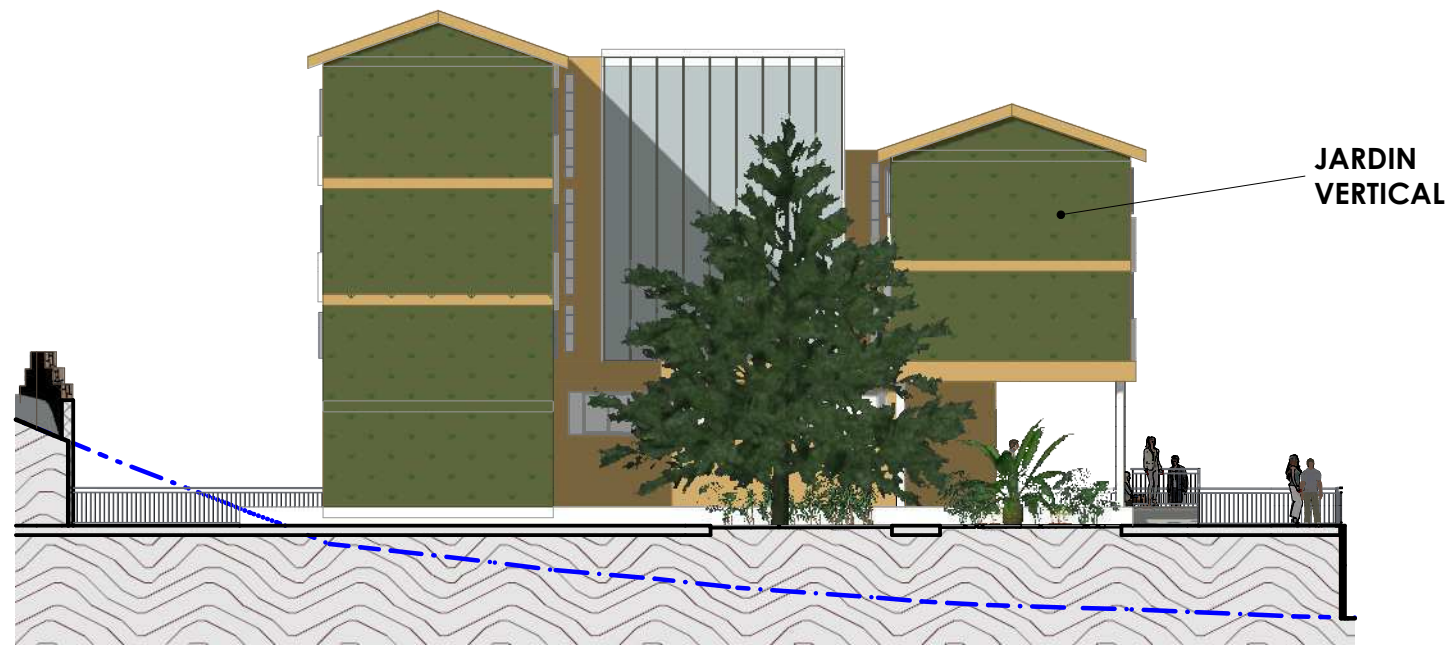
Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|--|--------------------|-----------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | SECCION C-C | 13 |
| ALUMNO | | escala | |
| Gerardo Iván García Díaz | | 1/100 | |
| | | fecha | |
| | | 01/07/2018 | |

 **Universidad de La Laguna**

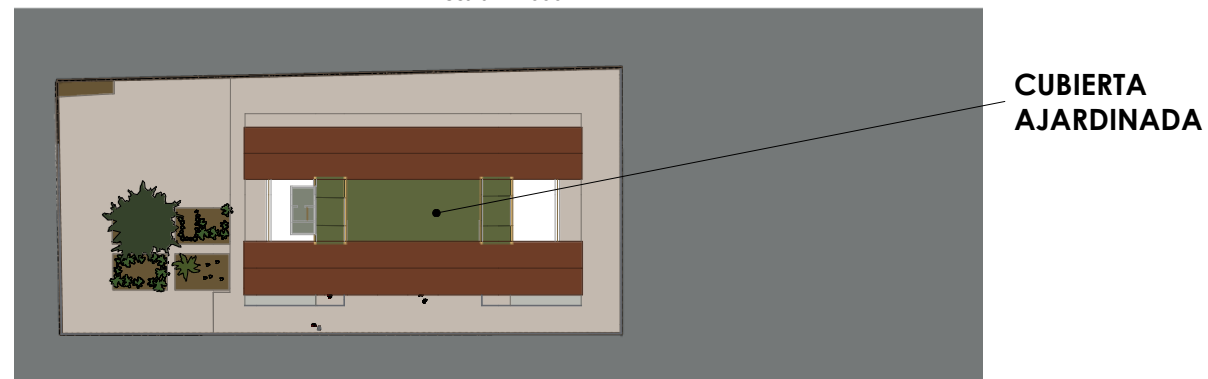
ALZADO SUR

Escala 1:200



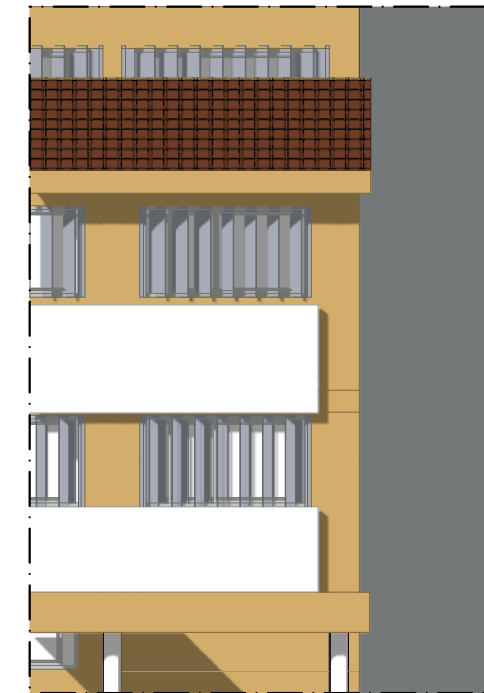
PLANIMETRÍA

Escala 1:1000



01 Protección Solar ALZADO ESTE

Escala 1:100



Gerardo Iván García Díaz Calle Panascos 8 La Laguna

| | | | |
|--|---|-----------------------------|------------|
| Centro Municipal Tena Artigas Máster en Gestión e Innovación Tecnológica en la Construcción por la ULL | TITULO | Plano de: | Nº |
| | Estudio y aplicación de sistemas pasivos para mejorar la envolvente del Centro Municipal Tena Artigas. Integración en un Modelo BIM | PROTECCIONES PASIVAS | 14 |
| ALUMNO | escala | | VARIAS |
| Gerardo Iván García Díaz | Universidad de La Laguna | | fecha |
| | | | 02/07/2018 |