



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la
generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la
simulación energética

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Royuela Mancebo, Lidia

Tutor/a: Vivancos Bono, José Luís

Cotutor/a: Cañada Soriano, Mar

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis tutores, Mar Cañada Soriano y José Luís Vivancos Bono, así como a Carolina Sabina Aparicio Fernández, quien, aunque no fue mi tutora oficial, se involucró de manera significativa en este proyecto. Su guía no solo fue esencial en los aspectos técnicos, sino que también contribuyó de manera genuina a mi desarrollo profesional. Las reuniones semanales y su disposición para brindarme apoyo en todo momento fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Valoro profundamente tanto su conocimiento y profesionalismo como la calidad humana con la que me han acompañado en este proceso.

También quiero agradecer a mis padres, quienes siempre me han transmitido el valor del aprendizaje y la importancia de seguir formándome. En especial, a mi padre, cuya pasión por la ingeniería y enfoque realista han sido una influencia constante en mi desarrollo académico. Su apoyo incondicional ha sido un pilar esencial en este camino.

RESUMEN

El presente TFG se centra en el modelado del edificio 5N de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universitat Politècnica de València, donde actualmente se lleva a cabo un banco de pruebas reales (LivingLab) para acelerar el camino hacia la neutralidad en carbono de la UPV y la ciudad. El modelado del edificio consiste en crear una representación digital detallada mediante el software de modelado 3D SketchUp, el cual incluye toda la información digital sobre la geometría del edificio y distribución de los espacios existentes.

Poder utilizar el modelo 3D del edificio exige la generación de archivos de entrada (IDF), paso previo en los casos en los que se pretende simular energéticamente el modelo en programas como el TRNSYS. El uso de los formatos de archivo Industry Foundation Classes (IFC) y Green Building XML (gbXML) para la extracción de datos BIM ofrece un control y una comprensión limitados del contenido de los archivos, lo que plantea problemas de interoperabilidad entre BIM y la simulación BEM.

El TFG realizado ha conseguido la interoperabilidad del modelo obtenido mediante el programa de simulación energética TRNSYS. En el trabajo se muestra la simulación realizada relativa a las temperaturas interiores del edificio.

Palabras Clave: BIM, IDF, LivingLab, simulación energética, modelado

RESUM

El present TFG se centra en el modelatge de l'edifici 5N de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials (ETSII) de la Universitat Politècnica de València, on actualment es duu a terme un banc de proves reals (LivingLab), per a accelerar el camí cap a la neutralitat en carboni de la UPV i la ciutat. El modelatge de l'edifici consisteix a crear una representació digital detallada mitjançant el programari de modelatge 3D SketchUp, el qual inclou tota la informació digital sobre la geometria de l'edifici i distribució dels espais existents.

Poder utilitzar el model 3D de l'edifici exigeix la generació d'arxius d'entrada (IDF), pas previ en els casos en què es pretén simular energèticament el model en programes com el TRNSYS. L'ús dels formats d'arxiu Industry Foundation Classes (IFC) i Green Building XML (gbXML) per a l'extracció de dades BIM ofereix un control i una comprensió limitats del contingut dels arxius, cosa que planteja problemes d'interoperabilitat entre BIM i la simulació BEM.

El TFG realitzat ha aconseguit la interoperabilitat del model obtingut mitjançant el programa de simulació energètica TRNSYS. En el treball es mostra la simulació realitzada relativa a les temperatures interiors de l'edifici.

Paraules Clau: BIM, IDF, LivingLab, simulació energètica, modelatge

ABSTRACT

The present project focuses on the modelling of building 5N of the Higher Technical School of Industrial Engineers (ETSII) at the Universitat Politècnica de València, where a real testbed (LivingLab) is currently being conducted to accelerate the path toward carbon neutrality for the UPV and the city of Valencia. The building's modelling lies in creating a detailed digital representation using the 3D modelling software SketchUp, which includes all digital information regarding the building's geometry and the distribution of spaces.

Using the 3D model of the building requires the generation of input files (IDF), a preliminary step when intending to simulate the model energetically in programs like TRNSYS. The use of Industry Foundation Classes (IFC) and Green Building XML (gbXML) file formats for BIM data extraction offers limited control and understanding of the file contents, which raises interoperability issues between BIM and BEM simulation.

The project has achieved the interoperability of the model obtained through the TRNSYS energy simulation program. The work includes the simulation conducted regarding the building's interior temperatures.

Keywords: BIM, IDF, LivingLab, energy simulation, modelling

ÍNDICE

ÍNDICE DE MEMORIA

Resumen ejecutivo	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivo del TFG	2
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Motivación de la temática del TFG	4
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	6
2.1. Documentación disponible del edificio	6
2.2. Ubicación y emplazamiento del edificio	6
2.3. Uso del edificio	8
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL EDIFICIO.....	10
3.1 Metodología empleada.....	10
3.2 Definición de espacios	11
3.3. Generación del modelo en SketchUp	14
Creación de zonas.....	14
Ventanas o cristaleras.....	17
Sombras	18
3.4 Implementación del modelo en TRNSYS.....	21
Simulation Studio.....	21
TRNBuild	24
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	31
4.1 Modelización final	31
4.2 Simulación	34
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	41
5.1 Conclusiones	41
BIBLIOGRAFÍA	43

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

ÍNDICE DE PRESUPUESTO

Presupuesto nº1. Justificación de precios	1
Presupuesto nº2. Resumen presupuesto	2

ÍNDICE DE PLANOS

Plano nº1. Situación del edificio 5N de la ETSII, dentro de Valencia	1
Plano nº2. Emplazamiento del edificio 5N de la ETSII en la UPV.....	2
Plano nº3. Distribución del sótano	3
Plano nº4. Distribución de la planta 1	4
Plano nº5. Distribución de la planta 2	5
Plano nº6. Distribución de la planta 3	6
Plano nº7. Distribución de la planta 4	7
Plano nº8. Vista planta de cubierta	8
Plano nº9. Vista alzado sur	9
Plano nº10. Vista alzado este	10
Plano nº11. Vista alzado oeste	11

ÍNDICE DE ANEJOS

Anexo nº1. Relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030.	1
--	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de visualización de algunos de los KPIS del proyecto LivingLab de la ETSII. (Fuente: Montagud-Montalvá et al., 2024, p. 4)	3
Figura 2. Localización del edificio 5N dentro del campus de Vera, UPV. Fuente Openmaps	7
Figura 3. Detalle de la ubicación del edificio dentro de la ETSII	7
Figura 4. Edificio 5N. Fachadas este y sur.....	8
Figura 5. Edificio 5N. Fachada norte.....	8
Figura 6. Flujo de Trabajo en el TFG.	10
Figura 7. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Planta baja del edificio 5N.	13
Figura 8. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Plantas 2 y 3 del edificio 5N.	13
Figura 9. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Cuarta planta del edificio 5N.	13
Figura 10. Comparación de las geometrías en los diferentes formatos a) CAD y b) IDF.	14
Figura 11. Asignación de zonas y nomenclatura en la planta baja del edificio 5N.	15
Figura 12. Representación de la separación de adyacencias.....	15
Figura 13. Nomenclatura y definición de paredes adyacentes en SketchUp.....	16
Figura 14. Visualización y asignación de ventanas en SketchUp.	18
Figura 15. Visualización y asignación de grupos de sombras en SketchUp. Vista sur.....	18
Figura 16. Vista de la fachada oeste del modelo.	19
Figura 17 . Vista de la fachada sur del modelo.	19
Figura 18 Vista de las fachadas norte y oeste del modelo.....	20
Figura 19: Captura de pantalla del proyecto en Simulation Studio.	21
Figura 20. Configuración de los parámetros globales.....	22
Figura 21. Calendario anual mostrando la activación de los equipos.....	23
Figura 22. Creación de nuevo material. Ejemplo genérico.	27
Figura 23. Constitución de la pared por materiales. Fachadas norte y oeste.....	27
Figura 24. Asignación del tipo de pared por zonas.....	28

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Figura 25. Implementación de la climatización en las aulas.	30
Figura 26. Vista isométrica del modelo.	31
Figura 27. Vista comparativa de la fachada este del modelo en SketchUp y del edificio real....	32
Figura 28. Vista de la fachada norte del modelo en SketchUp.	32
Figura 29. Vista de la fachada norte del edificio 5N.	33
Figura 30. Conteo de horas anuales con activación de equipos por superación de temperaturas de consigna en aulas.	34
Figura 31. Variación anual de temperaturas internas en diferentes zonas del edificio.	36
Figura 32. Variación de la temperatura interna del aula 035 durante enero mostrando el patrón semanal.	37
Figura 33. Variación de la temperatura interna del aula 035 durante junio mostrando el patrón semanal.	37
Figura 34. Efecto de la inercia térmica en las temperaturas internas en el periodo comprendido entre agosto y septiembre.	38
Figura 35. Evolución de temperaturas internas de marzo a mayo y su conformidad con las temperaturas de consigna.	39
Figura 36. Evolución de temperaturas internas de octubre a noviembre y su conformidad con las temperaturas de consigna.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características dimensionales y orientaciones de espacios y ventanas del edificio 5N.	17
Tabla 2. Composición de fachadas norte y oeste ordenado de exterior a interior. (EXT_WALL_N_O).	25
Tabla 3. Composición de fachadas sur y este ordenado de exterior a interior (EXT_WALL_S_E).	25
Tabla 4. Composición de tabiques interiores. (ADJ_WALL)	26
Tabla 5. Selección de tipos de ventana en TRNBuild.	29
Tabla 6. Conteo de horas dentro de los puntos de consigna primera y segunda planta.	35
Tabla 7. Conteo de horas dentro de los puntos de consigna tercera y cuarta planta.	35

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

MEMORIA

RESUMEN EJECUTIVO

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) se centra en el desarrollo de un modelo tridimensional del edificio 5N de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de la Universitat Politècnica de València (UPV), en el marco de las iniciativas del LivingLab 5N. El LivingLab es un entorno de pruebas reales diseñado para impulsar la innovación en eficiencia energética y sostenibilidad, contribuyendo a los objetivos de neutralidad en carbono de la UPV. El objetivo principal de este proyecto, desarrollado en el capítulo 1, es crear una base sólida para futuras simulaciones energéticas que permitan validar y optimizar el comportamiento del edificio.

Durante el desarrollo del TFG, se enfrentaron varias limitaciones técnicas, como las restricciones del software utilizado para modelar un número zonas térmicas finito, la disponibilidad limitada de información precisa sobre el edificio y la interoperabilidad entre los formatos BIM y BEM. Estas restricciones, detalladas en los capítulos 2 y 3, se abordaron mediante ajustes en el modelado, asegurando que el modelo final fuera adecuado para su integración en el software de simulación TRNSYS.

Aunque el objetivo principal del trabajo no incluía la realización de simulaciones energéticas completas, se llevó a cabo una simulación preliminar centrada en los datos térmicos del edificio. Esta simulación, descrita en el apartado 4, se realizó con el fin de validar la precisión y operatividad del modelo 3D creado, asegurando que cumple con los requisitos necesarios para su uso en análisis energéticos más avanzados en el futuro.

Este TFG ha logrado establecer una base para futuras investigaciones, facilitando simulaciones energéticas que contribuirán a mejorar la eficiencia del edificio 5N. Además, este trabajo se alinea con los objetivos de sostenibilidad de la UPV y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 y 13, sentando las bases para su aplicación en otros edificios del campus y potenciando el impacto positivo en la reducción de la huella de carbono, tal como se discute en el capítulo 5.

Conclusiones y trabajo futuro

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL TFG

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado (TFG), es realizar el modelado tridimensional del edificio 5N de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de la Universitat Politècnica de València (UPV) para poder simular el comportamiento energético del mismo. Éste se realizará utilizando el programa SketchUp que permite la creación de archivos de entrada IDF (Input Data File) necesarios para la correcta simulación energética en el programa TRNSYS.

Para lograr este objetivo, se abordarán varias tareas clave a lo largo del proyecto. Inicialmente, se procederá al análisis de la estructura y características del edificio, recopilando información arquitectónica y constructiva, como planos y materiales. Este análisis permitirá asegurar que el modelo tridimensional creado en SketchUp refleje la geometría real y las características del edificio.

Una vez obtenido el modelo 3D, se generará el archivo IDF correspondiente, y necesitará ser validado para garantizar su compatibilidad y operatividad en el entorno de simulación TRNSYS., Se realizarán simulaciones energéticas para evaluar el comportamiento térmico del edificio bajo diversas condiciones operativas y se analizarán los resultados de estas para comprobar la veracidad del modelo.

1.2 Antecedentes

La Universitat Politècnica de València (UPV) se ha comprometido a ser un referente en sostenibilidad y neutralidad de carbono. Este compromiso se enmarca en la "Misión Climática València 2030", una iniciativa de la Comisión Europea que ha designado a Valencia como una de las cien ciudades europeas que se han propuesto ser climáticamente neutras para el año 2030. (Ajuntament de València, 2022). En este contexto, los campus universitarios representan un punto clave de innovación y acción climática, sirviendo como un ejemplo de buenas prácticas, donde se desarrollan, prueban y optimizan las propuestas para la transición energética. Un ejemplo destacado es la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de la Universitat Politècnica de València (UPV), que ha lanzado el proyecto ETSII LivingLab como parte de su plan estratégico.

Los LivingLabs son entornos de innovación abierta donde se fomenta la colaboración entre usuarios finales, investigadores, empresas y entidades públicas para co-crear y validar nuevas soluciones en contextos reales. Estos laboratorios vivos permiten el desarrollo de tecnologías y estrategias innovadoras en entornos reales, facilitando la integración de los usuarios en todas las fases del proceso de innovación. En el contexto universitario, los LivingLabs transforman los campus en plataformas experimentales para promover la sostenibilidad y la eficiencia

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

energética, permitiendo a los estudiantes y académicos desarrollar y probar soluciones prácticas y replicables (Schuurman, De Marez, & Ballon, 2016).

El proyecto ETSII LivingLab comprende el monitorizado del edificio, un edificio de aulas ubicado en la ETSII de la UPV. Este edificio, que alberga tanto actividades docentes como administrativas, se describe con mayor detalle en el apartado 2.2, y ha sido seleccionado como un punto de referencia para la implementación de iniciativas orientadas a minimizar la huella de carbono de la escuela. Para llevar a cabo este proyecto, se ha desarrollado un sistema de adquisición de datos en tiempo real que permite la recopilación de indicadores clave de rendimiento relacionados con la sostenibilidad del edificio, identificados como KPIs por su acrónimo proveniente del inglés (Key Performance Index). Estos indicadores proporcionan datos cuantificables sobre el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de agua y otros aspectos relevantes para la sostenibilidad, lo que permite evaluar el impacto del edificio en el cambio climático.

Estos parámetros se recopilan en una base de datos de acceso abierto permitiendo cuantificar el impacto de las acciones emprendidas para mejorar la sostenibilidad del edificio y planificar mejoras futuras. De acuerdo con los análisis llevados a cabo hasta el momento, los resultados parecen indicar que hasta el 70% del consumo total de electricidad se debe al sistema de climatización del edificio. (Montagud-Montalvá et al., 2024)



Figura 1. Ejemplo de visualización de algunos de los KPIs del proyecto LivingLab de la ETSII. (Fuente: Montagud-Montalvá et al., 2024, p. 4)

Además de la obtención de los consumos en tiempo real, es de gran relevancia poder evaluar el edificio en detalle a lo largo de todo su ciclo de vida, desde las fases iniciales de diseño, pasando por las de operación y mantenimiento. En este sentido, hoy en día la metodología BIM (Building Information Modelling) se está afianzando como una forma de trabajo colaborativo en el ámbito de gestión y diseño de proyectos. Las administraciones públicas están imponiendo su uso siguiendo la recomendación de la Directiva Europea de Contratación Pública 2014/24/UE. El BIM representa una evolución y transformación en el desarrollo del proceso constructivo orientado a un modelo más fiable, eficaz y realista. Derivado de la misma filosofía, aparece el modelo BEM

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

(Building Energy Modelling), el cual permite el análisis de las condiciones ambientales del edificio desde la perspectiva de su evaluación energética.

Sin embargo, el paso de BIM a BEM no es inmediato ni directo. El formato IFC (Industry Foundation Classes) es un estándar utilizado en la metodología BIM para organizar y compartir la información detallada de un edificio. Aunque es útil en el contexto de BIM, el formato IFC presentan problemas de interoperabilidad cuando se convierte en archivos IDF (Input Data File), utilizados en la metodología BEM, debido a que ambos formatos tienen propósitos y estructuras diferentes: los IFC están orientados a la descripción y gestión general del edificio en todas sus fases, mientras que los IDF se enfocan en la simulación energética.

La conversión directa no es sencilla debido a la falta de correspondencia directa entre los datos de simulación y los datos de construcción y operación. Puesto que el objetivo final del Living Lab ETSII 5N es mejorar el consumo y eficiencia energética, se opta por trabajar con la metodología BEM utilizando para ello el programa TRNSYS y sus extensiones.

En el marco de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, el proyecto ETSII LivingLab se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Contribuye a asegurar una energía asequible y no contaminante (ODS 7) al enfocarse en la eficiencia energética y la reducción del consumo, aspectos cruciales para proporcionar energía limpia y accesible. Además, la transferencia de conocimientos y prácticas sostenibles no solo beneficia a la comunidad universitaria, ya que acerca a la ciudad al objetivo de la neutralidad climática, contribuyendo así al objetivo más amplio de la Unión Europea de lograr la neutralidad climática en las ciudades y al desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11). La reducción de las emisiones de carbono y la promoción de prácticas sostenibles también apoyan los esfuerzos globales para combatir el cambio climático (ODS 13), subrayando el compromiso del proyecto con la acción climática. Asimismo, la implementación de tecnologías BIM y BEM fomenta la innovación en infraestructura promoviendo la construcción de infraestructuras resilientes y sostenibles, alineándose el TFG en el ODS 9.

1.3 MOTIVACIÓN DE LA TEMÁTICA DEL TFG

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) surge de la necesidad de crear un modelo tridimensional (3D) del edificio 5N de la ETSII que permita validar los datos de demanda energética obtenidos a través del proyecto LivingLab. Enfocándonos en los primeros pasos de una auditoría energética, este trabajo se centra en la generación de un archivo IDF que sea operativo y válido. La creación de este archivo permitirá la realización de simulaciones que reflejen de manera realista el comportamiento del edificio bajo diversas condiciones, estableciendo así una base para simulaciones energéticas más complejas en investigaciones futuras.

Aunque inicialmente se planteó la generación del archivo IDF como el alcance principal, se decidió avanzar un paso más, introduciendo datos iniciales en TRNSYS, un software especializado en la simulación dinámica del comportamiento energético de edificios y sistemas térmicos. Este esfuerzo adicional facilitará la labor de futuros trabajos, al asegurar que estos puedan partir de una base ya establecida y funcional. Además, la incorporación de estos datos en TRNSYS ha permitido obtener resultados preliminares que muestran una coherencia con las expectativas teóricas, confirmando la viabilidad del modelo para análisis posteriores.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Este TFG también busca sentar las bases para futuras investigaciones que se centren en la mejora de la eficiencia energética del edificio, así como en la optimización de su uso. El modelo generado permitirá proponer mejoras asociadas a la eficiencia energética, el uso de espacios, y la integración de nuevas tecnologías, siempre fundamentadas en datos obtenidos del LivingLab. De esta manera, el trabajo no solo contribuye al conocimiento actual, sino que también abre la puerta a estudios y proyectos posteriores que podrían implementar soluciones concretas para mejorar la sostenibilidad del edificio.

Es importante destacar que el alcance de este TFG se limita a los primeros pasos en el uso de TRNSYS para la modelación del edificio. No se incluye un análisis detallado del software ni de la auditoría energética completa, sino que se centra en establecer una base sólida para futuras simulaciones y análisis más complejos. Este enfoque permite asegurar que el modelo generado sea funcional y preciso, preparando el terreno para un análisis más exhaustivo en posteriores estudios.

La motivación para este proyecto también está alineada con los objetivos más amplios de la Universitat Politècnica de València (UPV) y la ETSII, que han mostrado un interés particular en mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono de sus instalaciones. Este interés se enmarca en el compromiso de la UPV con la sostenibilidad y la reducción de su impacto ambiental, reflejado en su estrategia de transición energética hacia la huella cero de carbono para 2050.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

2.1. DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE DEL EDIFICIO

Para llevar a cabo el modelado y análisis energético del edificio 5N de la ETSII en el campus de Vera de la Universitat Politècnica de València, se recopiló una serie de recursos clave. Estos materiales han sido esenciales para garantizar la precisión y fiabilidad del proyecto, proporcionando una base sólida para el desarrollo del modelado y las simulaciones energéticas.

El principal recurso utilizado fue el Trabajo Fin de Máster (TFM) titulado “Análisis energético del edificio 5N del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València. Estudio técnico económico de las propuestas para la mejora de la eficiencia energética del edificio.”, realizado por Álvaro González Navarro. Este TFM proporcionó detalles constructivos esenciales del edificio, necesarios para crear un modelo preciso.

Adicionalmente, se contactó con el servicio de infraestructuras de la ETSII para obtener los planos que conformaban el proyecto inicial del edificio y su posterior reforma. Estos planos arquitectónicos han sido fundamentales para el modelado tridimensional, mostrando la disposición de aulas, oficinas, pasillos, baños y otras áreas funcionales. Sin embargo, la información recopilada de proyectos anteriores presentaba algunas limitaciones, ya que los planos no incluían alzados, lo que supone que no se dispone de la localización y medidas exactas de las ventanas. Para superar estas limitaciones, se realizaron todas las mediciones necesarias en el edificio. Estas mediciones, in situ, permitieron obtener datos precisos sobre la ubicación y dimensiones de las ventanas, asegurando que el modelo tridimensional creado en SketchUp reflejara con exactitud la estructura y características del edificio 5N.

La combinación de los detalles constructivos obtenidos del TFM y los planos proporcionados por el servicio de infraestructuras, junto con las mediciones adicionales realizadas, permite una comprensión integral y precisa del edificio 5N. Esta documentación es esencial para garantizar que el modelo tridimensional creado en SketchUp y las simulaciones energéticas en TRNSYS sean fiables. La precisión del modelo asegura que los resultados obtenidos sean útiles para la evaluación del comportamiento térmico y energético del edificio, proporcionando una base sólida para futuras optimizaciones y estudios de eficiencia energética en el edificio 5N de la ETSII.

2.2. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO

El edificio objeto de estudio en este TFG se ubica en el Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València. Su dirección postal es Camí de Vera, s/n, 46022 València, València. Internamente, se le denomina como "5N" según el código de la UPV o “aulario” ya que alberga

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

un gran número de aulas pertenecientes a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. La ubicación exacta del edificio estudiado es 39°28'58.0"N, 0°20'28.3"W. En las Figuras 2 y 3 se muestra su ubicación dentro del campus de Vera.

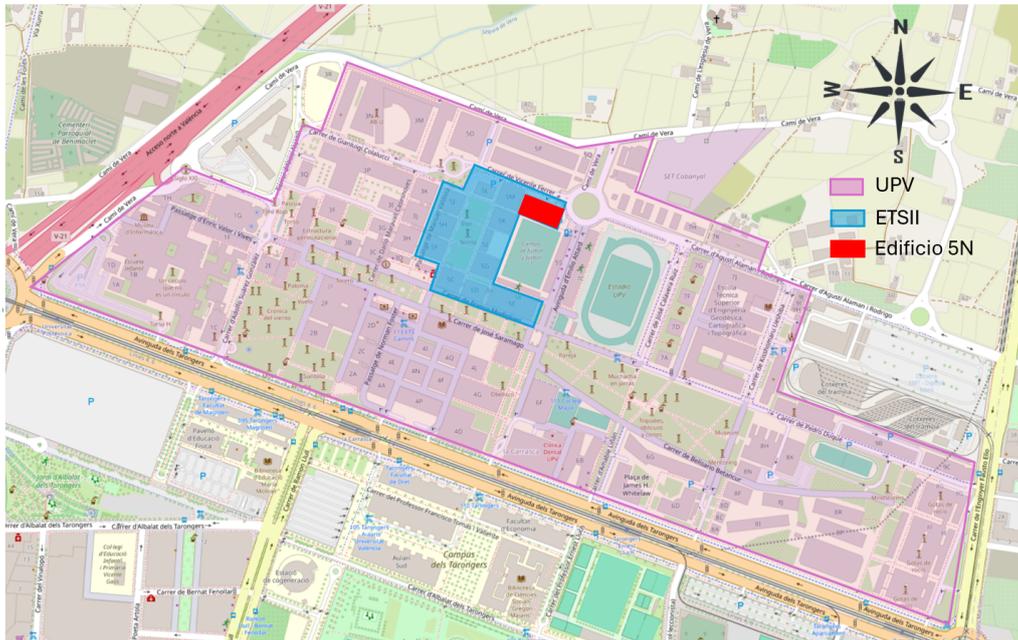


Figura 2. Localización del edificio 5N dentro del campus de Vera, UPV. Fuente Openmaps



Figura 3. Detalle de la ubicación del edificio dentro de la ETSII

En términos de orientación, el edificio 5N facilita la ganancia solar durante los meses de invierno. Como se aprecia en la Figura 4, la fachada principal (sur) y escaleras (este) cuentan con superficies acristaladas de suelo a cubierta, de forma que se optimiza la entrada de luz natural, reduciendo la necesidad de iluminación artificial y, por ende, de consumo energético.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética



Figura 4. Edificio 5N. Fachadas este y sur.

Otro elemento característico del edificio es su fachada norte, Figura 5, en la que se encuentran las ventanas pertenecientes a las aulas. Esta disposición permite aprovechar la luz natural constante y difusa, evita el deslumbramiento y el sobrecalentamiento, y proporciona un ambiente visualmente cómodo. Es especialmente beneficiosa en climas cálidos, como Valencia, y en espacios que requieren una iluminación estable y de alta calidad.



Figura 5. Edificio 5N. Fachada norte.

2.3. USO DEL EDIFICIO

El edificio 5N de la Universitat Politècnica de València (UPV) está destinado principalmente a actividades docentes y actúa como aulario principal para la Escuela Superior de Ingeniería Industrial. Tiene 19 espacios destinados a aulas y aulas informáticas, habilitados para facilitar la actividad docente.

El edificio tiene una superficie ocupada de suelo de 1.452 m² distribuidos en varias plantas. El sótano alberga un espacio de aparcamientos y almacenes independientes. La planta baja incluye dos salas destinadas al uso administrativo y cuatro aulas. Desde la primera planta hasta la tercera encontramos cinco aulas por planta. La cubierta, que no es transitable, contiene los

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

equipos necesarios para el funcionamiento de las instalaciones del edificio. Se cuenta con un ascensor que facilita el acceso a todas las plantas, asegurando la accesibilidad para todos los usuarios. Además, en todas las plantas, excepto el sótano, existen aseos para los usuarios.

Un aspecto distintivo del edificio es su vestíbulo diáfano, de aproximadamente 13 metros de altura, que contribuye significativamente a la sensación de amplitud y luminosidad del edificio.

El horario de funcionamiento del edificio es tanto matutino como vespertino, lo que implica un uso intensivo de sus instalaciones a lo largo del día, lo que subraya la importancia de implementar las medidas eficientes de gestión energética y sostenibilidad para reducir el impacto ambiental y optimizar el funcionamiento del edificio (ODS 7. Energía asequible y no contaminante).

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL EDIFICIO

3.1 METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada en este Trabajo Fin de Grado se muestra de forma esquemática en la Figura 6.

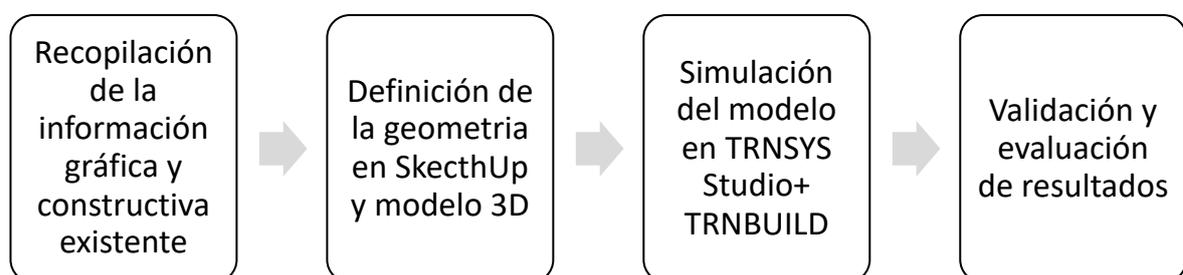


Figura 6. Flujo de Trabajo en el TFG.

Inicialmente se procede a la recopilación y análisis de la información disponible expuesta en el apartado *2.1 Documentación disponible del edificio*.

Para la definición geométrica y la creación del modelo 3D se ha optado por utilizar el programa SketchUp junto al plugin de TRNSYS 18. SketchUp es un software de modelización el cual contiene todas las funciones necesarias para diseñar cuerpos tridimensionales, además, junto con el plugin TRNSYS3D, permite exportar directamente el modelo a un formato compatible con TRNSYS, facilitando la integración de los datos geométricos en las simulaciones energéticas. Con el plugin TRNSYS3D pueden recrearse diferentes espacios o zonas térmicas, así como la geometría correspondiente a los cerramientos, usando funciones originales del SketchUp. Junto a los datos geométricos, TRNSYS3D atribuye a cada superficie sus parámetros como: el tipo de componente (techo, pared, ventana), la protección solar y las condiciones de contorno. Estos atributos generales pueden ser ajustados por el usuario.

Generado el modelo 3D del edificio 5N se crea el archivo IDF, un archivo de texto que contiene toda la información geométrica y las propiedades del edificio con una sintaxis legible. Este archivo puede abrirse con TRNSYS para la obtención de la simulación detallada del comportamiento térmico y energético de los edificios bajo diversas condiciones climáticas y operativas. En este sentido, los parámetros globales del proyecto se configuraron a través de TRNSYS Simulation Studio, mientras que en TRNBuild, se definen los materiales constructivos y sus propiedades, las propiedades de las ventanas y carpintería, así como las temperaturas de confort.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Por último, se procede a la validación del modelo generado por SketchUp y su aplicación, que garantiza que los resultados obtenidos son precisos y útiles para la optimización energética del edificio 5N, contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética del proyecto ETSII LivingLab.

3.2 DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Dada la geometría real del edificio obtenida a partir de los planos existentes, ha sido necesario la simplificación de algunas zonas debido a las restricciones y limitaciones del programa de modelado. Estas simplificaciones se realizaron siguiendo criterios técnicos establecidos en el manual de uso de TRNYS, que establece que los criterios para la zonificación son: el tipo de uso, el acondicionamiento previsto, la orientación, así como las diferencias en las partes transparentes de la fachada y las características constructivas, como las estructuras de muros. Estas consideraciones aseguran que el modelo refleje adecuadamente las condiciones térmicas reales del edificio sin incurrir en una complejidad innecesaria, equilibrando precisión y eficiencia en la simulación.

Para facilitar la identificación y correspondencia con los planos originales, se mantuvo la nomenclatura real de los espacios, utilizando el sistema de codificación asignado por la ETSII. En este sistema, la primera cifra de las aulas corresponde al código del edificio; en este caso, todas las aulas se identifican con "0xx", ya que el edificio 5N utiliza esta numeración. La segunda cifra indica la planta en la que se ubica el aula, comenzando desde "1" para la planta baja. Las aulas con numeración "01x" se encuentran en la planta baja, mientras que las "04x" corresponden a la planta más alta. La tercera y última cifra del código designa la ubicación específica del aula dentro de cada planta. Este sistema de nomenclatura ha sido respetado en el modelo para asegurar una correspondencia directa con los planos y facilitar su interpretación.

En primer lugar, se ha tenido en cuenta la limitación que presenta SketchUp de creación máxima de 36 zonas térmicas TRNSYS, lo que obligó a simplificar el modelo en las siguientes categorías:

- Zonas independientes para las aulas
- Zonas unificadas para el conjunto de baños
- Un volumen único para el sótano
- Un volumen abierto correspondiente al vestíbulo y escaleras

Además de esta simplificación de carácter general, se realizaron las siguientes modificaciones específicas:

1. Zonas independientes para las aulas

- Secretaría. Aunque la Secretaría no es un aula, se ha incluido en este apartado debido a que ocupa el espacio que, estructuralmente, correspondería al aula 015 si esta existiera. Aunque su disposición interna es diferente, ya que contiene subespacios que las aulas no tienen, comparte la misma forma y el mismo perímetro exterior que tendría un aula en ese lugar. Se ha unificado como una única zona a pesar de la separación real de los subespacios u oficinas, asumiendo que, al estar conectados, compartirán un único sistema de climatización. Esta simplificación puede observarse en el plano de la primera planta del edificio, Figura 7, donde se ha

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

representado este espacio bajo la misma consideración que las aulas para facilitar la modelización energética

- Aulas situadas en la planta baja. En la simulación, todos los espacios de esta planta se han reducido para adoptar el mismo tamaño que el resto de las plantas. Mantener las dimensiones reales habría resultado en una superficie irregular al extruir el hall, requiriendo separarlo en distintas zonas. Aunque estas aulas tienen una mayor superficie, se han ajustado para facilitar la modelación del vestíbulo como una única zona. (Figura 7)
- Aulas situadas en la última planta. De igual manera que en el caso anterior, en las aulas 043 y 042 se ha omitido en el modelado la existencia de dos pequeños almacenes situados en su interior, con el fin de simplificar la extrusión del hall. (Figura 9)

2. Zonas para el conjunto de baños

Aunque en la realidad existen tres baños por planta, se han modelado como una única zona por planta, como se puede observar en la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 más adelante, ya que no solo comparten las mismas características constructivas y uso, sino que también disponen de ventilación natural cruzada situándolas como zona no climatizada.

3. Sótano.

Se ha modelado como un único espacio, a pesar de contener almacenes y un aparcamiento, ya que no aportan información adicional significativa para la simulación energética

4. Volumen abierto correspondiente al vestíbulo y escaleras:

Se ha incluido el vestíbulo y las escaleras como una única zona, debido a su conexión natural sin puertas delimitadoras. La justificación de esta simplificación se encuentra en el manual del programa (Hiller & Shulz, 2019) que determina que “según aumenta el número de zonas acopladas, el esfuerzo del usuario, el tiempo de cálculo y la tasa de error aumentan, pero no necesariamente la precisión. Por lo tanto, en muchos casos es útil combinar varias habitaciones con las mismas características en una zona térmica”

Las simplificaciones anteriores se muestran en las Figura 7, Figura 8 y Figura 9, sirviendo éstas de base para realizar el modelo geométrico descrito en el apartado 3.3. Generación del modelo en SketchUp . A partir de estas simplificaciones, los planos originales, que pueden consultarse en el apartado "Planos", se han ajustado para crear el modelado tridimensional.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

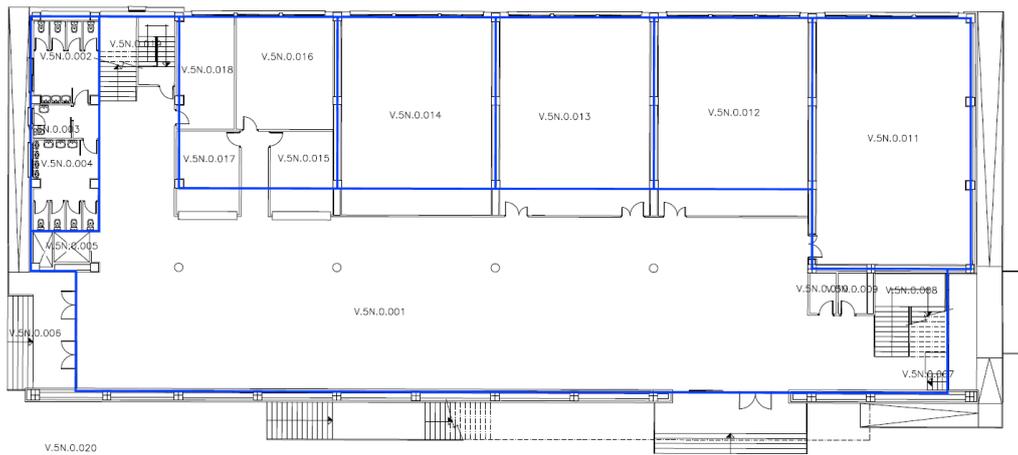


Figura 7. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Planta baja del edificio 5N.

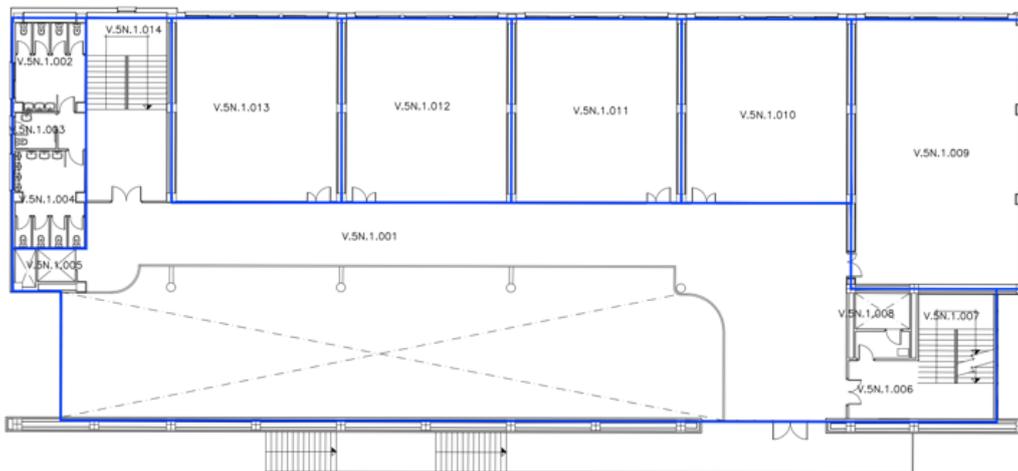


Figura 8. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Plantas 2 y 3 del edificio 5N.

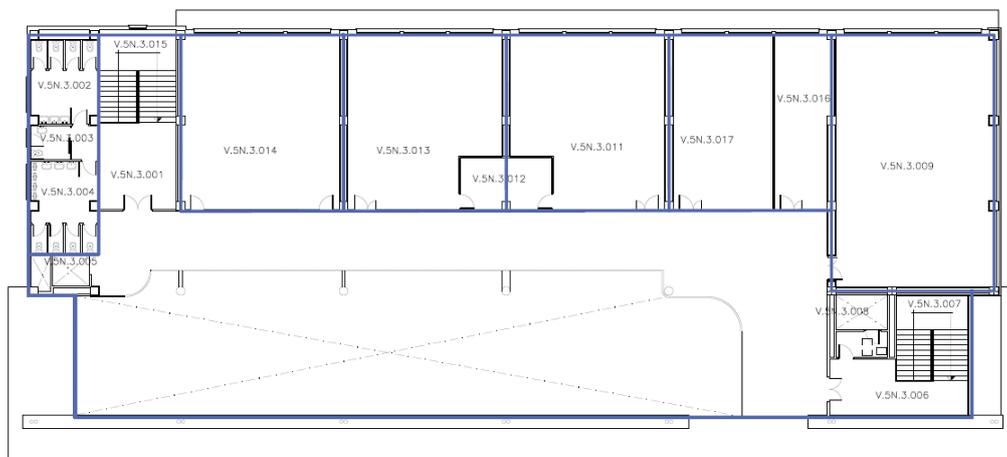


Figura 9. Comparativa entre plano real y simplificación efectuada: Cuarta planta del edificio 5N.

3.3. GENERACIÓN DEL MODELO EN SKETCHUP

Adoptadas las simplificaciones, se genera la nueva geometría en SketchUp, creando un nuevo proyecto. A continuación, se describen los pasos clave en este proceso.

Creación de zonas

Como se ha comentado en los subapartados anteriores, es necesario la introducción de la geometría en zonas "TRNSYSZones" para la correcta modelización. La Figura 10 muestra la diferencia entre la visión de la geometría del programa "CAD" (a) (sin tener en cuenta un posterior análisis energético) y la geometría perteneciente al archivo IDF (b) (definido para su posterior análisis energético a través de su importación en TRNSYS).

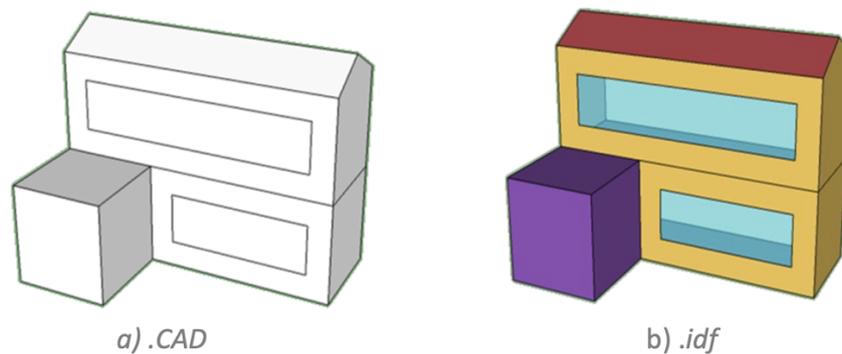


Figura 10. Comparación de las geometrías en los diferentes formatos a) CAD y b) IDF.

El paso inicial consiste en crear un nuevo proyecto en SketchUp en el cual se introduce la geometría del edificio. Es importante recalcar que se debe crear una nueva zona por cada espacio que se ha de utilizar en la simulación final, asegurando, de esta forma, una correcta modelización en TRNSYS. La creación de estas zonas permite no solo la inclusión correcta de la geometría en el modelo, sino también la obtención de resultados particularizados en cada zona, tales como demandas energéticas, perfiles de temperatura y flujos de calor. En TRNSYS, una definición adecuada de las zonas es necesaria para realizar simulaciones que analicen cómo varían los parámetros en función de las condiciones específicas de cada zona. En este trabajo, se ha creado una nueva zona por cada aula, lo que permitirá un análisis del comportamiento energético en cada una de ellas.

Una vez creadas todas las zonas del edificio bajo estudio, se les asigna la nomenclatura deseada (en este caso, coincidente con nomenclatura asignada en el Edificio 5N) para facilitar su identificación tal y como se muestra en la Figura 11.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

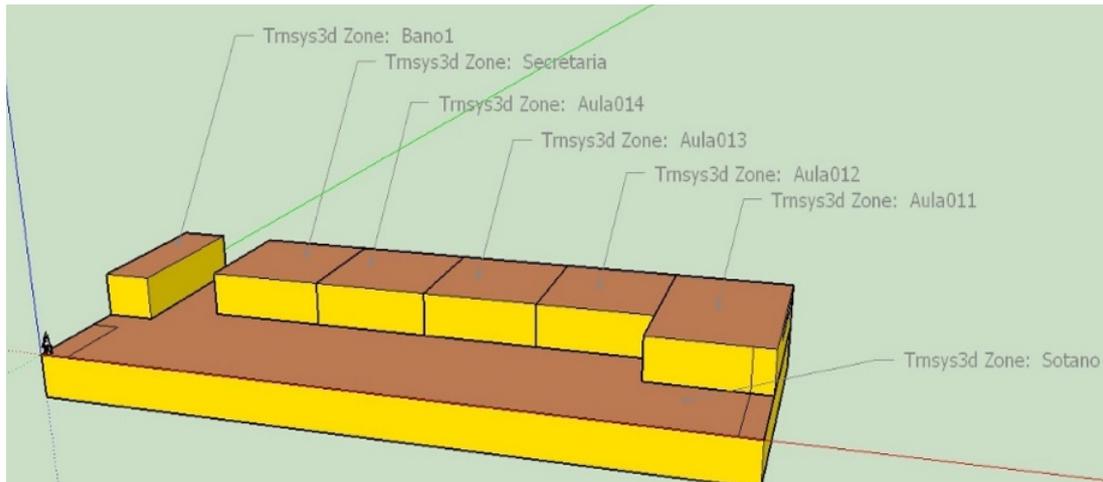


Figura 11. Asignación de zonas y nomenclatura en la planta baja del edificio 5N.

En aquellas paredes que son colindantes con varios espacios diferentes, las adyacencias correspondientes se deben asignar manualmente para garantizar que TRNSYS interprete correctamente que el contacto entre ellas es completo. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de cómo se realiza la separación manual de paredes que incluyen diferentes espacios colindantes y la asignación de adyacencias. Este detalle es crucial para evitar errores en la simulación, puesto que es habitual que dé lugar a errores en el momento de la simulación si no se realiza de forma correcta.

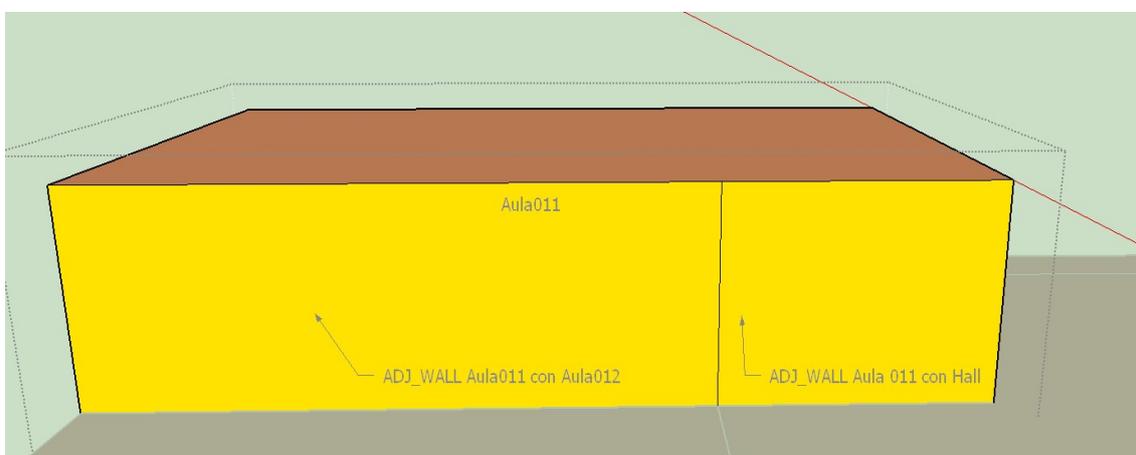


Figura 12. Representación de la separación de adyacencias.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

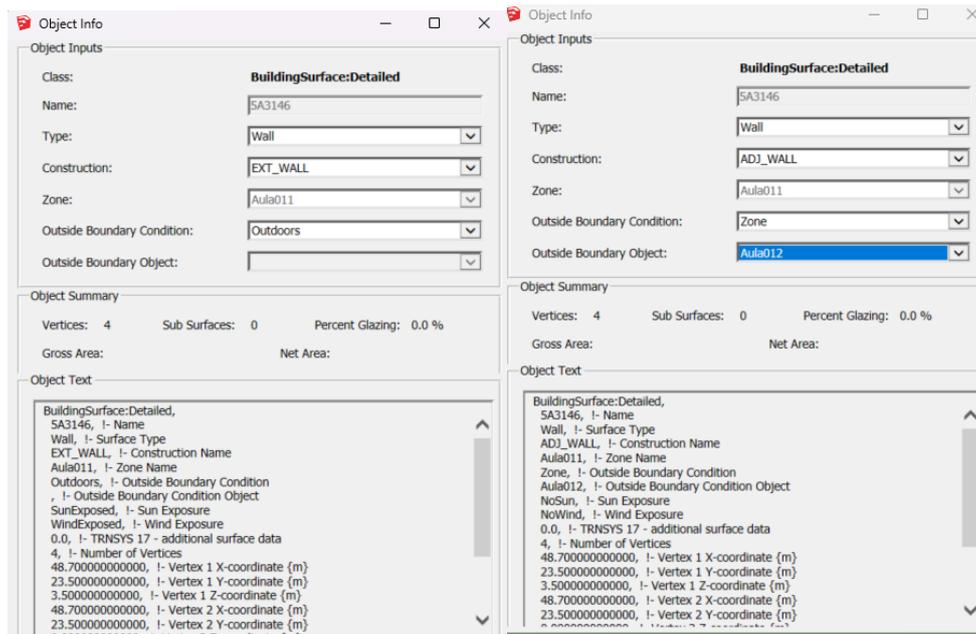


Figura 13. Nomenclatura y definición de paredes adyacentes en SketchUp.

Inicialmente, SketchUp considera todos los muros como exteriores, por lo que es necesario definir manualmente las adyacencias para asegurar una correcta configuración del modelo. La Figura 13 ilustra este proceso, mostrando cómo cada pared colindante debe ser asignada manualmente a la zona con la que limita. Por ejemplo, en el aula 011, la pared izquierda colinda con el aula 012. Esta relación debe ser indicada en las propiedades del aula 011, especificando que dicha pared es adyacente al aula 012. Del mismo modo, en las propiedades del aula 012, debe reflejarse la colindancia con el aula 011. Si estas asignaciones no se realizan correctamente, el programa no podrá identificar la relación de adyacencia entre las zonas, lo que resultará en errores en la simulación.

Una vez realizada la planta baja, que puede servir de base, se repite el proceso para las restantes. Al igual que con las paredes colindantes, se debe definir el suelo y techo de las aulas también como adyacentes y con qué zonas delimitan. Este proceso detallado asegura que el modelo geométrico del edificio en SketchUp sea preciso y que se integre correctamente en TRNSYS para simulaciones energéticas detalladas y fiables. La Tabla 1 muestra la caracterización final de las zonas definidas.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Tabla 1. Características dimensionales y orientaciones de espacios y ventanas del edificio 5N.

Zona	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	N.º de ventanas y dimensiones		Orientación
Sótano	1384	4844,00	-		-
Aulas grandes (011-021-031-041)	159	556,50	3	(8,27x2,07m)	Norte
				2X(4,10X0,70m)	Este
Aulas pequeñas (20 Restantes)	107	374,50	1	(8,27x2,07m)	Norte
Baños (Cuatro, uno por planta)	56	196,00	5	(2,10x0,70m)	Norte
				2x(2,10x0,70m)	Oeste
				2x(1,05x0,70m)	Oeste
Hall	710	9940,00	5	(2,10x11,19m)	Norte
				(7,70x12,05m)	Este
				(6,50x11,59m)	Sur
				(54,48x2,01m)	Sur
				(6,97x13,7m)	Oeste

Ventanas o cristaleras

Después de crear la geometría base se deben generar las ventanas. Para ello, se debe activar la zona correspondiente y se utilizan guías para esbozar la ubicación de las ventanas. Posteriormente, se crean rectángulos que el programa detecta y denomina automáticamente como ventanas, representándolas con un color azul transparente. Pese a que el programa las detecte como ventanas, en SketchUp únicamente queda definida la geometría, y será en TRNSYS donde se definen de los materiales del cristal y la carpintería.

Al añadir las ventanas, se debe tener en cuenta que no pueden estar en contacto con el suelo o los cantos, dejando un espacio adecuado al crear las cristaleras del hall.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

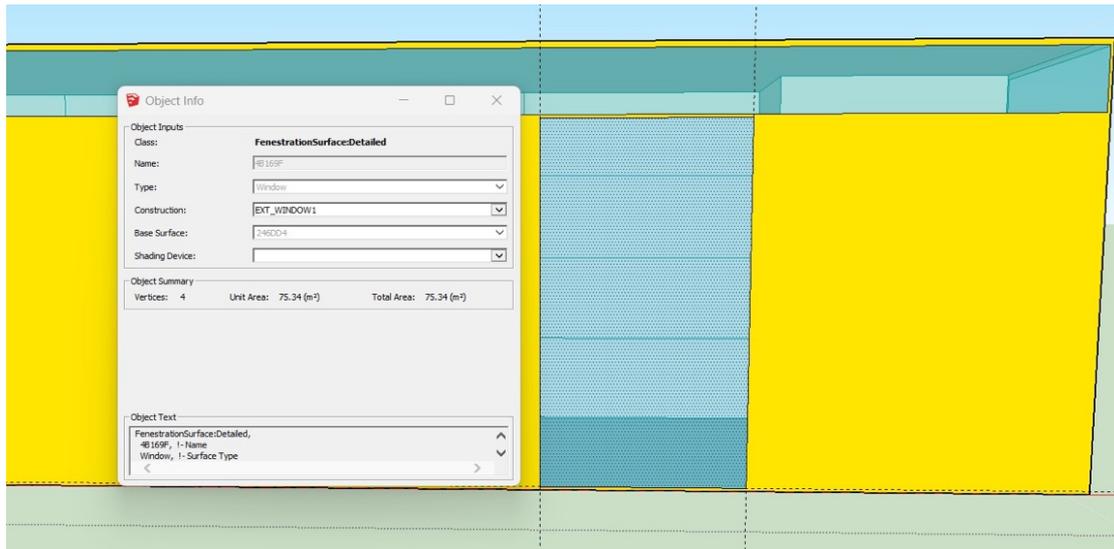


Figura 14. Visualización y asignación de ventanas en SketchUp.

Sombras

Además de las zonas climáticas, TRNSYS presenta grupos de sombras. Aunque estas sombras no son parte del modelo térmico del edificio, se han introducido para asegurar una representación precisa del comportamiento sobre el edificio de la radiación solar incidente. Se han definido los elementos que crean sombras en el edificio, ya que afectan a los resultados obtenidos. Estos elementos son: el resalte de la cubierta y la escalera de la fachada sur.

Las sombras se introducen utilizando la misma metodología, creando "Shading TRNSYS zona". Son representadas por el programa en morado para hacer notable su distinción, como se puede observar en la Figura 15.

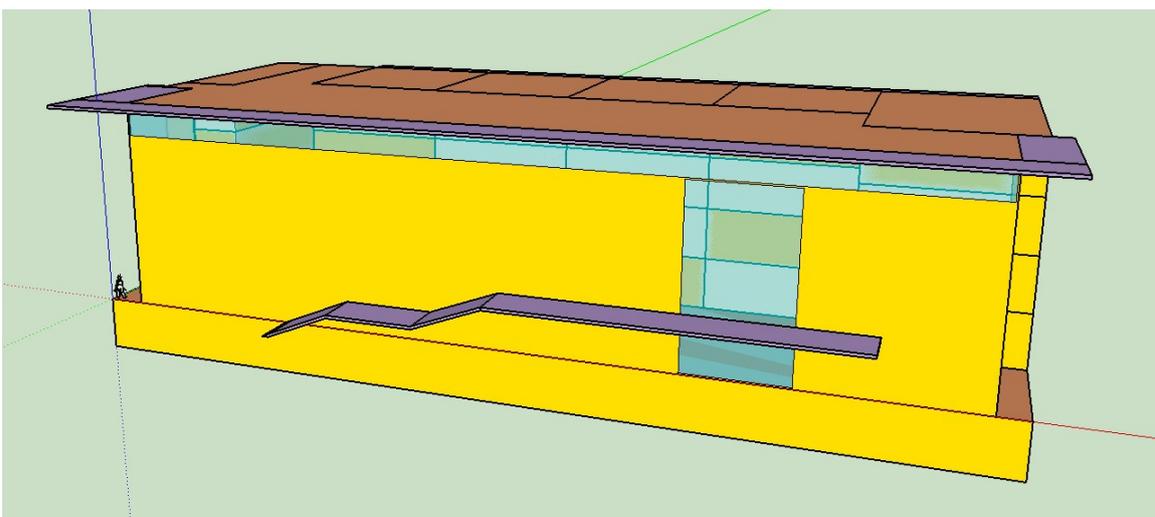


Figura 15. Visualización y asignación de grupos de sombras en SketchUp. Vista sur.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Una vez finalizada la geometría y asignados los atributos correctos, el archivo IDF generado se importa en TRNSYS Studio. Desde allí, utilizando TRNBuild (el editor de edificios de TRNSYS), se modifican los datos genéricos del edificio, ajustando elementos constructivos específicos según las necesidades del proyecto. Este proceso detallado asegura que el modelo geométrico del edificio en SketchUp sea preciso y que se integre correctamente en TRNSYS para simulaciones energéticas detalladas y fiables.

El resultado del modelaje final del edificio se muestra en la Figura 16, Figura 17 y Figura 18, ilustrando la precisión y el detalle alcanzados.

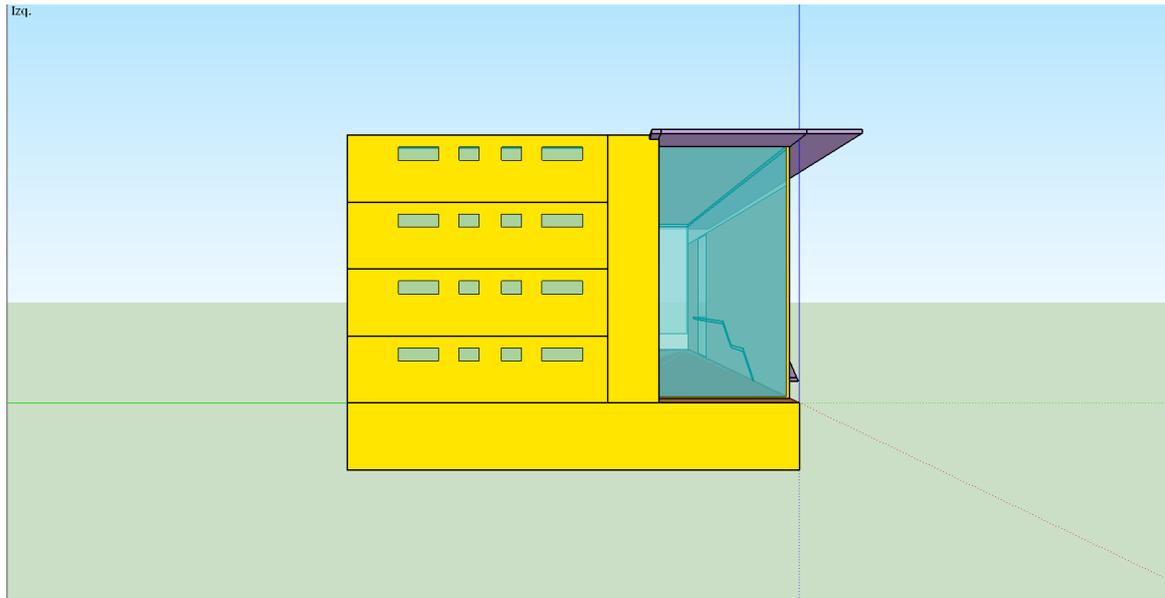


Figura 16. Vista de la fachada oeste del modelo.

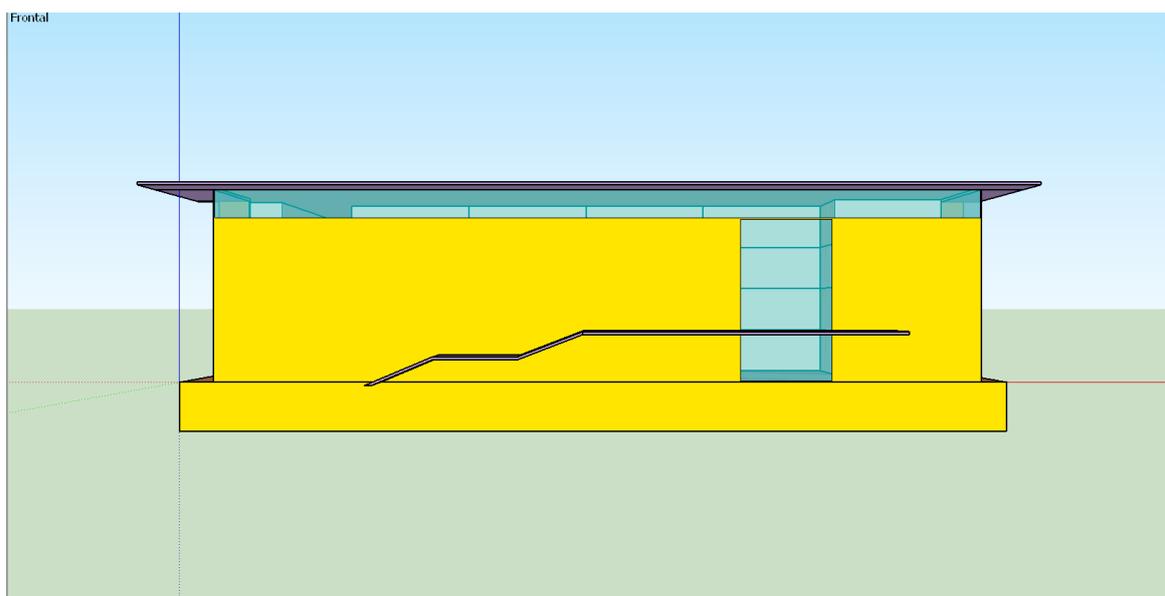


Figura 17. Vista de la fachada sur del modelo.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

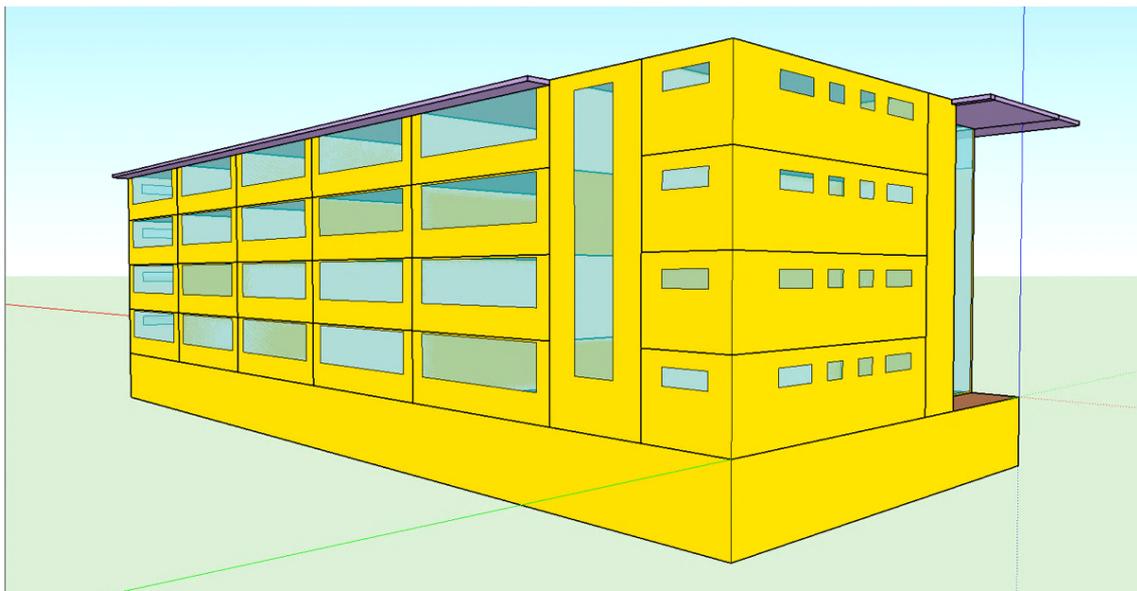


Figura 18 Vista de las fachadas norte y oeste del modelo.

3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN TRNSYS

Simulation Studio

Tras completar el modelado del edificio y generar el archivo IDF, se procedió a la creación de un nuevo proyecto multi-zona en TRNSYS "Simulation Studio". Este software es una herramienta avanzada que permite la simulación dinámica del comportamiento térmico de edificios. La primera interacción con el programa se da en la pantalla de inicio, mostrada en la Figura 19, donde se configuran las características globales del proyecto.

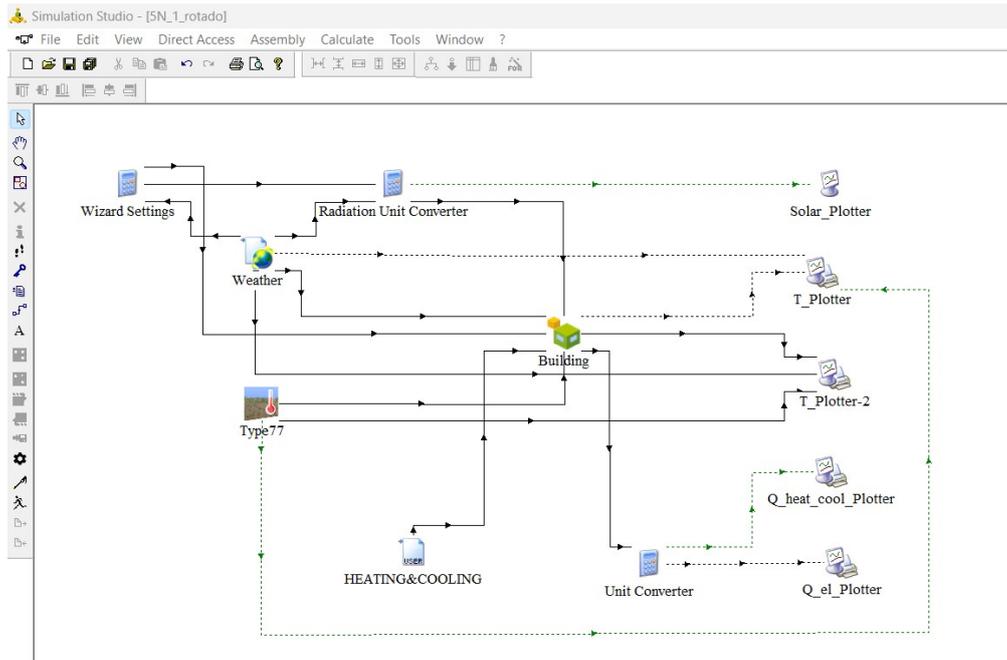


Figura 19: Captura de pantalla del proyecto en Simulation Studio.

Antes de profundizar en la parametrización del modelo, se realizó una simulación preliminar para verificar la correcta constitución del modelo del edificio. Este paso es fundamental para detectar y corregir posibles errores en la configuración del archivo IDF. Una vez asegurada la integridad del modelo, se procedió a ajustar los parámetros globales, orientados a reflejar con mayor precisión las condiciones reales del edificio.

El proceso de configuración global implicó el establecimiento de parámetros esenciales como la duración de la simulación, la orientación del edificio y las condiciones climáticas locales. Cada uno de estos aspectos se ajustó utilizando las herramientas específicas que ofrece TRNSYS, descritas a continuación:

1. Settings (Configuración de parámetros globales)

La herramienta "Settings" fue utilizada para establecer la duración de la simulación, configurándola para un año completo en formato horario. Esto permite simular el comportamiento del edificio a lo largo de todas las estaciones, proporcionando una visión integral de su rendimiento térmico. La configuración de esta herramienta se muestra en la Figura 20.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

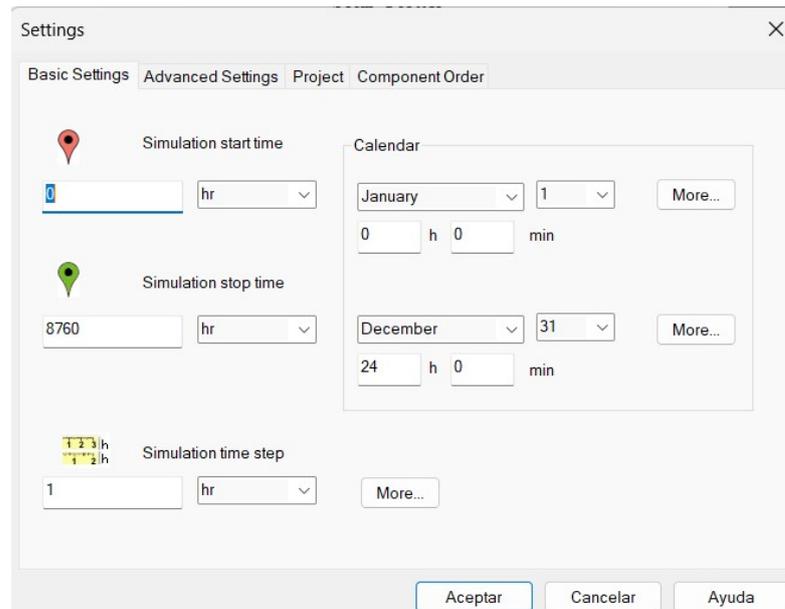


Figura 20. Configuración de los parámetros globales.

2. Wizard Settings (Configuración del Asistente)

Este componente facilita la configuración inicial del proyecto, a través del cual se definen parámetros básicos mediante ecuaciones predeterminadas. En este proyecto, se utilizó para rotar el edificio -19° , lo cual se logró definiendo la ecuación "TURN=-19". Esta rotación ajusta la orientación del edificio para simular de manera precisa la incidencia solar.

3. Weather (Datos Climáticos)

La precisión en la simulación depende en gran medida de los datos climáticos utilizados. El bloque "Weather" permite la importación y gestión de estos datos, seleccionados de la base de datos de Meteonorm, específicamente para la ubicación de Valencia. Esta configuración asegura que el modelo refleje fielmente las condiciones meteorológicas, como la temperatura, radiación solar, humedad y velocidad del viento, que influyen directamente en el rendimiento térmico del edificio.

4. Type 77 (Modelo de Temperatura del Suelo)

Este componente modela la distribución vertical de la temperatura del suelo, considerando parámetros como la temperatura media anual y la amplitud de las variaciones térmicas. Aunque en el modelo no se realizaron cambios en esta herramienta, su inclusión permite una simulación más precisa de las interacciones térmicas del edificio con el entorno.

5. HEATING & COOLING (Demandas de Climatización)

La demanda de climatización se configuró mediante la definición de un calendario adaptado al horario académico del edificio. Este calendario genérico, que refleja el uso del edificio de 8:00 a 20:00 h durante los días lectivos, fue creado en un archivo e integrado en la simulación. Esto asegura que el modelo tenga en cuenta los patrones de ocupación, ajustando la operación de los sistemas de climatización (HVAC) en consecuencia. La Figura 21 muestra un ejemplo del calendario anual configurado de manera binaria, donde se puede

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

observar el patrón de fines de semanas y vacaciones, marcado por la discontinuidad en blanco.

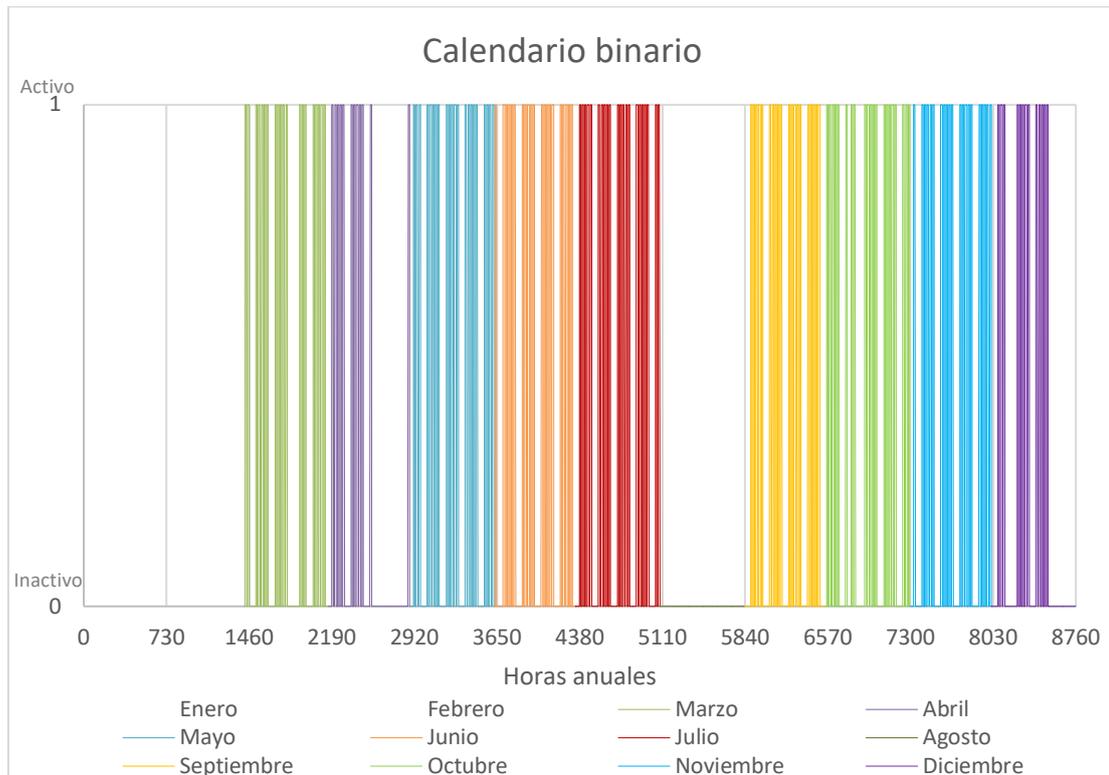


Figura 21. Calendario anual mostrando la activación de los equipos.

6. Radiation Unit Converter (Conversión de Unidades de Radiación)

Cuya función principal es convertir las unidades de radiación según los datos de entrada, asegurando la consistencia de los cálculos dentro del modelo.

7. Building (Modelo del Edificio)

El bloque "Building" constituye el núcleo del modelo en la simulación, ya que en él se integran todos los aspectos constructivos y térmicos del edificio. En este componente se define cómo interactúan las diferentes zonas térmicas, los materiales de construcción, las ventanas y los sistemas HVAC del edificio.

Al configurar el bloque, los datos generados en el modelado de SketchUp se importan directamente desde el archivo IDF, incluyendo la geometría del edificio, las características de las zonas térmicas y la distribución de las ventanas. Estos datos son fundamentales para asegurar que la simulación refleje con precisión la realidad física del edificio, permitiendo realizar ajustes específicos para optimizar su rendimiento energético.

Además de la importación de datos básicos, esta componente ofrece la posibilidad de realizar ajustes y configuraciones avanzadas. Desde este bloque, se puede acceder a TRNBuild, una herramienta especializada que permite detallar aún más el modelo del edificio. TRNBuild es donde se definen en profundidad las propiedades de los materiales, las características de las superficies (como la transmitancia térmica de las paredes y ventanas),

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

y donde se establecen los regímenes de operación de los sistemas HVAC. Más adelante en este apartado se aborda en detalle las modificaciones y configuraciones realizadas en TRNBuild. Este enfoque detallado asegura que el modelo no solo sea preciso desde un punto de vista geométrico, sino que también esté alineado con las condiciones reales. Al finalizar la configuración en TRNBuild, estos detalles se integran nuevamente en el bloque Building del Simulation Studio, consolidando así un modelo coherente y detallado, que se utiliza para llevar a cabo las simulaciones y análisis posteriores.

8. Plotters (Visualización de Resultados)

Los plotters (impresoras) son herramientas para la visualización de los resultados obtenidos. En este proyecto, se optó por utilizar los Type 65d plotters para los resultados de temperaturas. Éstos permiten generar gráficos durante la simulación y exportar los datos en formato csv, que es directamente compatible con Excel, facilitando así la creación de gráficos personalizados que reflejen los outputs seleccionados para un análisis más detallado.

TRNBuild

Cerramientos:

Los datos correspondientes a las secciones constructivas del edificio se han obtenido del TFM realizado por González Navarro, A (2023). Este documento proporciona una base sólida y detallada sobre la estructura y los materiales utilizados en el edificio, apoyado en el proyecto de construcción del edificio al cual no se ha tenido acceso.

El programa SketchUp asigna a cada pared un tipo de cerramiento basado en su ubicación y relación con otras superficies. Originalmente, todos los muros exteriores tienen la nomenclatura "EXT_WALL", mientras que los muros designados como adyacentes tienen el identificativo "ADJ_WALL". Dado que cada fachada presenta un tipo de cerramiento específico, se han creado tipos distintos para ellas. Esta diferenciación es vital para garantizar la precisión en la simulación térmica y estructural del edificio. Debido a la uniformidad en la composición de las fachadas norte y oeste, así como de las fachadas este y sur del edificio, se ha optado por definir un cerramiento único para cada par. A continuación, en las Tablas 2, 3 y 4 se detallan las composiciones de estos cerramientos (Fachadas norte y oeste, Fachadas este y sur, y Tabiques interiores).

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Tabla 2. Composición de fachadas norte y oeste ordenado de exterior a interior. (EXT_WALL_N_O).

Material	Descripción	Conductividad (W/m·K)	Cp (kJ/kg·K)	Densidad (kg/m ³)	Espesor (cm)
Ladrillo macizo	1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm	0,991	1	2170	11,50
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1000 < d < 1250	0,550	1	1125	2,00
Aislante de lana mineral	MW Lana mineral [0.05 W/[mK]	0,050	1	40	5,00
Tabique de ladrillo hueco	Tabique de LH sencillo [40 mm < e < 60 mm]	0,445	1	1000	4,00
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1600 < d < 1800	1,000	1	1700	2,00

Tabla 3. Composición de fachadas sur y este ordenado de exterior a interior (EXT_WALL_S_E).

Material	Descripción	Conductividad (W/m·K)	Cp (kJ/kg·K)	Densidad (kg/m ³)	Espesor (cm)
Piedra artificial	Piedra artificial	1,300	1	1750	3,00
Hueco para fachada ventilada	Ligeramente ventilada (5cm)	0,020	0.287	1.225	5,00
Aislante de poliuretano proyectado	PUR Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO2	0,040	1	17,5	6,00
Ladrillo macizo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	0,667	1	1140	11,50
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1600 < d < 1800	1,000	1	1700	2,00
Aislante de lana mineral	MW Lana mineral [0.05 W/[mK]	0,050	1	40	5,00

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

Tabique de ladrillo hueco	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G<60 mm	0,667	1	1140	4,00
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1600<d<1800	1,000	1	1700	2,00

Tabla 4. Composición de tabiques interiores. (ADJ_WALL)

Material	Descripción	Conductividad (W/mK)	Cp (kJ/kgK)	Densidad (kg/m3)	Espesor (cm)
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1600<d<1800	1,000	1	1700	2,00
Ladrillo hueco	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G<60 mm	0,667	1	1140	11,00
Mortero de cemento	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1600<d<1800	1,000	1	1700	2,00
Aislante de lana mineral	MW Lana mineral [0.05 W/[mK]	0,050	1	40	5,00
Placa de yeso	Placa de yeso laminado de 2 cm de espesor.	0,250	1	800	2,00

La creación de los cerramientos se realiza en TRNBuild, introduciendo cada uno con sus propiedades específicas. Como se ilustra en la Figura 22, los materiales pueden ser creados desde cero o seleccionados de la base de datos de TRNSYS, como es el caso de la placa de yeso utilizada en los tabiques interiores. Es fundamental que la entrada de los materiales siga el orden de exterior a interior, garantizando así una definición precisa del cerramiento, como se muestra en la Figura 23.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

New Layer Type

"Layer Type" Manager

new layer type:

Definition

Massive Layer
 Massless Layer
 Active Layer
 Chilled Ceiling

conductivity: kJ / h m K
 capacity: kJ / kg K
 density: kg / m³

Embodied Energy (optional data, not required for thermal simulation)

total renewable primary energy: MJ / kg
 total non-renewable primary energy: MJ / kg

Figura 22. Creación de nuevo material. Ejemplo genérico.

Construction Type Manager

"Construction Type" Manager

construction type:

Layer

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	LM_Medpie	0.115	massive
2	Mortero_1000<d<12...	0.020	massive
3	Aislante_LanaMW	0.050	massive
4	LH_sencillo	0.040	massive
5	Mortero_1600<d<18...	0.020	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m² K for reference only
 (incl. h_i=7.7 W/m² K and h_o=25 W/m² K)

Solar Absorptance

front: -

back: -

Longwave Emission Coefficient

front: -

back: -

Note:
 The emissivity of inside surfaces are applied by the detailed longwave radiation mode only!
 For the standard model fixed values of 0.9 are used.

Convective Heat Transfer Coefficient

front

userdefined
 internal calculation

kJ/h m² K

back

userdefined
 internal calculation

kJ/h m² K

Figura 23. Constitución de la pared por materiales. Fachadas norte y oeste.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

La definición precisa de todos los cerramientos es fundamental para asegurar la exactitud de la simulación térmica. Una vez definidos, los cerramientos se asignan a los muros correspondientes. Como se mencionó anteriormente, el programa utiliza muros por defecto que deben ser reemplazados con los cerramientos correctos. En la Figura 24, se puede observar la asignación de los cerramientos adecuados en el aula 011, que cuenta con un muro en la fachada norte y otro en la fachada este, además de muros adyacentes con otras aulas y el hall.

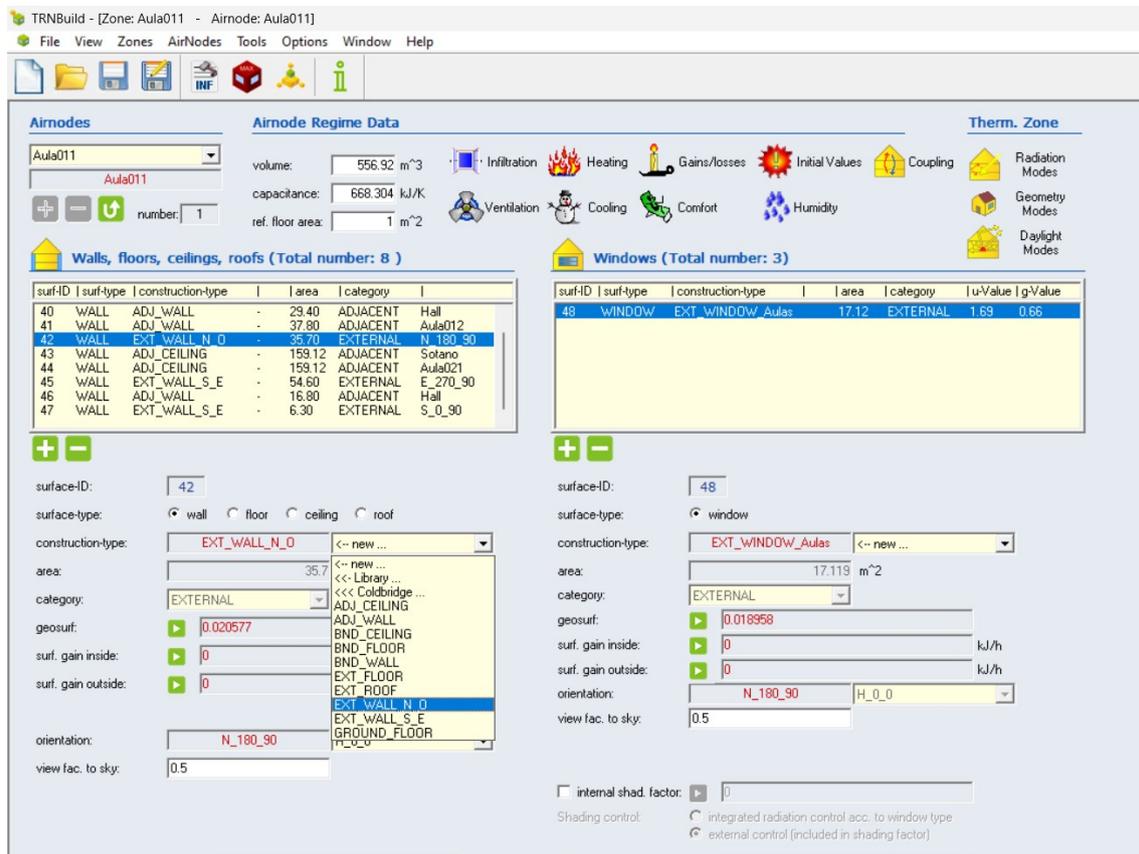


Figura 24. Asignación del tipo de pared por zonas.

Después de detallar los tipos de cerramientos opacos, se describen a continuación los cerramientos semitransparentes, que corresponden a puertas, ventanas y muro cortina del edificio.

Para la selección de los vidrios utilizados, ventanas, se consideraron varios criterios basados en la información disponible en el TFM (González Navarro, A. 2023) y el catálogo de elementos constructivos del CTE. Dado que en el TFM no se especifican la totalidad de las características necesarias de las ventanas, aunque si se incluye su factor solar y transmitancia, se optó por utilizar ventanas comerciales incluidas en la base de datos de TRNSYS, en lugar de crearlas desde cero con las especificaciones obtenidas, ya que estas opciones comerciales ofrecen aproximaciones más realistas y adecuadas para el proyecto.

Ventanas por ubicación:

- Ventana de los aseos

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

La ventana del aseo es única en su configuración, utilizando un vidrio doble general con un marco metálico en posición vertical que ocupa un 15% del total del hueco. Esta configuración fue seleccionada de la base de datos de TRNSYS, donde se encontró una opción que coincide con los requisitos de transmitancia térmica y factor solar establecidos en el proyecto.

- Ventanas de las aulas

Las ventanas de las aulas utilizan un cristal doble especificado como 4/12/4, lo que implica vidrios exteriores de 4 mm con una cámara interior de 12 mm. El marco metálico, también en posición vertical, cubre el 15% del hueco. se seleccionaron ventanas comerciales de la base de datos de TRNSYS que coinciden con las especificaciones requeridas, asegurando así un rendimiento adecuado y comparable a lo inicialmente previsto.

- Ventanas del vestíbulo

En los huecos que conectan el hall con el interior, especialmente en las escaleras, inicialmente se había considerado utilizar un cristal 4/6/4. Sin embargo, debido a limitaciones en la base de datos de TRNSYS, que no trabaja con esta configuración específica, se optó por utilizar un cristal 4/10/4. Este cristal ofrece la misma transmitancia térmica y factor solar, proporcionando una solución adecuada que suple las necesidades del proyecto.

Finalmente, se introdujeron en TRNSYS las siguientes configuraciones de ventanas:

Tabla 5. Selección de tipos de ventana en TRNBuild.

ID	Ubicación	Transmitancia (U-value) W/m ² K	Factor solar (g-value)	% Marco	Diseño	Nombre en biblioteca TRNSYS
3200	Aulas	1,69	0,66	15	4/12/4	GU_ClimaGuard_N_#3_Air
3202	Hall	2,09	0,66	15	4/10/4	GU_ClimaGuard_D_#3_kr90
3205	Baños	1,4	0,7	15	Vidrio doble general	GU_ClimaGuard_D_#3_kr90

Al igual que con los muros, las ventanas deben seleccionarse manualmente para garantizar que se ajustan correctamente a las especificaciones del edificio. Esto implica asignar a cada ventana del modelo el ID correspondiente según su ubicación. Es decir, si las ventanas se encuentran en las aulas seleccionar el vidrio correspondiente a las aulas, como se muestra en la Figura 24, expuesta anteriormente.

Las ventanas seleccionadas y configuradas en TRNSYS aseguran que el edificio cumpla con los requisitos de eficiencia energética y confort térmico establecidos en el proyecto, proporcionando una simulación realista y precisa del comportamiento térmico de los cerramientos semitransparentes.

Climatización

En este proyecto, aunque la implementación de los equipos de climatización del edificio se deja para futuros trabajos, sí que se han establecido temperaturas de consigna preliminares. Esto

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

permite evaluar y contabilizar las horas que los equipos deberán activarse y, homológamente, en las que los espacios climatizados están dentro del rango de temperaturas de confort.

La selección de las temperaturas de consigna se ha realizado conforme al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), IT 1.1.4.1.2, relativo a la temperatura operativa y la humedad relativa. Los setpoints de temperatura se han definido según el RITE, con un rango de 21°C a 26°C para los espacios climatizados.

Se han establecido regímenes de "heating" para calefacción y "cooling" para refrigeración, con los puntos de consigna correspondientes. Estos regímenes deben activarse individualmente para los espacios climatizados, es decir, las aulas, como muestra la Figura 25.

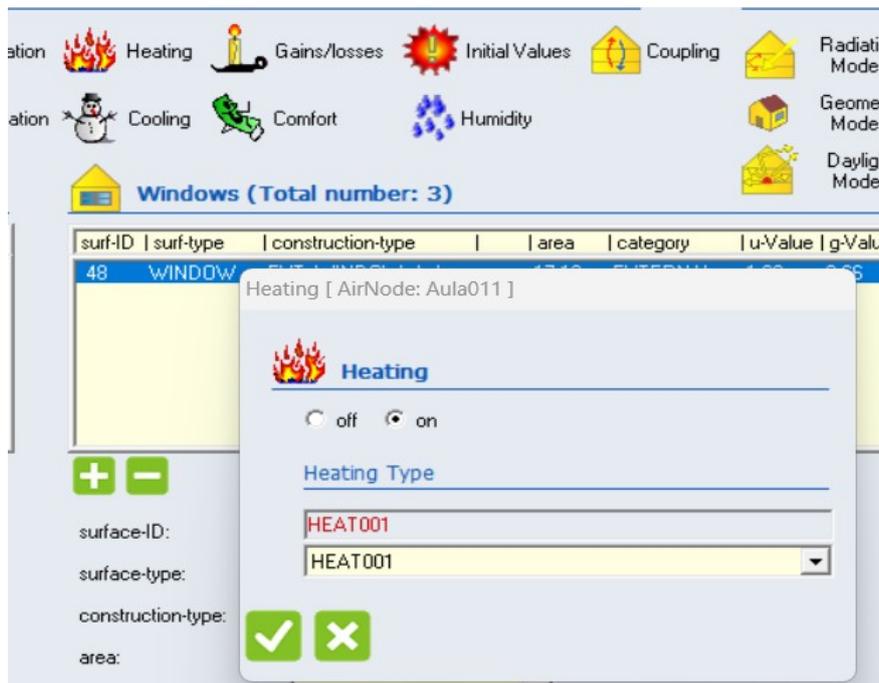


Figura 25. Implementación de la climatización en las aulas.

A pesar de que el objetivo principal de este TFG no es la evaluación energética del edificio, la inclusión de estos puntos de consigna permite validar la precisión y fiabilidad de la simulación realizada. Los resultados obtenidos serán discutidos en el CAPÍTULO 4. RESULTADOS

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 MODELIZACIÓN FINAL

La fase de modelación del edificio 5N de la ETSII en SketchUp se ha completado con éxito, permitiendo la obtención del archivo IDF necesario para las simulaciones energéticas en TRNSYS.

A continuación, se presentan algunas de las vistas del modelo final en SketchUp. Estas imágenes ilustran cómo el modelo tridimensional refleja fielmente la estructura del edificio real. Se han realizado comparativas visuales entre el modelo en SketchUp y fotografías del edificio real. Estas comparativas destacan la precisión del modelaje y aseguran que el archivo IDF generado es una representación fiel del edificio 5N.

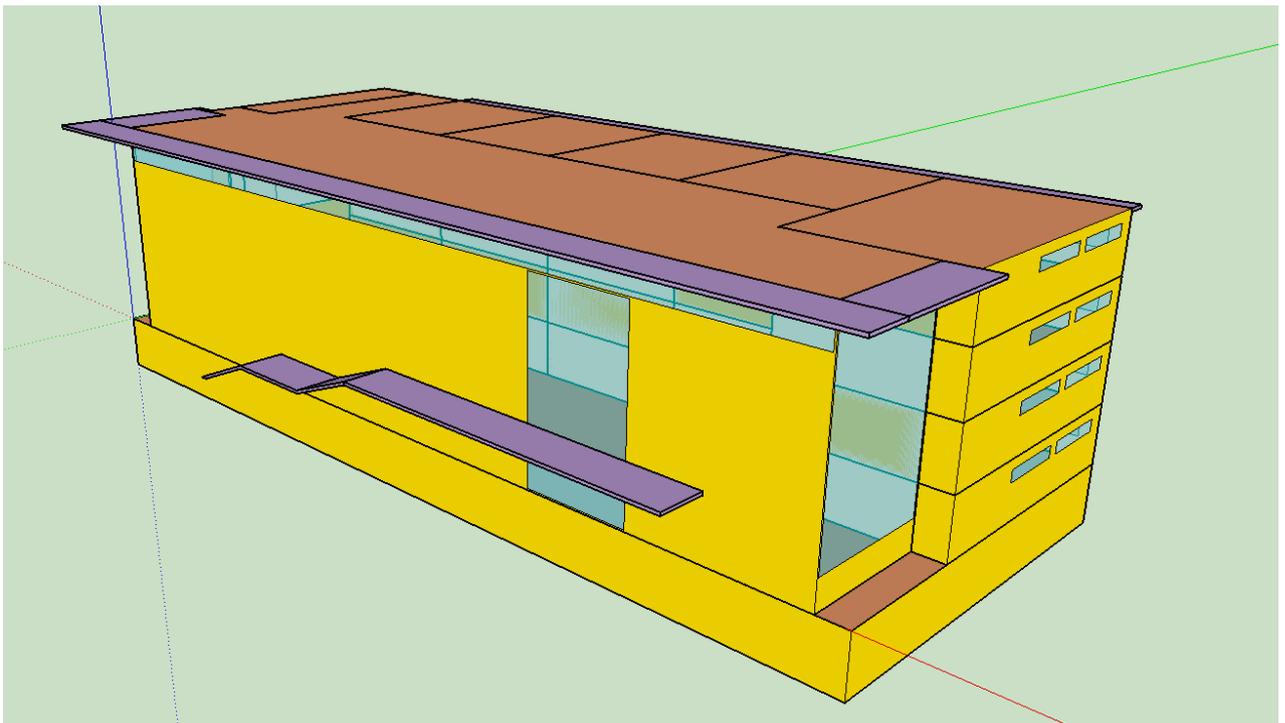


Figura 26. Vista isométrica del modelo.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética



Figura 27. Vista comparativa de la fachada este del modelo en SketchUp y del edificio real.

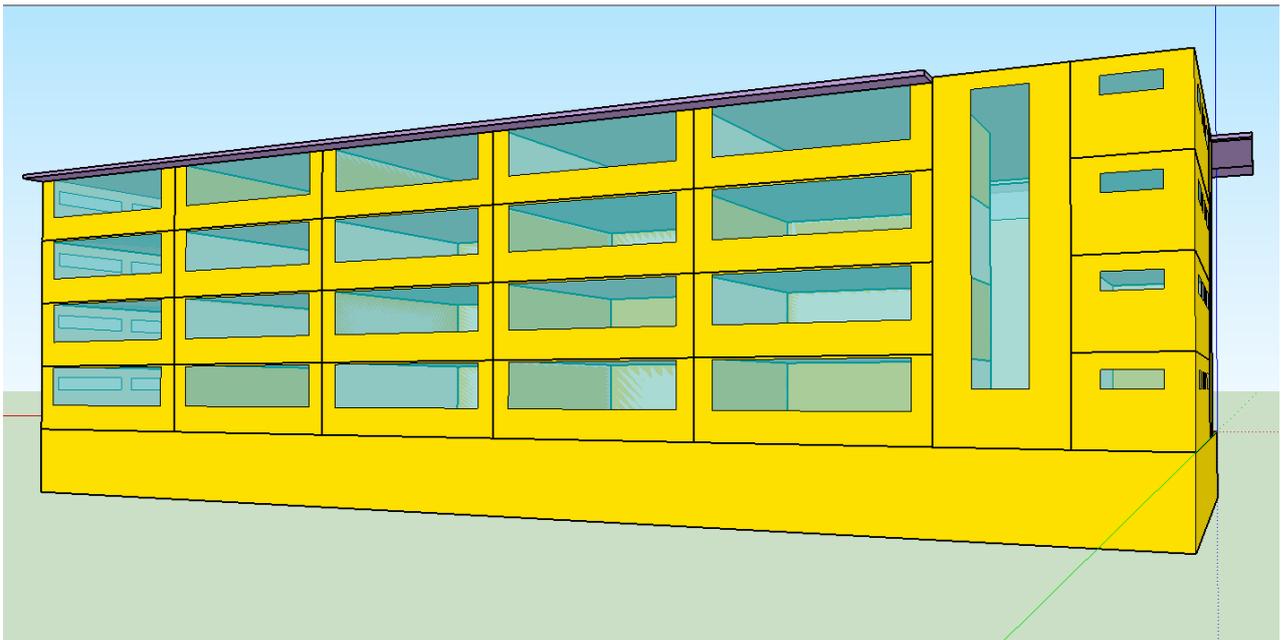


Figura 28. Vista de la fachada norte del modelo en SketchUp.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética



Figura 29. Vista de la fachada norte del edificio 5N.

La generación del archivo IDF concluye la fase de modelación del edificio. Este archivo contiene toda la información geométrica y de propiedades del edificio necesaria para las simulaciones energéticas en TRNSYS. La precisión del modelo asegura que las simulaciones proporcionarán resultados fiables y útiles para la evaluación del comportamiento térmico y energético del edificio. La finalización de la modelación representa un hito significativo en el proyecto, permitiendo avanzar hacia las fases de simulación y análisis energético con una base sólida y detallada.

4.2 SIMULACIÓN

Para la simulación energética del edificio 5N de la ETSII, se utilizaron los datos de entrada generados en SketchUp y el programa de simulación TRNSYS. Los parámetros de entrada incluyeron la definición de las zonas térmicas, de las propiedades de los materiales constructivos y de las ventanas, y de la configuración de los puntos de consigna para calefacción y refrigeración.

La simulación se configuró para cubrir un periodo anual, con un intervalo de tiempo horario, obteniendo así 8760 horas de simulación. Los puntos de consigna se implementan en un horario genérico de 8:00 a 20:00 horas, adaptado a las actividades del edificio. Así, el programa obtiene las temperaturas internas de todas las zonas durante todas las horas del año.

En la Figura 30 se muestra el número total de horas en las que cada zona climatizada estuvo fuera de los puntos de consigna. Las barras azules correspondientes al "cooling" indican las horas en las que sería necesario activar el sistema de refrigeración, mientras que las barras granates de "heating" reflejan las horas en las que se requeriría calefacción.

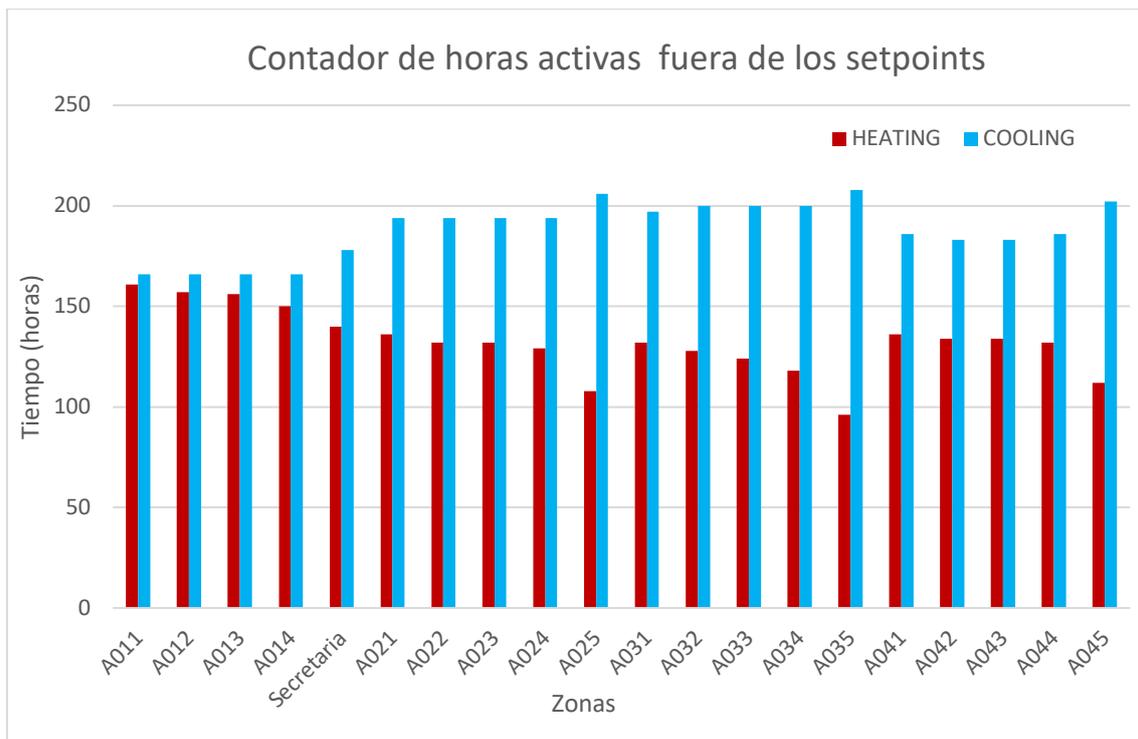


Figura 30. Conteo de horas anuales con activación de equipos por superación de temperaturas de consigna en aulas.

Del análisis de estos datos, se infiere, que las aulas de la esquina nordeste, las aulas 0X1 en el gráfico de la Figura 30, siendo la X la planta en el que se encuentran, presentan una mayor demanda de calefacción respecto a las otras de la misma planta. Esto se puede deber a que al tener una mayor superficie expuesta al exterior en ambas fachadas también presentan mayores pérdidas térmicas a diferencia del resto de aulas que únicamente tiene un muro exterior, a la

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

fachada norte. Por otro lado, las aulas que presentan mayores adyacencias con zonas no climatizadas demandan más refrigeración. Un ejemplo de esto es el aula 035, que muestra una alta demanda de refrigeración, debido a la transferencia de calor desde el hall sin ventilación.

En la Tabla 6 y Tabla 7, se muestra el computo de las horas totales que cada zona pasa dentro del intervalo fijado por los puntos de consigna, y en los que no se activaría el sistema de climatización.

Tabla 6. Conteo de horas dentro de los puntos de consigna primera y segunda planta.

Zonas	A011	A012	A013	A014	Secre	A021	A022	A023	A024	A025
Horas	2403	2407	2408	2414	2412	2400	2404	2404	2407	2416
Días equivalentes	200,25	200,58	200,67	201,17	201,00	200,00	200,33	200,33	200,58	201,33

Tabla 7. Conteo de horas dentro de los puntos de consigna tercera y cuarta planta.

Zonas	A031	A032	A033	A034	A035	A041	A042	A043	A044	A045
Horas	2401	2402	2406	2412	2426	2408	2413	2413	2412	2416
Días equivalentes	200,08	200,17	200,50	201,00	202,17	200,67	201,08	201,08	201,00	201,33

Pese a que la simulación genere datos de temperatura interiores para todas las zonas del edificio, se ha optado por representar únicamente el aula 011, que presenta la mayor demanda de calefacción, el aula 035 que presenta la mayor demanda de refrigeración, y cuenta con las mayores horas dentro del confort, y el baño de la planta baja y el hall, teniendo así una comparativa entre las zonas climatizadas y no climatizadas, así como la temperatura ambiente exterior (AMB en los siguientes gráficos). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en forma gráfica y su análisis.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

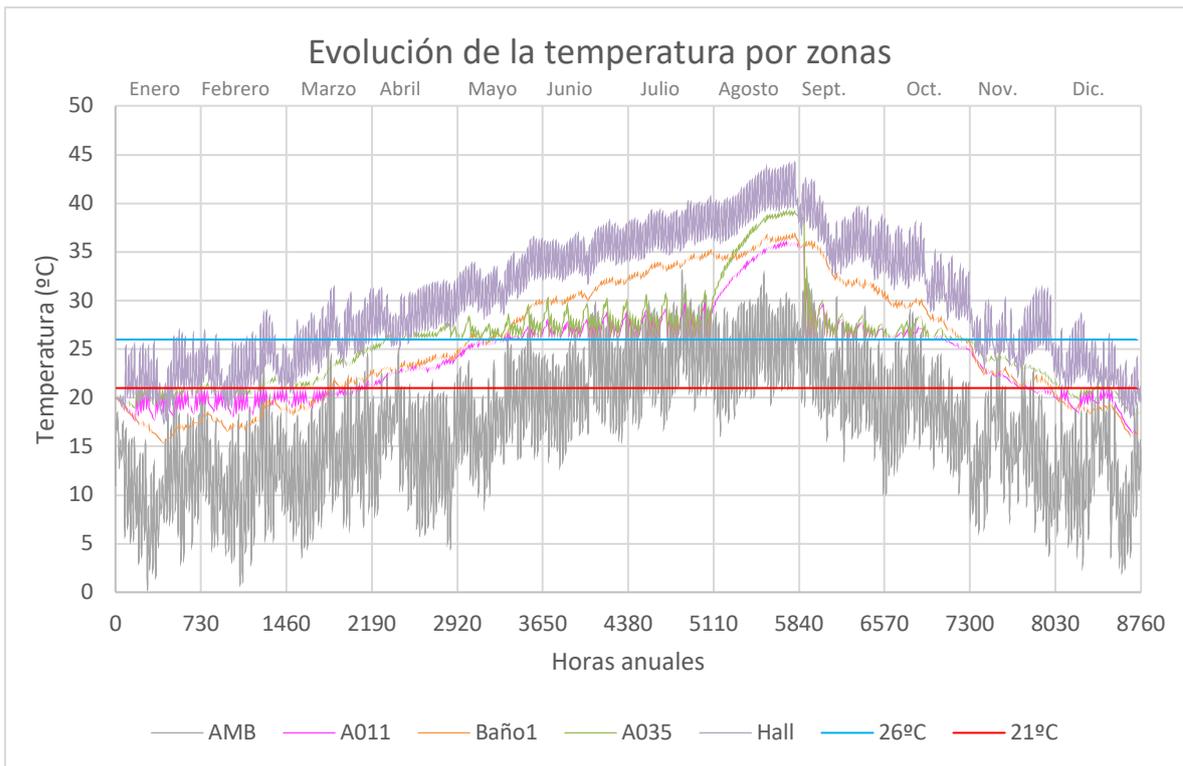


Figura 31. Variación anual de temperaturas internas en diferentes zonas del edificio.

En el Aula 011, ubicada en la planta baja, que está climatizada, la temperatura se mantiene en la “jornada lectiva” dentro del rango de confort (21°C a 26°C) durante la mayor parte del año, lo que evidencia la validez del sistema de climatización que se activa al superar los puntos de consigna establecidos. En contraste, la temperatura en el Baño 1, de la misma planta, que no está climatizado, muestra mayores fluctuaciones, reflejando en el modelo la falta de regulación térmica. Durante los meses de verano, obviando agosto, la temperatura en el baño alcanza valores significativamente más altos en comparación con el Aula 011, llegando a alcanzar los 36,2 °C en septiembre.

Comparando las aulas situadas en diferentes plantas, se observa que la temperatura en el Aula 011, ubicada en la esquina nordeste de la planta baja, es más variable debido a su contacto con el exterior y el sótano no climatizado, lo que incrementa las pérdidas térmicas. Por otro lado, el Aula 035, situada en un piso superior, mantiene una temperatura más estable y ligeramente más alta. La proximidad de esta aula a la escalera, considerada en el modelo como parte del hall y no climatizada, favorece la transmisión de calor, y eleva la temperatura del aula. La orientación y ubicación dentro del edificio juegan un papel crucial en la dinámica térmica de cada aula, evidenciando cómo las características constructivas y la disposición espacial afectan la eficiencia del sistema de climatización y, por ende, el confort de los usuarios.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

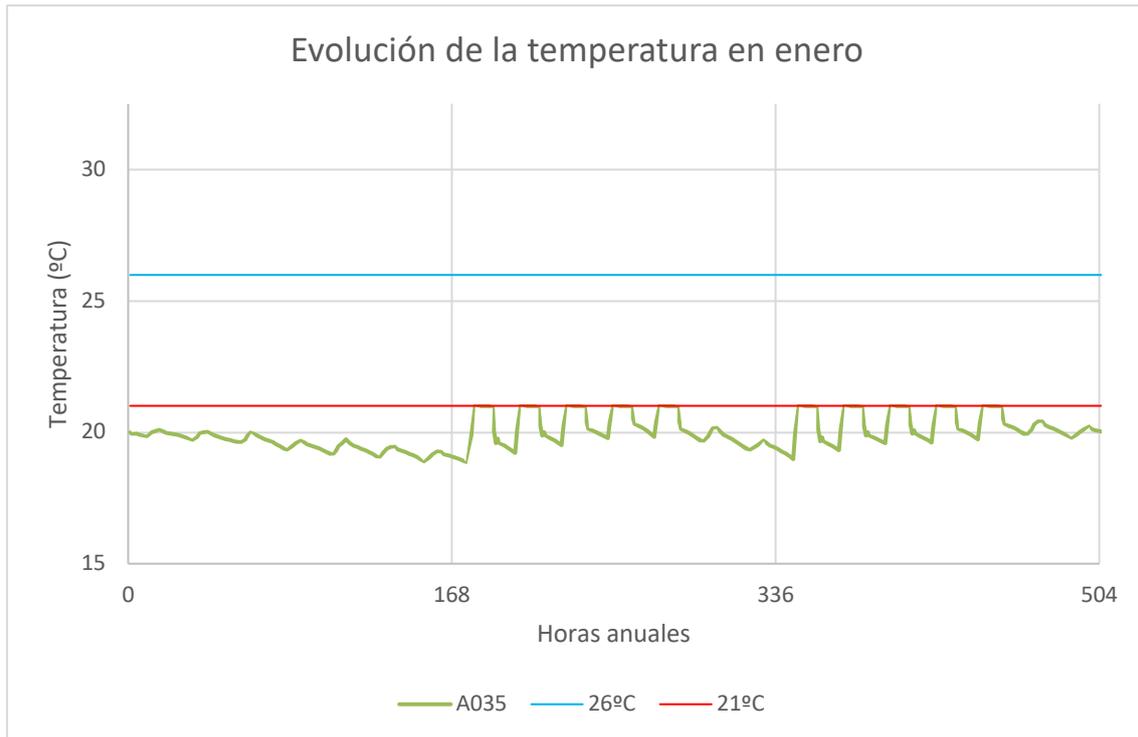


Figura 32. Variación de la temperatura interna del aula 035 durante enero mostrando el patrón semanal.

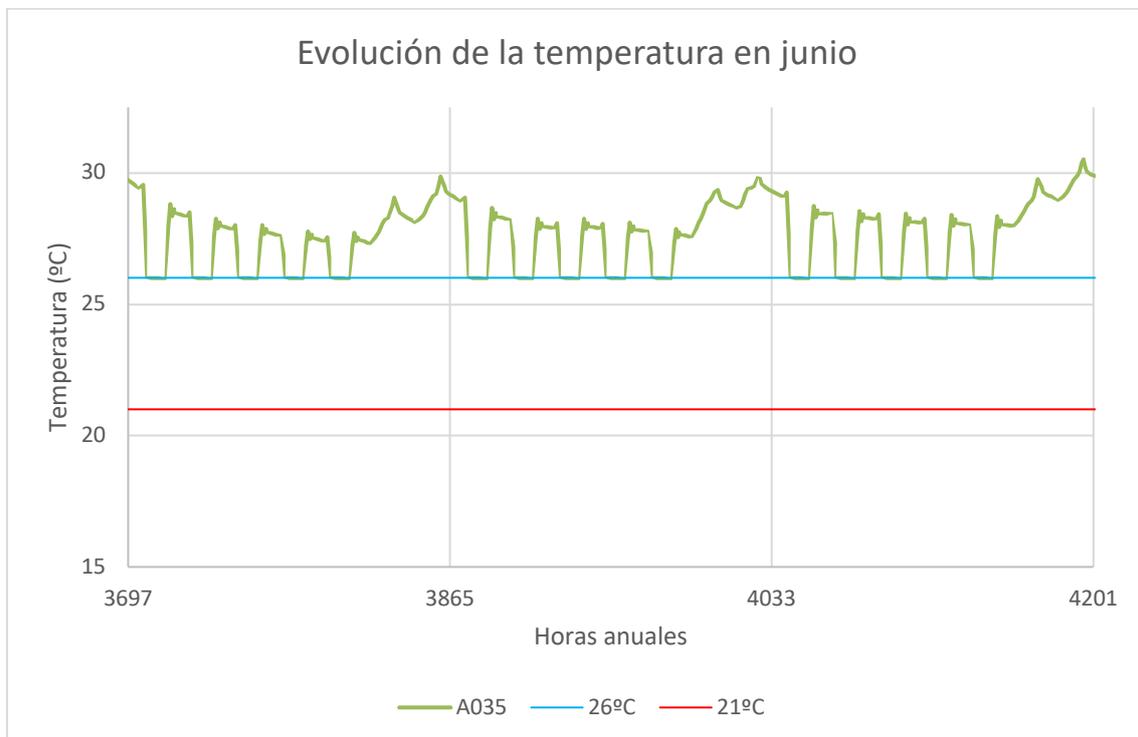


Figura 33. Variación de la temperatura interna del aula 035 durante junio mostrando el patrón semanal.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

En la Figura 32 y la Figura 33 se observa un patrón semanal claro, donde las temperaturas fluctúan de acuerdo con el uso de las aulas durante la semana. Se puede observar cómo las diferentes temperaturas activan los “equipos” de climatización, incluso si estos no se han modelado explícitamente, alcanzado los puntos de consigna. En enero, de acuerdo a la Figura 32, la temperatura del aula 035 varía notablemente, evidenciando la necesidad de calefacción durante los días lectivos y la ausencia de ella durante la primera semana del año, con el edificio inactivo, y el fin de semana. En junio, según la Figura 33, las temperaturas muestran un comportamiento similar, pero mostrando la necesidad de refrigeración debido a las altas temperaturas externas.

El uso sistemático del sistema de climatización facilita la regulación de la carga térmica del edificio. Durante los fines de semana, se presentan picos de frío en invierno y de calor en verano, requiriendo un ajuste térmico más intenso para alcanzar los puntos de consigna. Esto también se ve reflejado en el inicio del curso en septiembre, como se observa en la Figura 34, donde se muestra el efecto de la inercia térmica en las temperaturas internas del edificio. Esta gráfica ilustra cómo el edificio mantiene el calor durante el mes de agosto, cuando el edificio estaba cerrado. Al iniciar el curso en septiembre, los equipos de climatización permiten disminuir las temperaturas en las aulas, alcanzando la temperatura de confort. Sin embargo, la inercia térmica del edificio provoca que la temperatura descienda gradualmente durante las noches, mostrando cómo la estructura del edificio retiene el calor y afecta la regulación térmica después del verano.

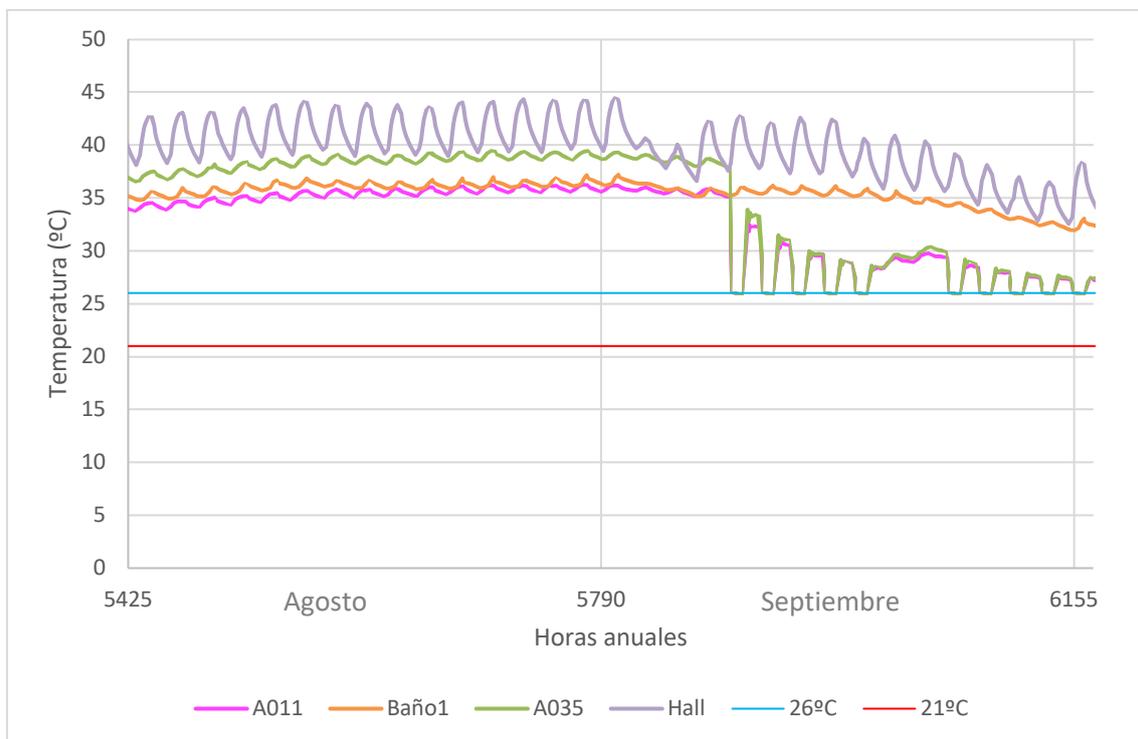


Figura 34. Efecto de la inercia térmica en las temperaturas internas en el periodo comprendido entre agosto y septiembre.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

A continuación, se analizan los periodos en los que las zonas térmicas permanecen dentro de las temperaturas de consigna durante la mayor parte del tiempo, eliminando la necesidad de activar el sistema de climatización.

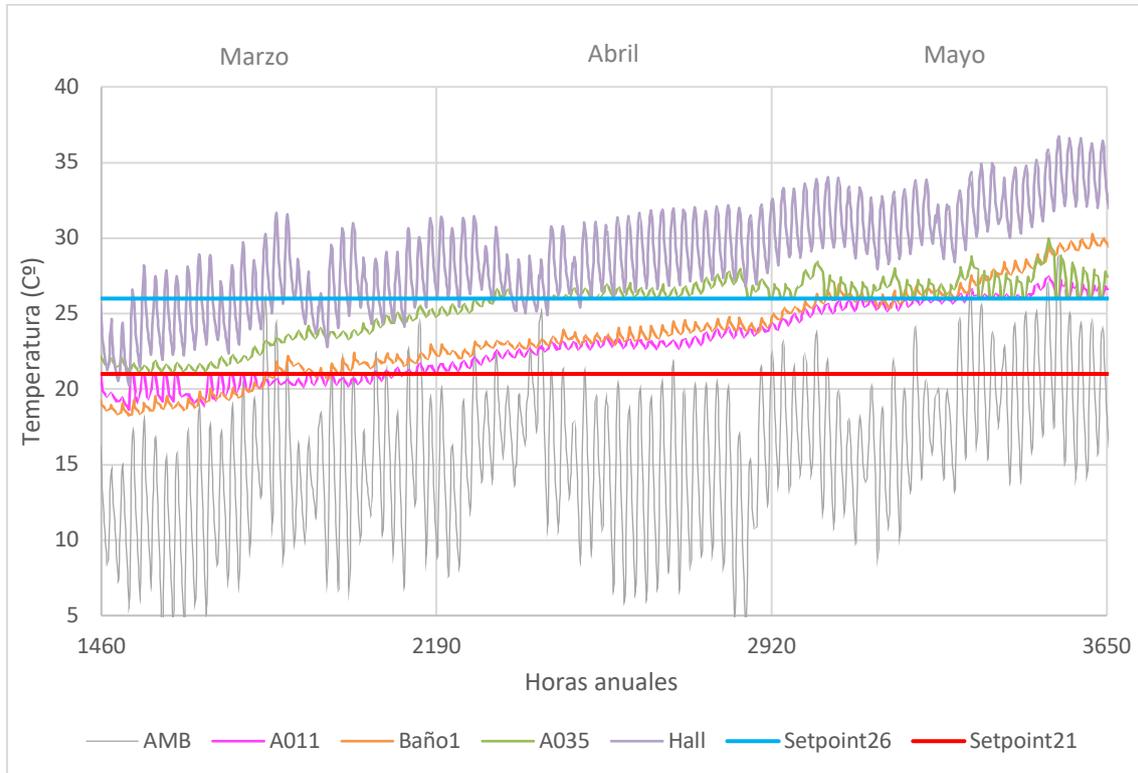


Figura 35. Evolución de temperaturas internas de marzo a mayo y su conformidad con las temperaturas de consigna.

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

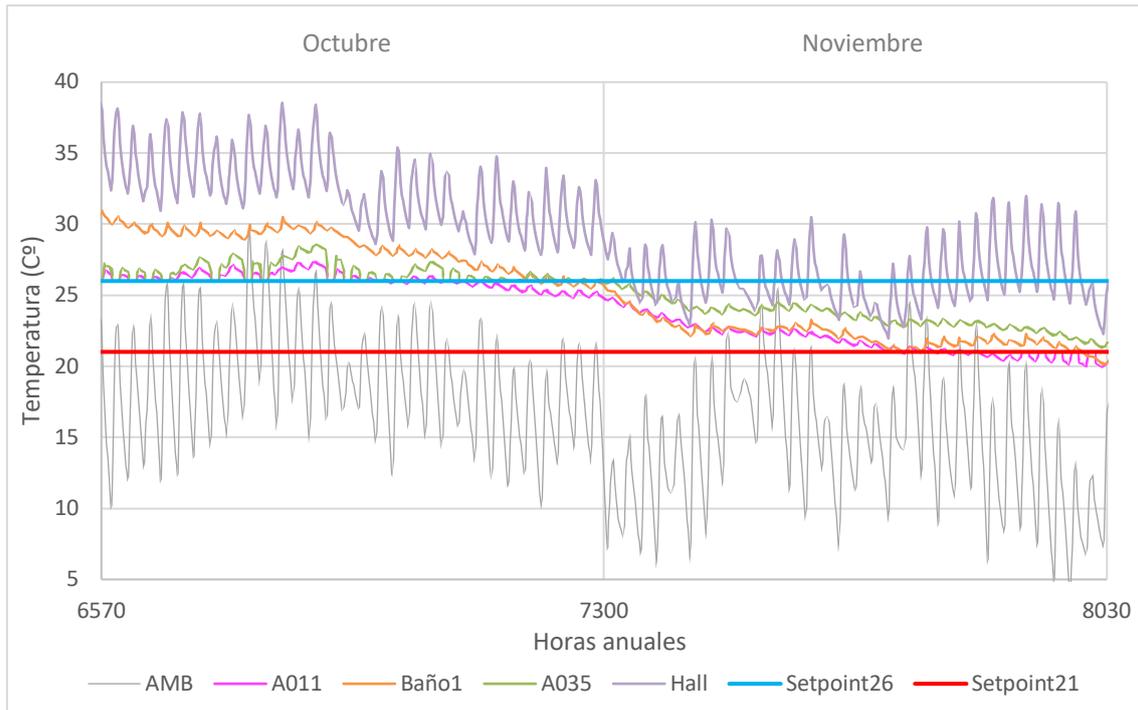


Figura 36. Evolución de temperaturas internas de octubre a noviembre y su conformidad con las temperaturas de consigna.

La Figura 35 y Figura 36 se centran en periodos estacionales donde las temperaturas de las aulas están dentro de los puntos de consigna la mayor parte del tiempo. Esto resalta la importancia de ajustar las estrategias de control de la temperatura según la estacionalidad para optimizar el confort y la eficiencia energética, ya que durante estos meses las condiciones son favorables para implementar métodos alternativos de climatización, como el free cooling.

La simulación realizada confirma que la modelización energética del edificio es válida, mostrando resultados coherentes con las condiciones reales y esperadas. Aunque el objetivo establecido para este TFG era el modelado del edificio 5N creando una representación digital detallada mediante el software 3D SketchUp, incluyendo toda la información digital sobre la geometría del edificio, distribución de los espacios existentes y una definición precisa de los materiales de los materiales utilizados y verificar la viabilidad de realizar la modelización energética del edificio, se han identificado posibles mejoras para obtener unos resultados más fieles a la realidad, tales como la integración de la ventilación natural en las zonas no climatizadas.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de este trabajo, se ha logrado establecer una base sólida para el análisis energético del edificio 5N de la ETSII, utilizando una metodología que integra las herramientas SketchUp y TRNSYS. La elección de estos programas se fundamenta en su complementariedad y efectividad, tal como se ha demostrado en estudios previos como los de Pérez-Andreu et al. (2021) y Rashad et al. (2022). SketchUp ha permitido una modelización geométrica detallada y precisa, mientras que TRNSYS ha proporcionado un entorno robusto para la simulación energética, asegurando una transferencia eficiente del modelo geométrico al entorno de simulación.

Uno de los aspectos clave de este proyecto ha sido la capacidad de realizar una simulación energética preliminar del edificio, lo que ha proporcionado valiosas perspectivas sobre el comportamiento térmico de distintas zonas bajo diversas condiciones de climatización. Sin embargo, se deben reconocer las limitaciones inherentes al trabajo realizado, como la no inclusión de factores importantes como la ocupación real del edificio, la carga térmica generada por los equipos, y la influencia de los ordenadores en la última planta. Estas omisiones reflejan la necesidad de futuras investigaciones que puedan abordar estos aspectos para obtener una visión más completa y precisa del desempeño energético del edificio.

Para llevar a cabo una auditoría energética completa conforme a la norma UNE-EN 16247, sería necesario incorporar una serie de datos adicionales que no fueron considerados en este TFG. En primer lugar, es crucial contar con un análisis detallado de los perfiles de uso y ocupación del edificio, incluyendo horarios específicos, densidad de ocupación en diferentes zonas, y variaciones estacionales. Este tipo de información es esencial para estimar con precisión la demanda energética asociada al comportamiento real de los usuarios.

Además, se requiere una evaluación exhaustiva de los sistemas de climatización y ventilación, incluyendo su eficiencia, estado de mantenimiento, y su capacidad para satisfacer las demandas térmicas en diferentes condiciones. También es fundamental realizar mediciones in situ de los consumos energéticos y comparar estos datos con los resultados de las simulaciones, para validar el modelo y ajustar cualquier discrepancia. El análisis de la envolvente térmica del edificio, mediante estudios termográficos detallados, permitiría identificar y cuantificar puentes térmicos y otras patologías que contribuyan a pérdidas energéticas significativas.

Otro aspecto relevante es la necesidad de incluir la carga térmica generada por equipos eléctricos y electrónicos, especialmente en zonas con alta densidad de dispositivos, como la última planta del edificio. Este factor influye directamente en la carga de refrigeración y debe ser considerado para realizar un balance energético preciso. Asimismo, la calidad del aire

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

interior y la gestión de la iluminación artificial son elementos que también deben integrarse en el análisis para cumplir con los estándares de una auditoría energética integral.

El manejo de TRNSYS ha demostrado ser sumamente versátil, permitiendo la obtención de una amplia gama de resultados que no solo facilitan la evaluación del rendimiento energético, sino que también ofrecen una herramienta eficaz para identificar posibles áreas de mejora. Esta versatilidad es particularmente importante en el contexto de una auditoría energética, donde la capacidad de simular distintos escenarios y condiciones resulta crucial para la planificación de intervenciones que optimicen tanto la eficiencia energética como el confort de los ocupantes.

Es importante destacar que las temperaturas ambientales utilizadas en la simulación se basan en datos climáticos obtenidos de la base de datos Meteonorm. Aunque estos datos proporcionan una referencia sólida, se ha observado que las temperaturas mínimas registradas en invierno y las máximas en verano no reflejan completamente las condiciones climáticas actuales de la ubicación del edificio. Esta observación no responde a un error en la simulación, sino a las características de los datos climáticos empleados. De cara a futuros trabajos, sería recomendable considerar la utilización de otros ficheros climáticos más específicos y actualizados, para obtener una representación más precisa de las condiciones actuales y así mejorar la exactitud de los resultados de las simulaciones energéticas.

A pesar de las limitaciones, la simulación energética ha permitido identificar áreas de mejora en la gestión térmica del edificio, proporcionando una base para futuras intervenciones que puedan contribuir significativamente a la reducción del consumo energético y a la mejora del confort térmico. Sin embargo, para llevar a cabo una auditoría energética completa conforme a la norma UNE-EN 16247, es necesario incorporar los datos adicionales mencionados y realizar un análisis exhaustivo que incluya una evaluación detallada de los sistemas de climatización, los perfiles de uso y las condiciones reales de ocupación.

El edificio 5N no solo es fundamental para la actividad académica de la ETSII, sino que también juega un papel crucial en el compromiso de la Universitat Politècnica de València (UPV) con la sostenibilidad y la neutralidad de carbono. Este proyecto, alineado con iniciativas como el Living Lab, subraya el compromiso de la UPV con la eficiencia energética y la reducción del impacto ambiental. El diseño, uso y las mejoras planificadas para el edificio reflejan este compromiso y representan un paso adelante hacia la meta de la UPV de convertirse en un referente de sostenibilidad.

En resumen, este Trabajo de Fin de Grado ha cumplido con sus objetivos al establecer un modelo energético operativo que sienta las bases para futuras investigaciones más profundas. Aunque el alcance de este trabajo se ha limitado a los primeros pasos de una auditoría energética, se han logrado importantes avances que permiten no solo validar el modelo generado, sino también identificar áreas críticas para futuras mejoras. Se recomienda que futuros trabajos continúen desarrollando y ampliando este modelo, incorporando los factores mencionados y avanzando hacia la implementación de estrategias que contribuyan a la eficiencia energética y a la sostenibilidad del edificio 5N.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ajuntament de València, IDOM, & Missions València 2030. (2022.). *Misión Climática València 2030*. Missions Valencia. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://www.missionsvalencia.eu/missions/?lang=es>
2. Cátedra de Transición Energética Urbana. (2024, 12 abril). *Living LAB - Cátedra de Transición Energética Urbana*. <https://catenerg.webs.upv.es/living-lab/>
3. Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building And Environment*, 43(4), 661-673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
4. *DIRECTIVA (UE) 2024/1275 DEL PARLAMENTO EUROPEO y DEL CONSEJO de 24 de abril de 2024 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición) (Texto pertinente a efectos del EEE) (Nº 2024/1275)*. (2024). Diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
5. *Documento Básico HE: Ahorro de energía*. (2022). Ministerio de vivienda y agenda urbana.
6. González, G. R., Sande, C. U., Tabarés, J. L. M., & Reyes, A. C. (2015a). *Diseño y estudio de cargas térmicas de una vivienda-contenedor utilizando TRNSYS* (pp. 970-977). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8095767>
7. González, G. R., Sande, C. U., Tabarés, J. L. M., & Reyes, A. C. (2015b, junio 4). *Diseño y estudio de cargas térmicas de una vivienda-contenedor utilizando TRNSYS*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8095767>
8. Gónzalez Navarro, Á. (2023). *Análisis energético del edificio 5N del Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València. Estudio técnico- económico de las propuestas*

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

para la mejora de la eficiencia energética del edificio. [Trabajo Fin de Máster].

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

9. *Herramientas BEM (Building Energy Modelling).* (20018, junio 25). MSI Studio - Consultoría y Formación BIM. Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://manteniment-sostenible-integral-sl.odoo.com/blog/energia-y-sostenibilidad-8/herramientas-bem-building-energy-modelling-28>
10. Hiller, M., & Kendel, C. (2023). *Trnsys User Manual Trnsys3d Sketch-Up Plugin.* Transsolar Energietechnik GmbH.
11. Hiller, M., & Schulz, M. (2019). TRNSYS the dynamic building and plant simulation program. En *TRANSSOLAR.* TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
12. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. (2010). CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE. En *CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.*
13. Llorente, R. B., & García, E. M. (2016, 1 enero). *Aproximación a la simulación energética de una galería acristalada realizada con TRNSYS para su definición con la herramienta unificada LIDER-CALENER.*
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6353626>
14. Magadán Tomás, R., Lareo Calviño, G., Cacabelos Reyes, A., & Carrasco Pena, P. (Eds.). (2016). *Simulación mediante TRNSYS de la influencia de la envolvente térmica en la demanda energética en un Cuartel de la Armada y propuestas de actuación* [IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad].
15. Materiales definidos en ATECYR-HE 1. (2023). En *ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración).* Recuperado 15 de junio de 2024, de <https://www.atecyr.org/>
16. Montagud- Montalvá, C., Cañada-Soriano, M., Peñalvo-López, E., Soriano-Olivares, J., Tudela-Ribes, R., & Quiroga-Pagani, C. (Eds.). (2024). *Towards a More Sustainable University Campus: Energy Assessment in a Lecture Building at the School of Industrial Engineering at UPV, Spain* [41th UIT International Heat Transfer Conference].

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

17. Naciones Unidas (Ed.). (2020, 10 diciembre). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible. Recuperado 25 de julio de 2024, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
18. Objetivos de Desarrollo Sostenible / ODS. (2024). En *Gobierno de España*. Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030. <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/index.htm>
19. Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernández, C., Vivancos, J., & Cárcel-Carrasco, J. (2021). Experimental Data and Simulations of Performance and Thermal Comfort in a Typical Mediterranean House. *Energies*, 14(11), 3311. <https://doi.org/10.3390/en14113311>
20. Rashad, M., Żabnieńska-Góra, A., Norman, L., & Jouhara, H. (2022). Analysis of energy demand in a residential building using TRNSYS. *Energy*, 254, 124357. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124357>
21. *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. (BOE-A-2007-15820). (2007). Ministerio de la Presidencia.
22. School, B. N. (2024, 30 abril). *Del modelo BIM a BEM: Revit y DesignBuilder aplicado a la optimización energética y la edificación sostenible*. Butic The New School. Recuperado 29 de junio de 2024, de <https://butic.es/del-modelo-bim-bem-revit-y-designbuilder-aplicado-la-optimizacion-energetica-y-la-edificacion-sostenible/>
23. *Trnsys18*. (s. f.). Transsolar. Recuperado 10 de julio de 2024, de <https://trnsys.de/en/trnsys18>
24. *UNE-EN 16001: Sistemas de gestión energética. Requisitos con orientación para su uso*. (2010). Asociación Española de Normalización y Certificación. <https://www.aenor.es>

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

PRESUPUESTO

Proyecto: Elaboración del modelo del edificio 5N para la creación de archivos idf
Promotor:
Situación:

: Lidia Royuela Mancebo

V Presupuesto: Anejo de justificación de precios

Nº	Código	Ud	Descripción	Total
1 CAPITULO 01: Modelaje				
1.1	01.01		Incluye la creación del modelo tridimensional del edificio utilizando software especializado, la generación y validación del archivo .IDF, y la introducción de datos iniciales en TRNSYS para simulaciones energéticas preliminares. El trabajo contempla la recopilación de información constructiva, la configuración de parámetros en el archivo .IDF para su uso en TRNSYS, y la obtención de resultados preliminares que permitan validar la operatividad del modelo.	
		300,000 h	Técnico superior	12,000 €
		50,000 h	Ingeniero experto en análisis energético	40,000 €
		50,000 h	Ingeniero experto en análisis energético	40,000 €
			4,000 % Costes indirectos	7.600,000 €
				3.600,00 €
				2.000,00 €
				2.000,00 €
				304,00 €
			Precio total por	7.904,00 €
1.2	01.02		Incluye los costos asociados al uso de equipo informático y el software de simulación necesario para la realización del modelo energético del edificio 5N. El equipo informático utilizado cuenta con características técnicas necesarias para el procesamiento de datos y la creación del modelo tridimensional (3D), así como para la simulación energética en TRNSYS. Además, se incluye el costo de las licencias del software específico utilizado para la modelización y simulación energética, garantizando que el entorno de trabajo cumple con los requisitos técnicos y de precisión necesarios para el desarrollo del proyecto	
		0,333 año	Software (TRNSYS 18)	375,000 €
		0,333 año	PC portátil (MSI Thin GF63)	125,000 €
			4,000 % Costes indirectos	166,510 €
				124,88 €
				41,63 €
				6,66 €
			Precio total por	173,17 €

Proyecto: Elaboración del modelo del edificio 5N para la creación de archivos idf
Promotor:
Situación:

: Lidia Royuela Mancebo

V Presupuesto: Resumen del presupuesto

1 CAPITULO 01: Modelaje	8.077,17
Presupuesto de ejecución material (PEM)	8.077,17
13% de gastos generales	1.050,03
6% de beneficio industrial	484,63
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)	9.611,83
21% IVA	2.018,48
Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (PEC = PEM + GG + BI ...)	11.630,31

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata con IVA a la expresada cantidad de ONCE MIL SEISCIENTOS TREINTA EUROS CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS.

Valencia, Julio 2024

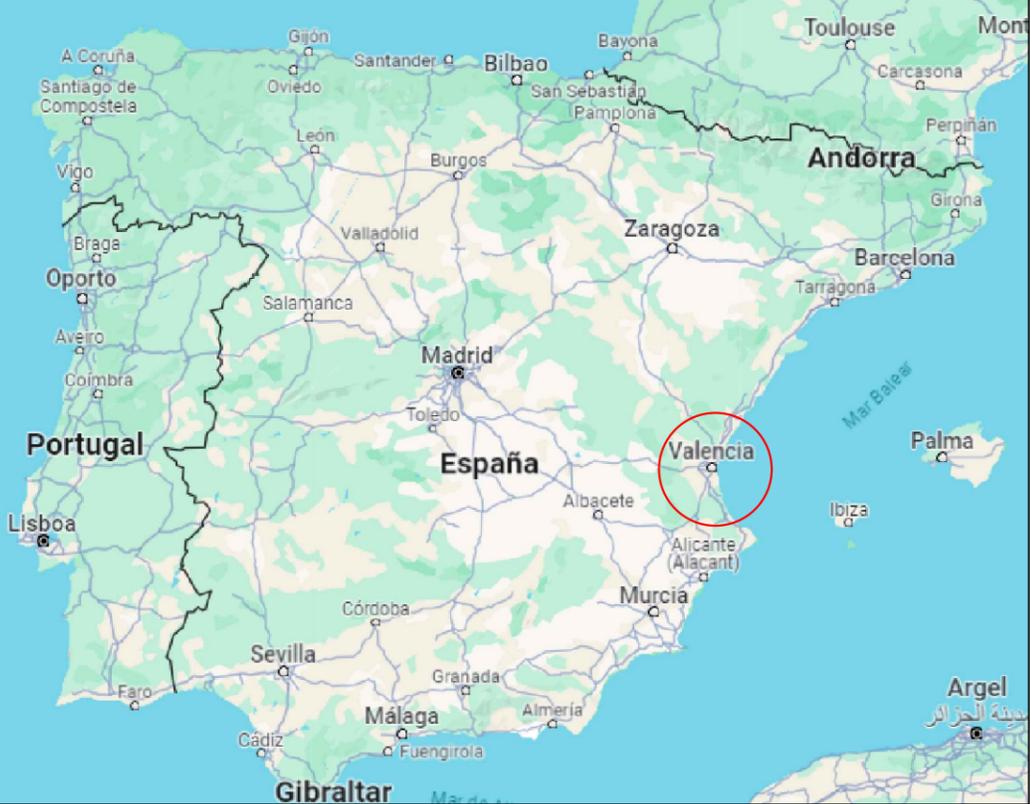
Lidia Royuela Mancebo

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

PLANOS

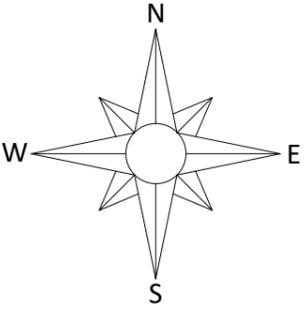


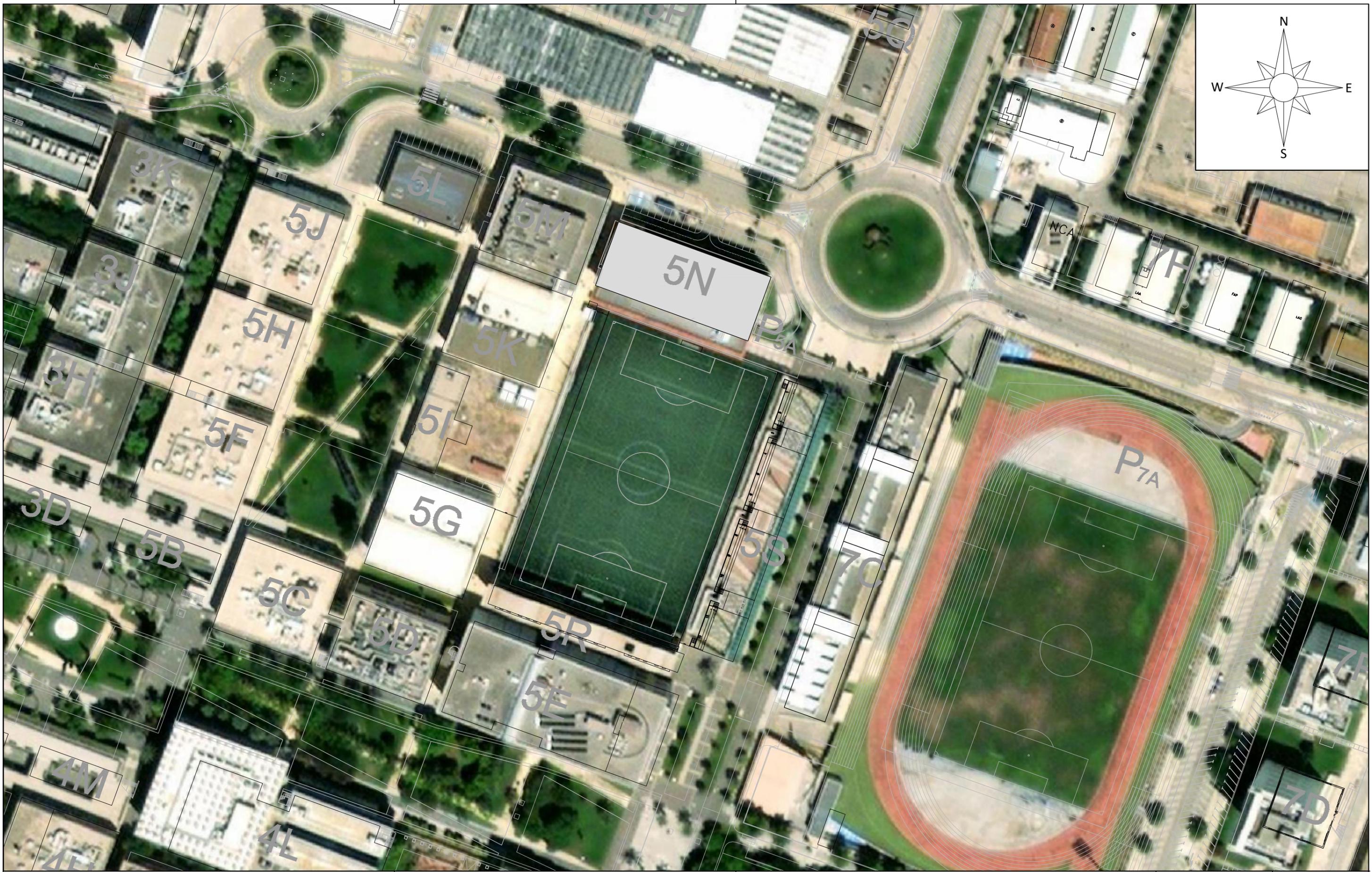
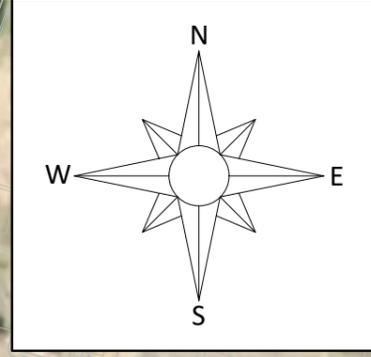
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



EDIFICIO 5N

COORDENADAS GEOGRÁFICAS:
X: 1678.0076
Y: -56.5943





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto:

MODELADO DEL EDIFICIO 5N DE LA ETSII MEDIANTE LA
GENERACIÓN DE ARCHIVOS DE DATOS DE ENTRADA (IDF)
PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Plano: UBICACIÓN DEL EDIFICIO

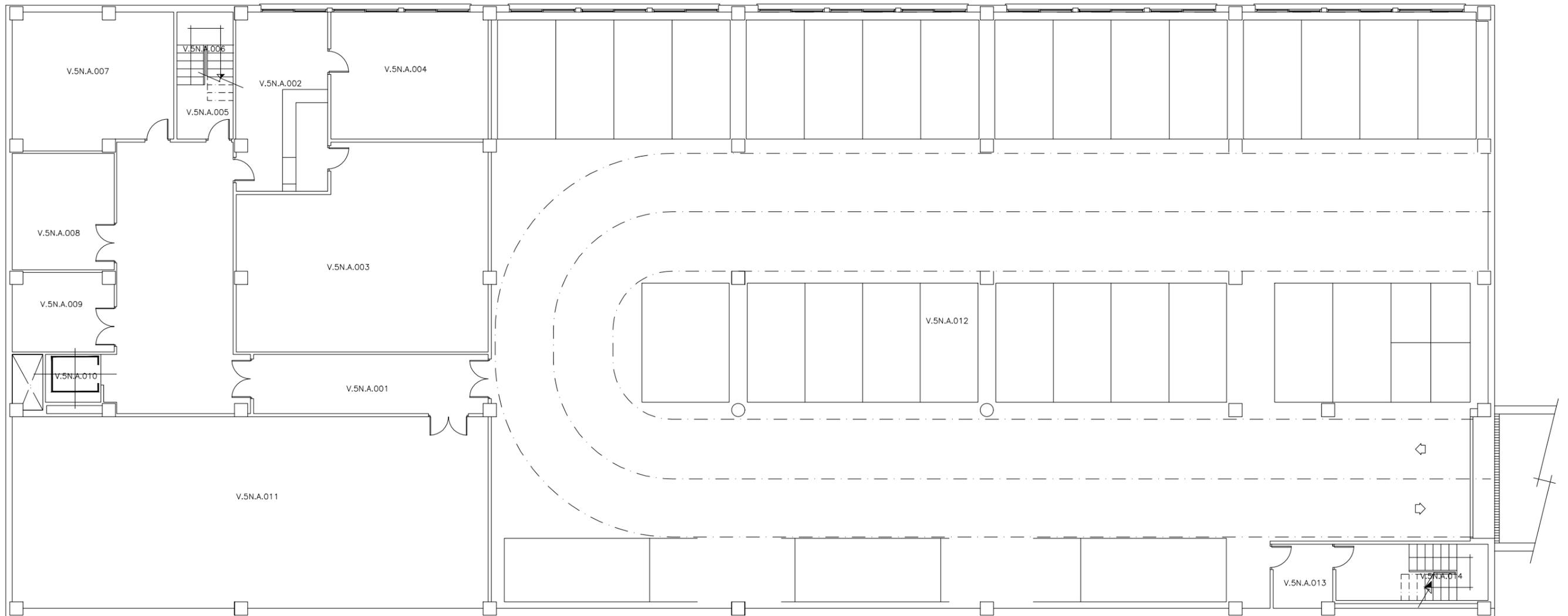
Autor:
LIDIA ROYUELA MANCEBO

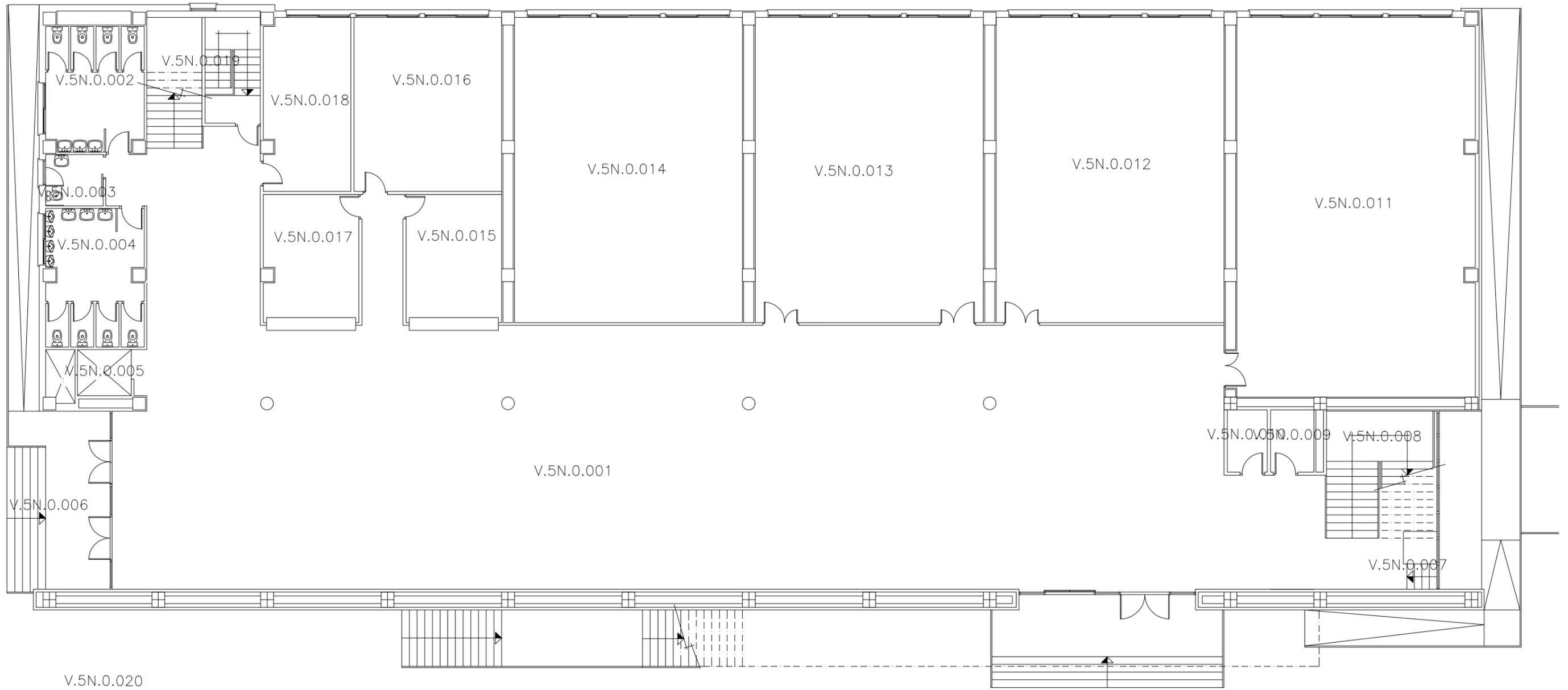
Fecha: Julio 2024

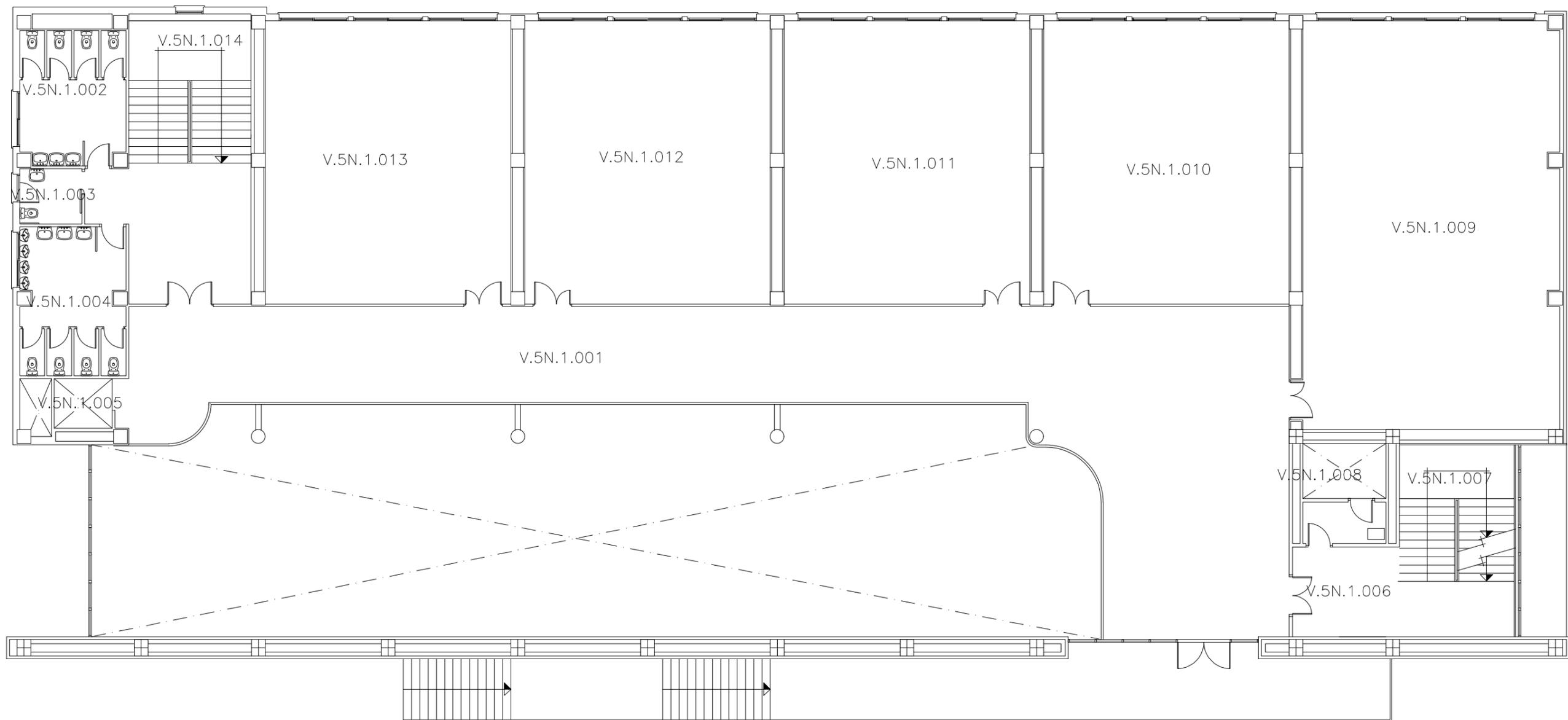
Escala:
1:120

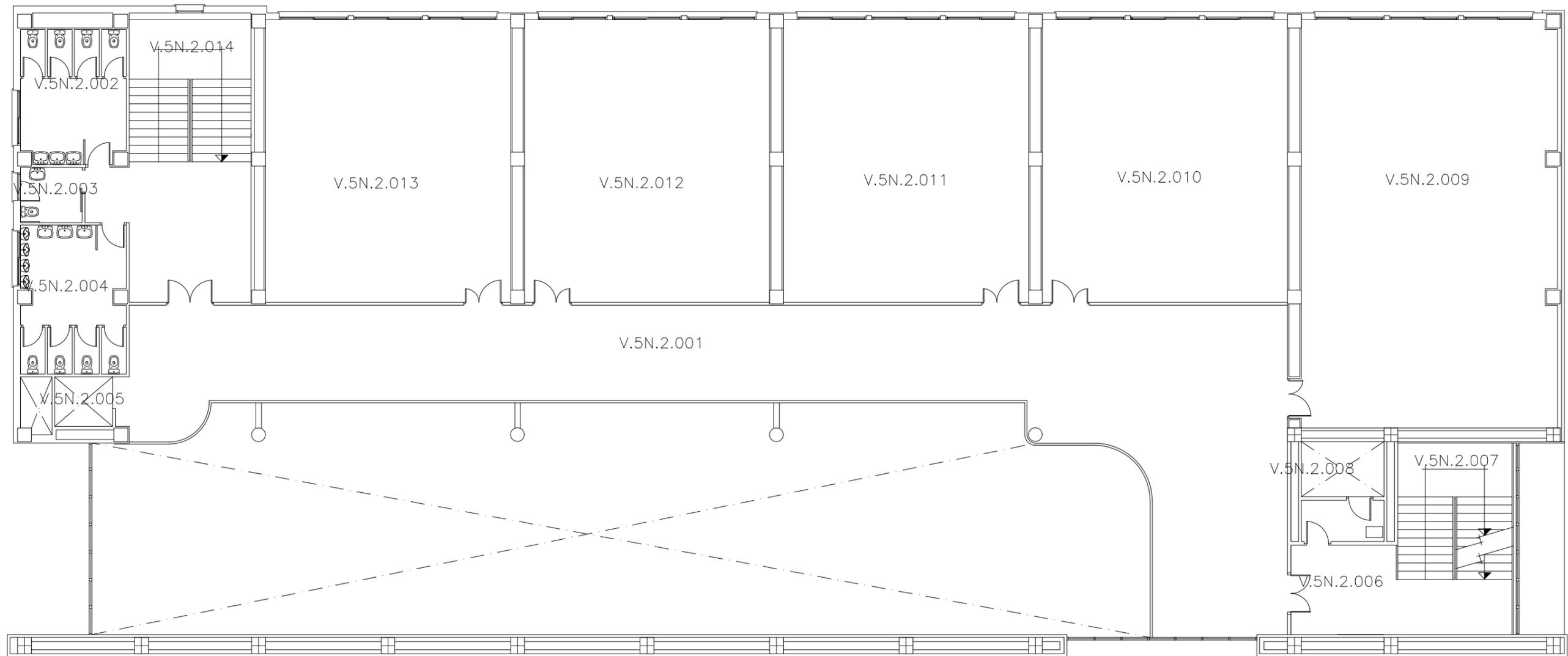
Nº Plano:

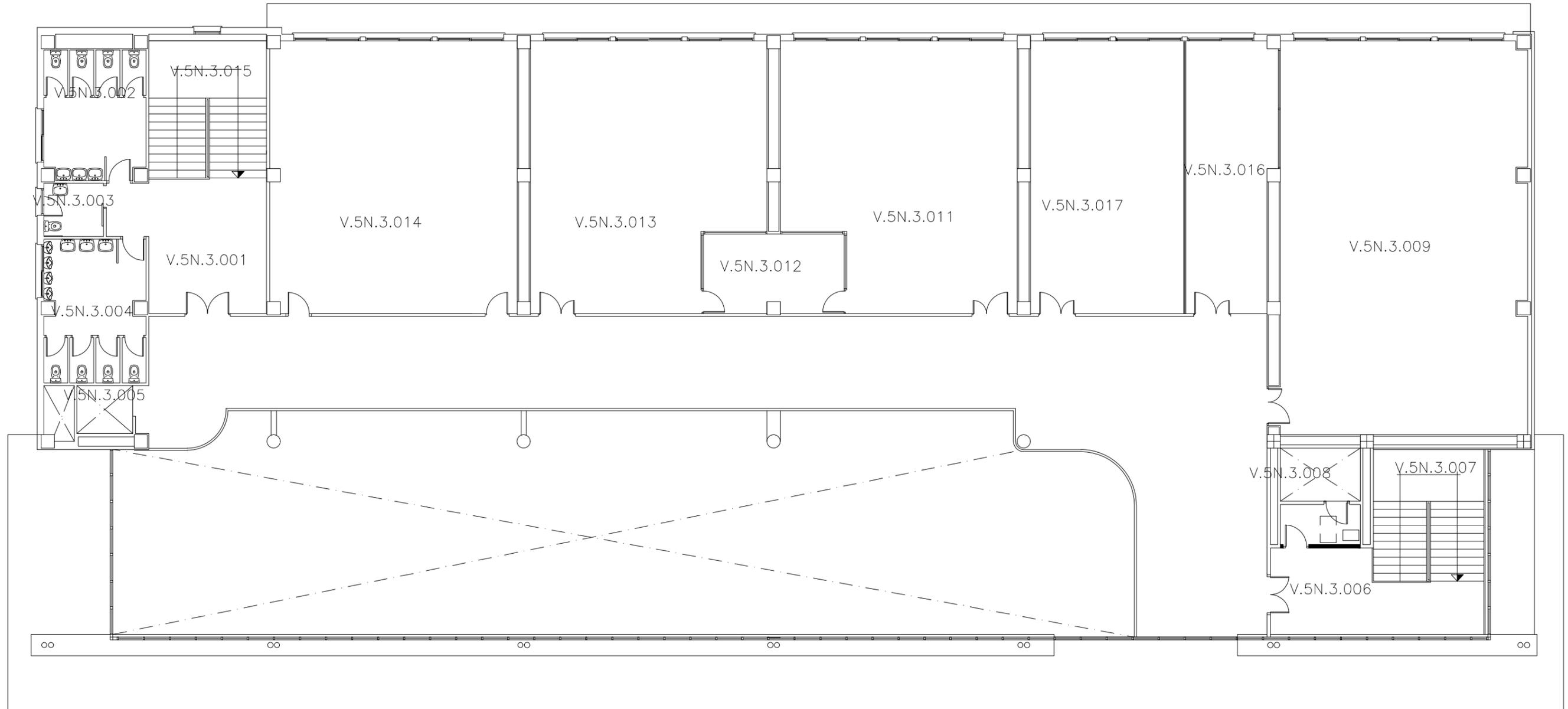
2

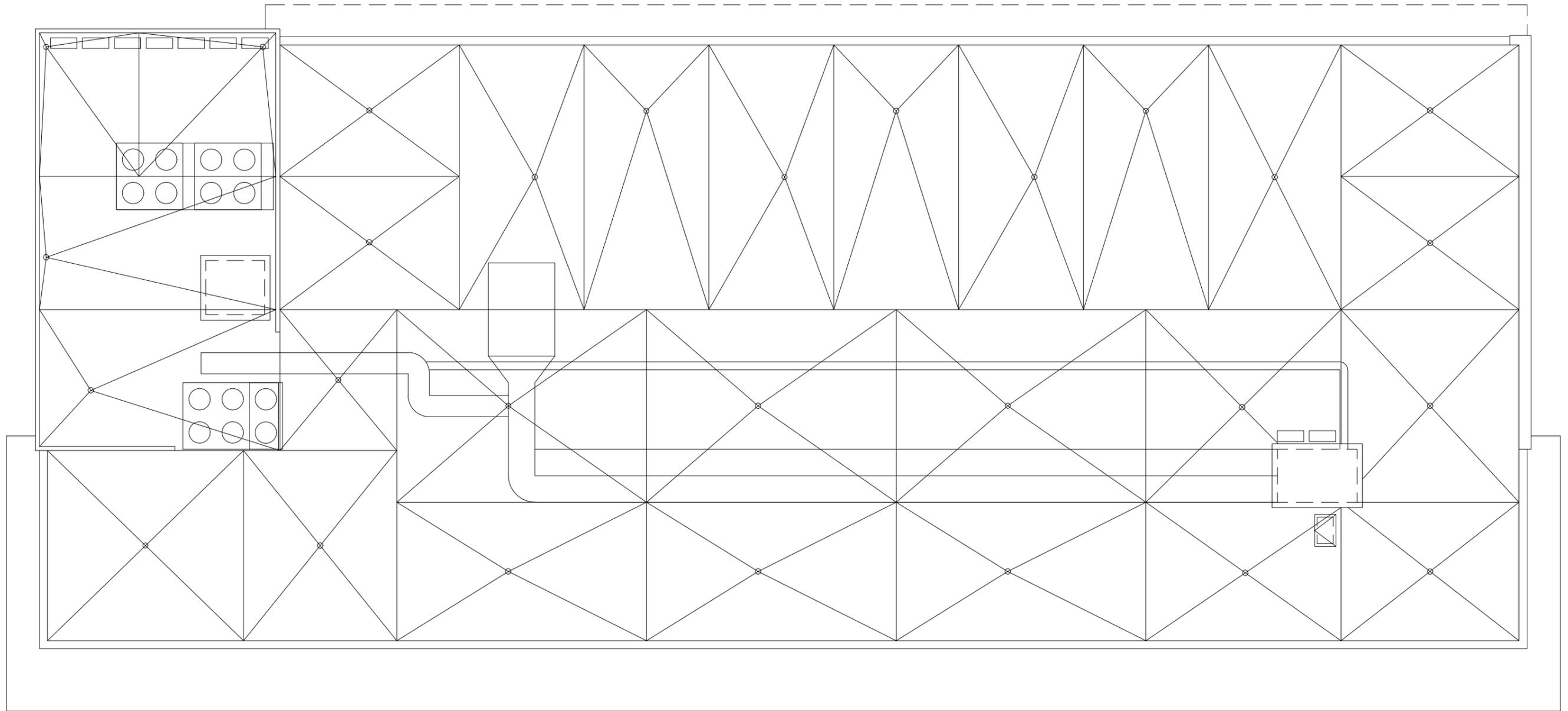


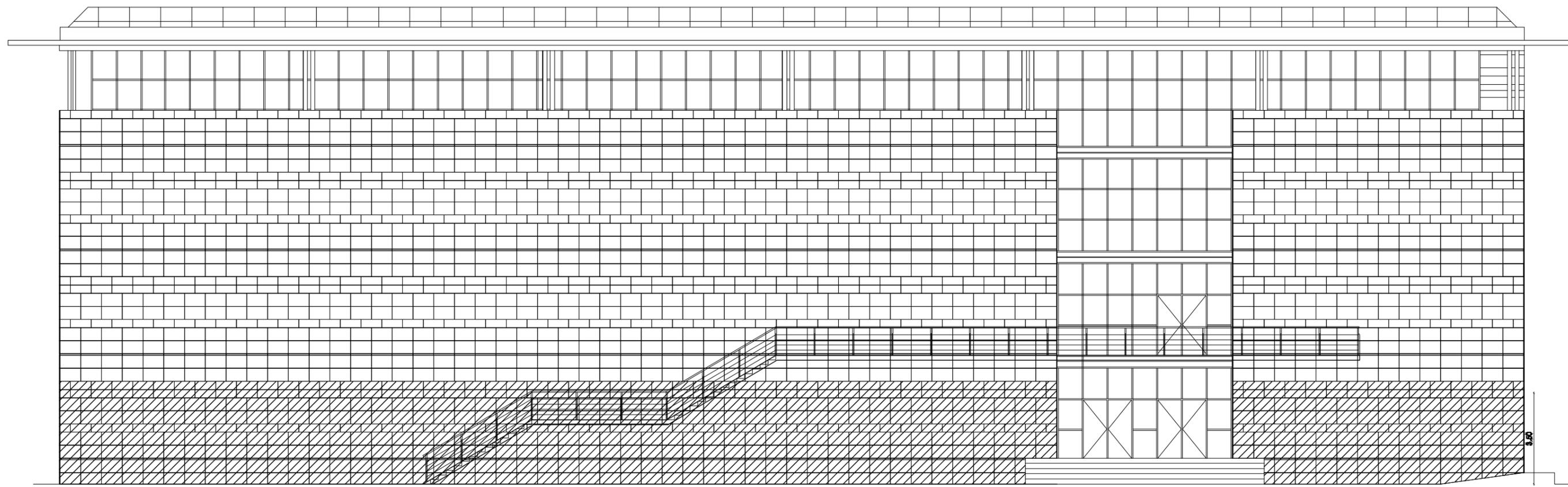








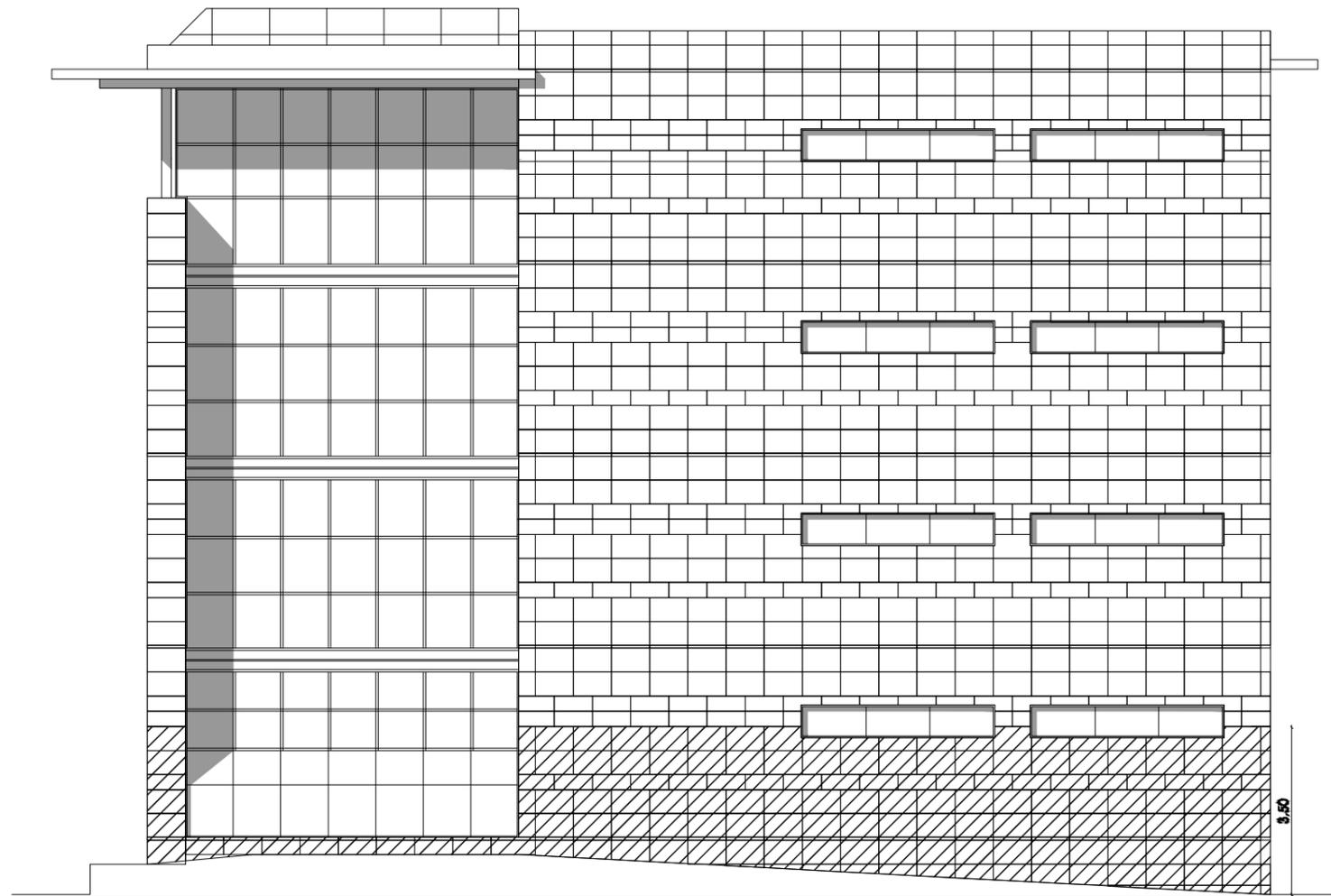




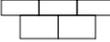
LEYENDA

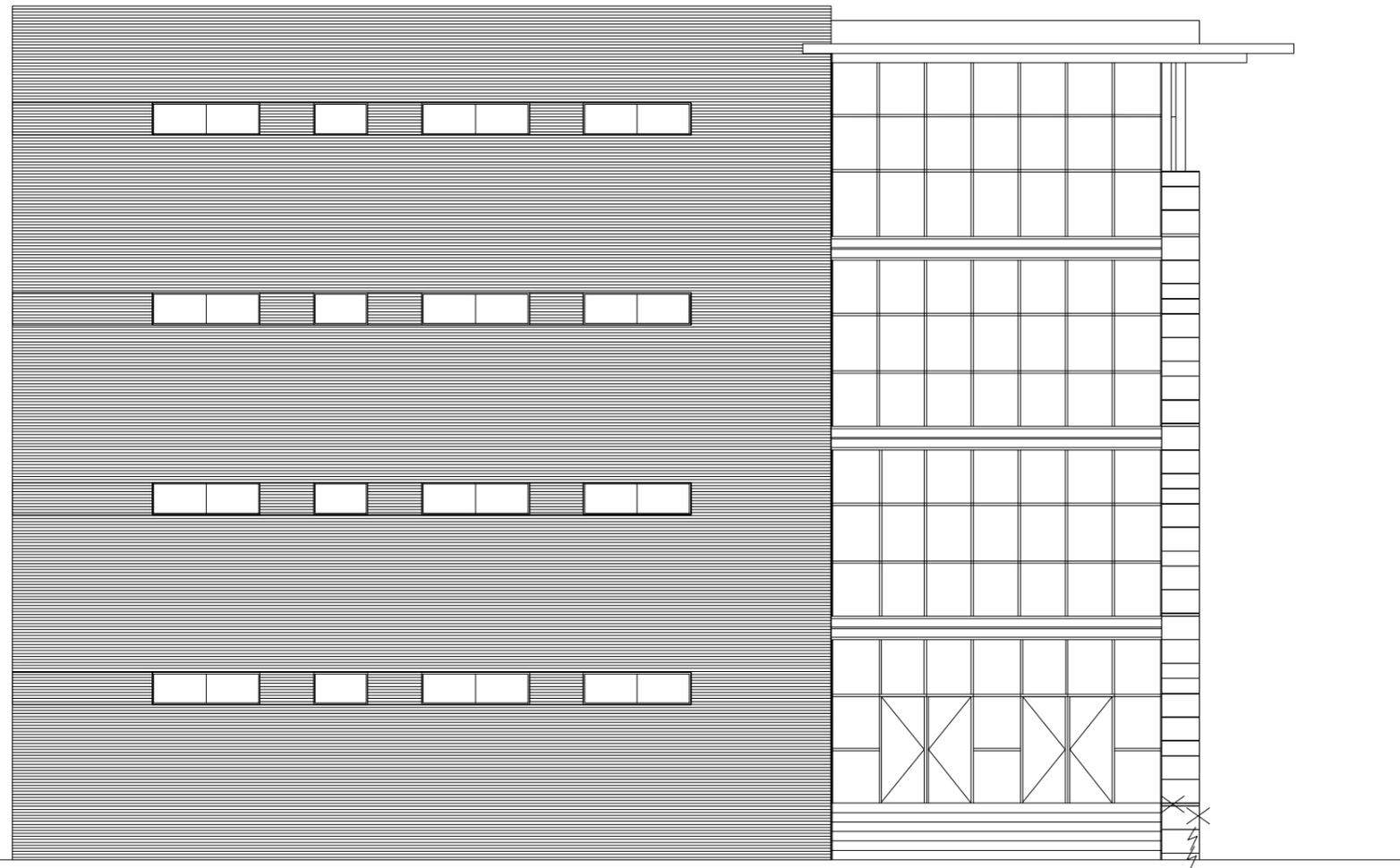
-  SUSTITUCIÓN DE FACHADA VENTILADA CON RECUPERACIÓN
-  PROTECCIÓN DEL AISLAMIENTO CON MORTERO MALLADO Bs3d2
-  PERFIL "U" ALUMINIO
-  RECERCADO
-  NUEVA FACHADA VENTILADA





LEYENDA

-  SUSTITUCIÓN DE FACHADA VENTILADA CON RECUPERACIÓN
-  NUEVA FACHADA VENTILADA
-  RECERCADO
-  PERFIL "U" ALUMINIO
-  PROTECCIÓN DEL AISLAMIENTO CON MORTERO MALLADO Bs3d2



LEYENDA

- PERFORACIÓN BARANDILLA
- S PIEZA SUELTA
- × DESPORT.... ANCLAJE
- ⚡ ROTURA DE PIEZA
- ⊥ SUCIEDAD
- ENCHUFE
- ⊞ LUMINARIA
- ▤ LUMINARIA EMERGENCIA
- I ESTRUCTURA

ANEXO 1: RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

ANEXO AL TRABAJO DE FIN DE GRADO: RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	X			
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.		X		
ODS 10. Reducción de las desigualdades				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			X	
ODS 12. Producción y consumo responsable.				X
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.			X	

El TFG no solo aborda los desafíos técnicos de la modelación y simulación energética del edificio 5N, sino que también se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La implementación de tecnologías avanzadas y la futura optimización de la eficiencia energética en el edificio 5N reflejan el compromiso con los objetivos de la Agenda 2030, demostrando que es posible integrar la sostenibilidad en proyectos de ingeniería y gestión de edificios. A continuación, se describe la relación del proyecto con estos objetivos, destacando aquellos con un grado de relación más significativo.

- **ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante**

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

- 7.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Este objetivo busca duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética para 2030. A través del modelado energético y la simulación del edificio 5N utilizando TRNSYS, se podrán identificar áreas donde mejorar la eficiencia energética del edificio.

- 7.A. INVESTIGACIÓN E INVERSIÓN EN ENERGÍAS LIMPIAS

El proyecto también fomenta la cooperación y facilita el acceso a la investigación y la tecnología relacionadas con la energía limpia y la eficiencia energética. Al utilizar herramientas avanzadas de modelado energético, como TRNSYS, el proyecto promueve la inversión en infraestructuras energéticas y tecnologías limpias, alineándose con los objetivos de aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, este trabajo sirve como base para futuros proyectos en los que se podrán introducir en TRNSYS las acciones de mejora identificadas, lo que garantiza que la investigación no se detenga aquí, sino que continúe aplicándose a diversas tecnologías.

- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**

- 9.5 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y CAPACIDAD TECNOLÓGICA

Se contribuye al aumento de la investigación científica y la mejora de la capacidad tecnológica en el sector de la construcción y la energía. La implementación de BEM en el proceso de modelado del edificio facilita la innovación y la optimización del uso de recursos.

- **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles**

El proyecto ETSII LivingLab, que incluye el modelado del edificio 5N, se alinea con el objetivo de desarrollar ciudades y comunidades sostenibles. Al monitorizar el edificio, y en el futuro explorar áreas de mejora, el proyecto contribuye a la creación de entornos urbanos más sostenibles y eficientes. La transferencia de conocimientos y prácticas sostenibles beneficia a la comunidad universitaria y a la ciudad, acercándola al objetivo de neutralidad climática para 2030.

- **ODS 13: Acción por el Clima**

En futuras líneas de trabajo al identificar medidas para reducir los consumos energéticos del edificio, se disminuirían las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂. Esto se encuentra alineado con el objetivo de huella cero de carbono en la UPV para el año 2050. La promoción de prácticas sostenibles y la optimización de la eficiencia energética del edificio apoyan los esfuerzos globales para combatir el cambio climático.

- **ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos**

Modelado del edificio 5N de la ETSII mediante la generación de archivos de datos de entrada (IDF) para la simulación energética

○ 17.8. BANCO DE TECNOLOGÍA

El proyecto fomenta la colaboración y la creación de capacidades en materia de ciencia, tecnología e innovación. Al utilizar tecnologías avanzadas y promover la cooperación entre diferentes programas y actores, el proyecto facilita el acceso a herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar los ODS. Esta colaboración es esencial para lograr los objetivos de sostenibilidad a nivel global.