



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Optimización energética de la ENM en tiempos de pandemia

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Álvaro Conesa Fernández

DIRECTORES: Guillermo Lareo Calviño

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Optimización energética de la ENM en tiempos de pandemia

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

Las medidas adoptadas para hacer frente al contexto que la pandemia generada por el COVID19 han dibujado un panorama distinto al que existía previamente, sobre todo derivado desde el punto de vista energético, en la necesidad de mejorar/ aumentar la renovación de aire en espacios cerrados.

El presente proyecto tiene como objetivo general el análisis energético de dicha influencia en el ámbito de la Escuela Naval Militar.

Para la realización del mismo, se analizará la situación actual con las medidas impuestas en lo relativo a la ventilación y a la renovación de aire en espacios cerrados y, se comparará con la situación existente con anterioridad a la llegada de dicha pandemia. Para ello será necesario abordar un análisis de datos, tanto de tipologías de edificios, consumos, etc. para, a partir de ellos, seleccionar la metodología más adecuada que permita abordar los objetivos de este trabajo. En particular se empleará la simulación como elemento básico, con programas como Sketchup, TRNBuild, TRNSYS Simulation Studio y TRNExe para llevar a cabo el modelado de edificios, configuración de parámetros, condiciones de trabajo.

El estudio pretende extraer los resultados de dicho análisis y plantear cuáles serían los escenarios más idóneos desde el punto de vista energético.

PALABRAS CLAVE

Análisis Energético, Sketchup, Trnsys, COVID19, Ventilación

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi más profundo agradecimiento a ti, Sandra, por tu necesaria presencia que me ha acompañado durante todo el periodo de formación en la ENM.

Agradecer a mis padres por su atención y cariño, ayudándome a conseguir todo lo que me propusiera. A mi hermano por todo lo que me ha podido enseñar y recomendar para hacer esto posible. Y a mis amigos por su incondicional apoyo.

Sin olvidar a mis compañeros de camareta Santiago, Juan y José Antonio, que me han acompañado en los momentos más desafiantes, en los confinamientos y soportado mis inoportunas peticiones para retomar el deporte.

Agradecer al profesor D. Guillermo Lareo Calviño por el apoyo en la realización de este trabajo, por su guía y orientación en los momentos de dificultad y estancamiento.

Sin olvidar al destino de mantenimiento de la Escuela Naval Militar, especialmente a la señora Ana López Souto, por su paciencia y su constante disposición a ayudar.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Estructura del Trabajo	10
1.4 Glosario de abreviaturas y acrónimos	11
2 Antecedentes	13
2.1 La Escuela Naval Militar	13
2.1.1 Distribución y uso de instalaciones	14
2.1.2 Personal.....	15
2.2 COVID19	16
2.2.1 Síntomas	17
2.2.2 Detección	17
2.2.3 Protocolos	17
2.3 Ventilación en locales	18
2.4 Sistemas de climatización	19
2.4.1 Clasificación por el alcance de la instalación	19
2.4.2 Clasificación por el fluido caloportador	20
3 Estado del arte	23
3.1 Reglamentos y normas	24
3.1.1 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)	24
3.1.2 Código Técnico de Edificación (CTE)	24
3.1.3 Guía para la ventilación de las aulas.....	25
3.2 Simulación térmica de edificios	27
3.2.1 Objetivos de la simulación térmica de edificios	27
3.2.2 Programas de simulación térmica de edificios	28
3.2.3 Simulación térmica a través de los modelos matemáticos.....	28
3.2.4 Formación del modelo-D geométrico	29
3.2.5 Formación del modelo-D físico	30
3.3 Trabajos de Fin de Grado relacionados.....	30
3.4 Software análisis energético.....	31
3.4.1 AutoCAD	31

3.4.2 Sketchup	31
3.4.3 Trnsys	32
3.4.4 OpenStudio	33
3.4.5 EnergyPlus	33
3.4.6 Meteonorm.....	33
4 Estudio energético	35
4.1 Edificios objeto de estudio	35
4.1.1 Definición de Zona Térmica	36
4.1.2 Edificio Isaac Peral	38
4.1.3 Cuartel “Almirante Francisco Moreno”	41
4.1.1 Cuartel “Méndez Núñez”	44
4.1.1 Cuartel “Marqués de la Victoria”	46
4.1.1 Patio de Aulas	48
4.2 Consumos de combustible preCOVID y COVID	51
4.3 Metodología para la simulación	57
4.3.1 Diseño Tridimensional en SketchUp + Trnsys3d	57
4.3.2 Importación a TRNBuild	65
4.3.3 Desarrollo del modelo en TRBuild	66
5 Resultados	77
5.1 Validación de resultados	77
5.2 Análisis energéticos	79
5.3 Análisis de resultados.....	82
5.4 Estudio económico	84
5.4.1 Costes de los combustibles	84
5.4.2 Estimación del consumo preCOVID y COVID.....	84
5.5 Propuesta de actuación.....	86
5.5.1 Reducción de las ACH.....	87
6 Conclusiones y líneas futuras	89
6.1 Conclusiones	89
6.2 Líneas futuras	90
7 Bibliografía.....	91
Anexo I: Gráficas de resultados	93
Anexo II: Horario para DD. Y CC. Alumnos 2020-2021	124
Anexo III: Calderas de la Escuela Naval Militar	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Escuela Naval Militar [2].....	13
Figura 2-2 Plano General ENM (Jefatura Mantenimiento ENM).....	14
Figura 2-3 Wuhan, China [3]	16
Figura 2-4 Climatización Unitaria [4]	20
Figura 2-5 Climatización centralizada [4].....	20
Figura 2-6 Sistema todo aire [4].....	21
Figura 2-7 Sistema todo agua [4]	21
Figura 2-8 Sistema agua-aire [4]	22
Figura 2-9 Sistema todo refrigerante [4]	22
Figura 3-1 Clasificación de ACH (Autoría propia).....	26
Figura 3-2 Evolución del CO2 en un aula [1]	26
Figura 3-3 Variación CO2 en distintas condiciones [1]	27
Figura 3-4 Ejemplos de métodos, autores y programas en el tiempo [5].....	28
Figura 3-5 Logo de AutoCAD [10].....	31
Figura 3-6 Logo de Sketchup [11]	32
Figura 3-7 Logo de Trnsys [12]	32
Figura 3-8 Logo de OpenStudio [13]	33
Figura 3-9 Logo de EnergyPlus [14].....	33
Figura 3-10 Logo de Meteonorm [15].....	34
Figura 4-1 Ubicación Escuela Naval Militar (Autoría propia).....	35
Figura 4-2 Puerta de la Escuela Naval Militar (Autoría propia)	36
Figura 4-3 Vista aérea Edificio Isaac Peral (Autoría propia).....	39
Figura 4-4 Cerramientos Isaac Peral [16].....	39
Figura 4-5 Plano Planta Baja Edificio Isaac Peral (Autoría propia)	40
Figura 4-6 Plano Planta Alta Edificio Isaac Peral (Autoría propia).....	40
Figura 4-7 Vista aérea Cuartel "Almirante Fco. Moreno " (Autoría propia)	41
Figura 4-8 Planta Baja Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia).....	43
Figura 4-9 Primera Planta Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)	43
Figura 4-10 Segunda Planta Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)	44
Figura 4-11 Vista aérea Cuartel "Méndez Núñez" (Autoría propia).....	44
Figura 4-12 Planta Baja Méndez Núñez (Autoría propia)	45
Figura 4-13 Primera Planta Méndez Núñez (Autoría propia)	45
Figura 4-14 Segunda Planta Méndez Núñez (Autoría propia)	46
Figura 4-15 Vista aérea Cuartel "Marqués de la Victoria" (Autoría propia)	46

Figura 4-16 Planta baja cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia).....	47
Figura 4-17 Primera planta cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)	48
Figura 4-18 Segunda planta cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia).....	48
Figura 4-19 Vista aérea Patio de Aulas (Autoría propia).....	49
Figura 4-20 Planta baja del Patio de Aulas (Autoría propia)	50
Figura 4-21 Primera planta del Patio de Aulas (Autoría propia).....	51
Figura 4-22 Comparativa de consumos de gas natural de 2019 y 2020 (Autoría propia).....	52
Figura 4-23 Consumo Gas natural en MWh (Autoría propia)	52
Figura 4-24 Edificios con mayor demanda de Gas natural 2020 (Autoría propia)	53
Figura 4-25 Comparativa consumos edificio Isaac Peral (Gas natural) (Autoría propia).....	53
Figura 4-26 Comparativa consumos Cuartel Almirante "Francisco Moreno"(Gas natural) (Autoría propia)	53
Figura 4-27 Aproximación de consumos de gasóleo "C" según su volumen (Autoría propia)	56
Figura 4-28 Relación Volumen-Consumo gasóleo "C" (Autoría propia).....	56
Figura 4-29 Secuencia (Autoría propia).....	57
Figura 4-30 Procedimiento de guardado para zonas térmicas (Autoría propia).....	58
Figura 4-31 Formato de guardado de zonas térmicas (Autoría propia).....	58
Figura 4-32 Zona Térmica desactivada (Autoría propia).....	58
Figura 4-33 Zona Térmica activada (Autoría propia)	59
Figura 4-34 Superficie zona térmica (Autoría propia)	59
Figura 4-35 Volumen zona térmica (Autoría propia).....	60
Figura 4-36 Elemento y su información de contorno (Autoría propia).....	60
Figura 4-37 Vista 1 modelo Edificio Isaac Peral (Autoría propia)	61
Figura 4-38 Vista 2 modelo Edificio Isaac Peral (Autoría propia)	61
Figura 4-39 Vista 1 modelo Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia).....	62
Figura 4-40 Vista 2 modelo Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia).....	62
Figura 4-41 Vista 1 modelo Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia).....	63
Figura 4-42 Vista 2 modelo Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia).....	63
Figura 4-43 Vista 1 modelo Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)	64
Figura 4-44 Vista 2 modelo Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)	64
Figura 4-45 Vista 1 modelo Patio de Aulas (Autoría propia)	65
Figura 4-46 Vista 2 modelo Patio de Aulas (Autoría propia)	65
Figura 4-47 Importar archivo ".idf"en TRNBuild (Autoría propia).....	66
Figura 4-48 Interface TRNBuild (Autoría propia)	66
Figura 4-49 Interface de Simulation Studio para el Cuartel Francisco Moreno (Autoría propia) ...	67
Figura 4-50 Type 56 (Autoría propia).....	67

Figura 4-51 Type 65b (Autoría propia)	67
Figura 4-52 Ventana selección parámetros (Autoría propia)	68
Figura 4-53 Type 15-6 (Autoría propia).....	68
Figura 4-54 Ventana para importar archivo de Meteonorm (Autoría propia).....	69
Figura 4-55 Equation (Autoría propia).....	69
Figura 4-56 Ventana para realizar operaciones (Autoría propia).....	70
Figura 4-57 Horarios de calefacción en la ENM (Autoría propia).....	70
Figura 4-58 Ajuste Horario en TRNSYS (Autoría propia)	71
Figura 4-59 Cuadro Infiltraciones (Autoría propia)	71
Figura 4-60 Herramienta valor de infiltraciones creada por Aurea Design Builder (Autoría propia)	72
Figura 4-61 Cuadro Calefacción (Autoría propia)	74
Figura 4-62 Cuadro Selección materiales de cerramientos (Autoría propia).....	74
Figura 4-63 Personalización de renovaciones de aire por hora (Autoría propia).....	75
Figura 5-1 Comparativa del Gas natural del Cuartel Fco. Moreno (Autoría propia)	77
Figura 5-2 Comparativa del Gas natural del Edificio Isaac Peral (Autoría propia)	78
Figura 5-3 Comparativa del Gasóleo “C” del Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia)	78
Figura 5-4 Comparativa del Gasóleo “C” del Patio de Aulas (Autoría propia)	78
Figura 5-5 Comparativa del Gasóleo “C” del Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia).....	78
Figura 5-6 Simulación Biblioteca periodo preCovid (Autoría propia)	79
Figura 5-7 Valores de la simulación en formato texto (Autoría propia)	79
Figura 5-8 Variación de temperatura edificios periodo preCovid (Autoría propia).....	80
Figura 5-9 Variación de temperatura edificios periodo Covid (Autoría propia).....	80
Figura 5-10 Variación Temperatura Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia).....	81
Figura 5-11 Variación Demanda Energética Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)	81
Figura 5-12 Demanda energética edificios periodo preCovid (Autoría propia).....	82
Figura 5-13 Demanda energética edificios periodo Covid (Autoría propia).....	82
Figura 5-14 Consumos de gas natural obtenidos con la simulación (Autoría propia)	83
Figura 5-15 Consumos reales de gas natural (Autoría propia).....	83
Figura 5-16 Consumos de gasóleo “C” obtenidos con la simulación (Autoría propia)	83
Figura 5-17 Consumos reales de gasóleo "C" (Autoría propia)	83
Figura 5-18 Consumos reales de gas Natural de la ENM (Autoría propia)	84
Figura 5-19 Consumos reales de gasóleo “C” de la ENM (Autoría propia)	84
Figura 5-20 Gasto total 2019 según la simulación, meses noviembre y diciembre (Gas natural y Gasóleo “C”) (Autoría propia).....	85

Figura 5-21 Gasto total 2020 según la simulación, meses noviembre y diciembre (Autoría propia)	85
Figura 5-22 Diagrama de Pareto (Autoría propia)	86
Figura 5-23 Gasto 2020 según la simulación para ACH 4 (Autoría propia)	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Personal de la ENM (Autoría propia)	15
Tabla 2-2 Alumnos ENM durante septiembre a diciembre de 2020 (Autoría propia).....	15
Tabla 2-3 Alumnos ENM durante enero a julio de 2021 (Autoría propia)	15
Tabla 2-4 Total personal ENM (Autoría propia).....	16
Tabla 4-1 Resumen división de edificios de Gas natural en zonas térmicas (Autoría propia).....	37
Tabla 4-2 Resumen división de edificios de Gasóleo “C” en zonas térmicas (Autoría propia).....	38
Tabla 4-3 Cerramientos del cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría Propia).....	42
Tabla 4-4 Cerramientos del cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)	47
Tabla 4-5 Cerramientos del Patio de Aulas (Autoría propia).....	49
Tabla 4-6 Relación suministro de Edificios (Autoría propia)	52
Tabla 4-7 Valores Infiltraciones Cuartel Fco. Moreno (Autoría propia)	72
Tabla 4-8 Valores Infiltraciones Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)	72
Tabla 4-9 Valores Infiltraciones Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia).....	72
Tabla 4-10 Valores Infiltraciones Edificio Isaac Peral (Autoría propia)	73
Tabla 4-11 Valores Infiltraciones Patio de Aulas (Autoría propia)	73

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La llegada de la pandemia generada por el COVID19 ha producido grandes cambios a nivel mundial, dada la facilidad de transmisión del virus, que tiene lugar básicamente por vía oral.

Es por eso que se han tenido que establecer una serie de medidas o protocolos para reducir al máximo la probabilidad de contagio y así, evitar consecuencias no deseables como el confinamiento, con las lógicas y graves repercusiones económicas (entre otras) por la disminución del consumo por parte de la población al reducirse la movilidad y la concentración de la población sobre todo en espacios cerrados, por la necesidad de mantener la denominada distancia social.

En España, la pandemia llegó a inicios de 2020 provocando un elevado y exponencial nivel de contagios para que determinó un confinamiento domiciliario generalizado de la población y la suspensión de todo tipo de actividades no esenciales entre los meses de febrero a mayo de dicho año.

Superada esta primera fase y tras la paulatina vuelta a la denominada “nueva normalidad”, tras los meses de verano y la inminencia de la “vuelta al cole”, se plantearon medidas para mantener bajo control la incidencia de dicha pandemia, como el teletrabajo, la teledocencia, el establecimiento de nuevos hábitos de ventilación/ renovación de aire en espacios cerrados, distanciamiento social, limitación en aforo, uso generalizado y obligado de la mascarilla e incremento de la frecuencia del lavado de manos, entre otras.

Todos estos cambios presentan un especial énfasis en espacios cerrados y han ido modificándose de forma constante durante los últimos meses y continuarán adaptándose en función de la evolución de la pandemia y la experiencia acumulada, para intentar contribuir al control de la transmisión del virus a través del aire en dichos espacios.

En particular, en el ámbito de las aulas (elemento básico muy presente en la ENM) estas medidas han sido elaboradas por el CSIC – IDAEA, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura siendo plasmadas en la “Guía para ventilación en aulas” [1].

A modo de resumen, las medidas que se deben cumplir son:

- Exterior preferible a interior.
- Mejor menos personas.

- Aumentar distancia interpersonal.
- Silencio y volumen bajo.
- Mascarilla bien ajustada.
- Reducir tiempo de exposición.
- Ventilar.
- Purificar aire: filtrar.
- Comprobar midiendo CO₂.

Debido a eso, la Escuela Naval Militar ha tenido que adaptarse y adoptar las directrices y normativas, que, al efecto, han sido aprobadas por los organismos que a nivel nacional son los encargados del control de las condiciones del aire/ ventilación en espacios cerrados.

Será fundamental, por otro lado, el análisis del consumo energético actual en la Escuela Naval Militar, que permita establecer una comparativa con años anteriores y plantear un escenario idóneo a nivel energético.

1.2 Objetivos

El objetivo principal que persigue este proyecto es evaluar el consumo energético que tiene lugar en la Escuela Naval Militar, en años anteriores y en los actuales, con pandemia generada por el COVID19.

El motivo principal que da lugar a estudio son los protocolos establecidos para los espacios cerrados en cuanto a renovaciones de aire. Estudiar y analizar el impacto de estas medidas en los distintos espacios permitirá generar una comparativa con tiempos pasados. Además, conociendo estos parámetros se establecerán unas condiciones para sugerir el escenario idóneo desde el punto de vista energético.

Para la realización de este, se parametrizará la Escuela Naval Militar en sus distintas ubicaciones para el estudio de cada uno de ellos. Además, se estudiará el consumo energético que tiene lugar en cada una de las ubicaciones. Y posteriormente, con cada una de las ubicaciones parametrizadas se hará uso de la herramienta de simulación energética denominada TRNSYS para el análisis energético.

1.3 Estructura del Trabajo

El presente proyecto se encuentra dividido en siete capítulos, incluido la introducción que establece la motivación de este trabajo.

El Capítulo 2, antecedentes, busca contextualizar de una forma general algunos aspectos generales básicos de este trabajo: Escuela Naval Militar, el COVID19, la ventilación en locales y los sistemas de climatización.

El Capítulo 3, el Estado del arte, pretende abordar aspectos más íntimamente relacionados y de aplicación en el presente TFG, como la normativa general de aplicación, entre las que se encuentran el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), el Código Técnico de Edificación (CTE) y la Guía para la ventilación de las aulas. Además, se ofrece una visión cronológica sobre la evolución de las distintas simulaciones energéticas. Finaliza con la descripción de los programas informáticos utilizados: Sketchup, Trnsys y Meteonorm

El programa “Sketchup” nos permite generar los modelados y, con la extensión trnsys3d, crear las distintas zonas térmicas. El programa “Trnsys” es el programa de simulación que permitirá personalizar

los parámetros necesarios para la obtención de resultados. El “Meteonorm” sirve para generar un archivo que recoge las distintas variaciones meteorológicas de unas zonas en concreto durante años.

El Capítulo 4, Estudio Energético, comprende la descripción de las características y división en zonas térmicas para cada uno de los edificios. Por otro lado, se mencionan los distintos consumos que tiene la Escuela Naval Militar para proceder a realizar un estudio de los mismo en la simulación. En la última parte del capítulo, se explica la metodología que tendrá lugar durante el resto del proyecto.

En primer lugar, se empieza con la creación de los modelados en Sketchup de cinco edificios de la Escuela Naval Militar. En estos modelos, cada edificio queda dividido en distintas zonas térmica para llevarlas a estudio; esto es posible mediante la extensión Trnsys3d.

En segundo lugar, se importan cada uno de los modelos a Trnsys, en concreto, al programa “Simulation Studio”. En este programa se definen las distintas conexiones para obtener los resultados deseados, tanto en forma de gráfica como en forma de texto. Mediante TRNBuild, se consigue personalizar las condiciones de contorno y parámetros característicos de cada uno de los edificios; así como la calefacción, horarios, infiltraciones, renovaciones de aire, etc.

El Capítulo 5 se exponen los resultados obtenidos, tanto para la validación de las simulaciones como para su estudio y análisis.

El Capítulo 6 recoge las conclusiones que se pueden deducir del presente trabajo, así como, unas propuestas de líneas futuras para llevar a cabo.

El Capítulo 7 recoge la bibliografía empleada durante el trabajo.

1.4 Glosario de abreviaturas y acrónimos

- > ACS *Agua Caliente Sanitaria*
- > BOE *Boletín Oficial del Estado*
- > BLAST *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*
- > CAI *Centro de Asistencia Informática*
- > CTE *Código Técnico de la Edificación*
- > CCDE *Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades*
- > CSIC *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*
- > CUD *Centro Universitario de la Defensa*
- > DB *Documento Básico*
- > DB-HE *Documento Básico de Ahorro de Energía*
- > ENM *Escuela Naval Militar*
- > IDAE *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*
- > LOE *Ley Orgánica de Edificación*
- > PCI *Poder Calorífico Inferior*

- > PCR *Reacción en Cadena de la Polimersa*
- > OMS *Organización Mundial para la Salud*
- > RD *Real Decreto*
- > RITE *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios*
- > TRNSYS *Transient Simulation of Systems*

2 ANTECEDENTES

2.1 La Escuela Naval Militar

La Escuela Naval Militar junto al Centro Universitario de la Defensa (CUD) dependiente de la Universidad de Vigo, es el único centro de formación de Oficiales de la Armada Española de los cuerpos General, Infantería de Marina, Intendencia e Ingenieros.

Se encuentra ubicada en la villa de Marín (Pontevedra) desde Julio de 1943, trasladada desde su antigua ubicación en San Fernando (Cádiz), y se asienta sobre el antiguo Polígono de Tiro y Escuela de Artillería y Tiro Naval fundado por el capitán de Corbeta D. Jaime Janer Robinson.

En sus inicios, la Escuela Naval Militar se remonta a 1717, año de fundación de lo que en aquel momento se conocía como Real Compañía de Guardiamarinas. Con esta creación se pretendía dar una formación científico-práctica a los futuros oficiales buscando una similitud con la formación británica impuesta en aquellos tiempos.



Figura 2-1 Escuela Naval Militar [2]

Desde entonces, la Escuela Naval Militar, ha pasado por Cádiz, El Ferrol (1780- 1909) antes de ubicarse definitivamente en Marín.

La formación de futuros oficiales dentro de la Escuela Naval Militar se desarrolla durante cinco cursos académicos (Cuerpo General e Infantería de Marina sin titulación) o durante dos cursos académicos (Cuerpo General e Infantería de Marina sin titulación e Intendencia). Existe un periodo donde se embarca en el Buque-Escuela Juan Sebastián de Elcano durante un cuatrimestre.

De la misma manera, los alumnos del Cuerpo de Ingenieros realizan un semestre en la Escuela Naval Militar para, posteriormente, continuar sus estudios en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales, en Madrid.

2.1.1 Distribución y uso de instalaciones

La Escuela Naval Militar, desde sus inicios en Marín, ha ido modificando sus instalaciones para adaptarse en cada momento, a las necesidades de los tiempos. La actual, cuenta con la distribución mostrada en Figura 2-2.

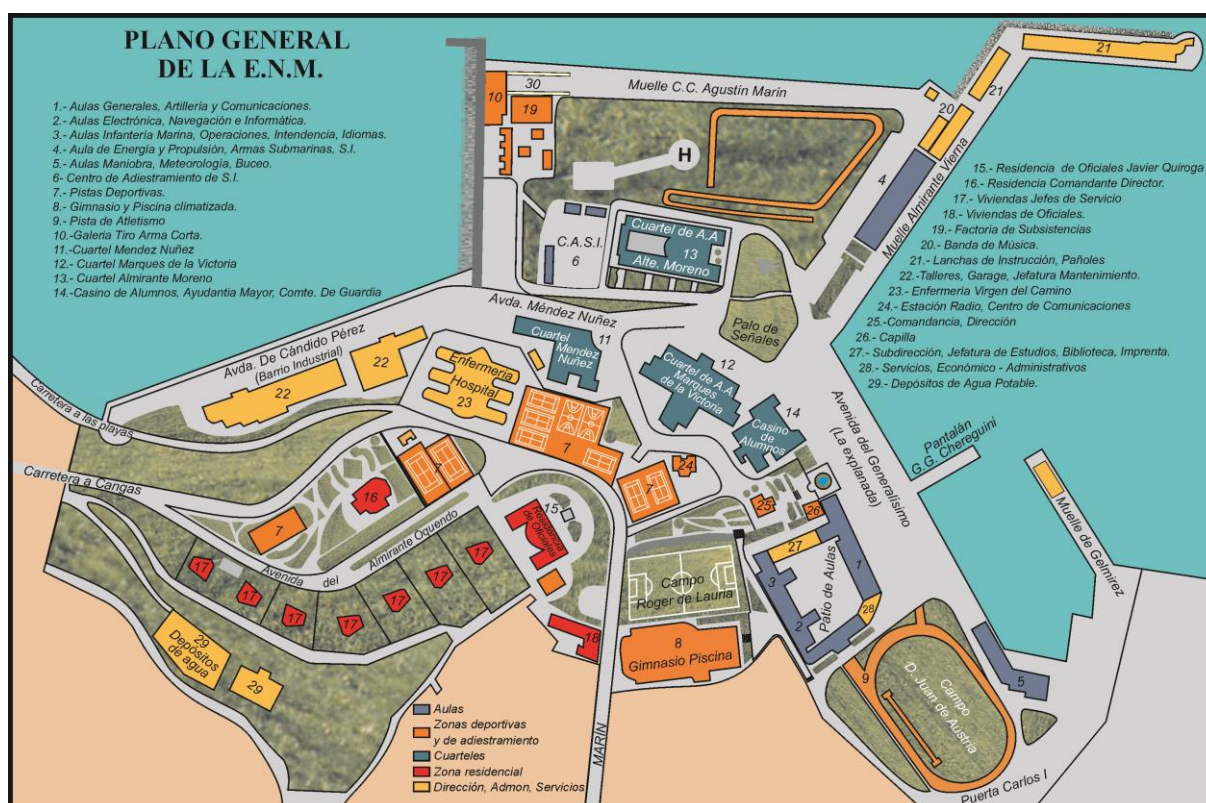


Figura 2-2 Plano General ENM (Jefatura Mantenimiento ENM)

Entre los edificios más emblemáticos, encontramos:

- Edificio maniobra “Príncipe de Asturias”
- Patio de Aulas
- Casino de Alumnos “Almirante Bonifaz”
- Cuartel de Alumnos “Marqués de la Victoria”
- Cuartel de Alumnos “Almirante Francisco Moreno”
- Edificio de Aulas “Isaac Peral”
- Cuartel de Dotación “Méndez Núñez”
- Residencia de Suboficiales/Enfermería/Capilla

- Edificio Dirección

2.1.2 Personal

La formación de los alumnos es la razón de ser de la Escuela Naval Militar y, para ello, cuenta con el personal de Tabla 2-1 para llevar a cabo el desarrollo de actividades y mantenimiento de la misma.

Personal	Número
Oficiales	59
Suboficiales	105
Cabos 1	40
Cabos	45
Marineros	106
Civiles	216
TOTAL	571

Tabla 2-1 Personal de la ENM (Autoría propia)

La distribución de los alumnos tiene lugar mediante la asignación de Brigadas, en función del curso en el que se encuentre. Durante el curso escolar 2020/2021, entre los meses de septiembre a diciembre, el número de alumnos fue el indicado en Tabla 2-2:

Brigada	Número
Primera	97
Undécima/Duodécima	44
Segunda	76
Tercera	62
Cuarta	65
Quinta	101
TOTAL	445

Tabla 2-2 Alumnos ENM durante septiembre a diciembre de 2020 (Autoría propia)

Durante el curso escolar 2020/2021, entre los meses de enero a julio, el número de alumnos fue el indicado en Tabla 2-3:

Brigada	Número
Primera	97
Undécima/Duodécima	31
Segunda	76
Tercera	62
Cuarta	64
Quinta	101
TOTAL	431

Tabla 2-3 Alumnos ENM durante enero a julio de 2021 (Autoría propia)

Esta diferencia de alumnos entre esos dos periodos en los que se divide el curso escolar es debido a los Alumnos del Cuerpo de Ingenieros, los cuales sólo realizan en la ENM un periodo de septiembre a diciembre.

Personal	Número
Personal ENM	571
Alumnado	445
TOTAL	1016

Tabla 2-4 Total personal ENM (Autoría propia)

A todo este personal de Tabla 2-4, la ENM ha de ser capaz de proporcionar las condiciones idóneas para que se puedan desarrollar las actividades necesarias, así como, una correcta habitabilidad.

2.2 COVID19

Tras un brote epidémico de neumonía en diciembre de 2019 parece ser que en la ciudad de Wuhan (China) surgió la enfermedad conocida como COVID19. Esta enfermedad llegó a afectar a más de 60 personas en un día mostrando, de esta manera, su facilidad de transmisión.

Tras la llegada de numerosos casos parecidos en un hospital de Wuhan, el Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades (CCDC) comenzó una investigación al respecto.



Figura 2-3 Wuhan, China [3]

Con la llegada de los primeros casos por COVID19 fuera de China, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 30 de enero de 2020 declara una emergencia sanitaria de repercusión mundial, a la que España no es ajena.

A principios de marzo fue declarada como pandemia por la OMS debido a que afectaba ya en más de 100 territorios a nivel mundial. El 26 de marzo de 2020, el número de casos confirmados continuó creciendo hasta alcanzar los 500 mil casos a nivel mundial.

Los gobiernos, con el objetivo de prevenir la expansión y propagación del virus, establecieron ciertas restricciones como confinamientos, aislamientos, cuarentenas, cierre de locales, restricciones de viajes, etc.

Todo esto ha desembocado que esta pandemia genere unas situaciones de incertidumbre, estrés y pánico social.

2.2.1 Síntomas

Entre los síntomas más habituales encontramos la fiebre, tos seca y fatiga.

Por otro lado, encontramos otros no habituales como pueden ser dolor de cabeza, congestión nasal, disminución del olfato, dolor de garganta, tos con esputos, falta de aliento, dolor en músculos o articulaciones, escalofríos, náuseas y/o vómitos, diarrea.

A modo enfermedad encontramos alteraciones de la conciencia, fiebre alta, tos con sangre, dificultades respiratorias evidentes, dolor torácico, pulso irregular y poca micción. Incluso, los casos más graves pueden llegar a desencadenar una neumonía bilateral.

Se ha de destacar que todo tiene lugar de forma muy individualizada, en numerosas ocasiones hay casos positivos que cumplen varias de las mencionadas. Sin embargo, encontramos un grupo de personas que son asintomáticas frente al virus.

La existencia de gente asintomática genera un ambiente de incertidumbre para la contención del virus, siendo la mayor problemática a día de hoy.

2.2.2 Detección

Para la detección destacamos tres formas principales:

- **RT-PCR:** Prueba mas común para detectar la presencia del virus SARS-CoV-2. Estas pruebas se realizan en laboratorios detectando el ARN del virus y tardan varias horas.
- **La prueba de serología:** Detecta la presencia de anticuerpos en el paciente tras su infección. Estas pruebas no sirven para saber si un paciente está infectado en ese momento.
- **La prueba de antígenos:** Detecta algunas proteínas de su cubierta. Estas pruebas son mas baratas y rápidas que la PCR.

2.2.3 Protocolos

Con el fin de reducir los contagios diversas organizaciones como la OMS redactaron una serie de medidas como:

- Lavado de manos a menudo con jabón y agua durante al menos 20 segundos, sobretudo antes de comer, después de estornudar, toser o tocarse la cara. En aquellas ocasiones en donde no se disponga agua y jabón, se usará desinfectante de manos a base de alcohol.
- Mantener una distancia de seguridad de al menos un metro.
- Evitar tocarse los ojos, la boca y nariz.

- En caso de sufrir dificultades respiratorias, fiebre, tos acudir a un médico llamando con antelación.
- En caso de empezar a encontrarse mal, permanecer en casa hasta que se recupere.
- Evitar el contacto con personas enfermas.
- Practicar una buena higiene respiratoria.
- Uso de mascarillas homologada de alta protección que cumpla con la normativa.

2.3 Ventilación en locales

La necesidad de conseguir unas condiciones óptimas para el desarrollo de diferentes actividades en distintas ubicaciones lleva a un análisis de cuáles son estas condiciones.

A todo ello se le llama un “ambiente confortable”; sin embargo, el término “confortable” da lugar a numerosas situaciones debido a que cada persona se encuentra bien bajo unas determinadas condiciones. En general, se puede definir un ambiente confortable como aquel espacio sin corrientes de aire molestas, mínimas fluctuaciones de temperatura, escasas concentraciones de polvos, humos y vapores y suficiente renovación de aire.

Existen distintas formas para llevar a cabo la ventilación, entre las que destacamos la ventilación natural y la ventilación general.

En aquellas situaciones donde la renovación del aire pueda conseguirse, de forma efectiva, mediante la generación de corrientes de aire abriendo ventanas y/o puertas, consideraremos la ventilación natural.

En cambio, en aquellas situaciones donde sea necesaria la renovación de aire para ventilar, se dará uso a la ventilación general. Utilizada en oficinas, aulas, gimnasios o restaurantes, consiste en renovar el aire mediante la extracción o impulsión de aire que se mezcla con el aire del local.

La ventilación general se caracteriza por:

- **Entradas de aire:** Cualquier sistema de ventilación debe de estar dotado de unas entradas y salidas de aire. Es necesario conocer el caudal de salida de aire para generar una compensación con el aire que entra en el local.
- **Distribución de extractores:** Al igual que es de importancia la ubicación uniforme de cada una de las entradas de aire, también lo será las de los extractores. Una distribución uniforme generará un equilibrio en el local en términos de ventilación evitando corrientes de aire molestas.
- **Caudales de ventilación:** Los caudales fijados por el Reglamento de Instalaciones térmicas de Edificios han de considerarse como los mínimos. Para situaciones donde la contaminación aumente, se modificarán los caudales para garantizar su máxima eficacia.
- **Situación de las tomas de aire y descargas:** Dar importancia a que el aire contaminado que se extrae no se vuelva a introducir en el local
- **Distribución del aire:** Conseguir la mejor mezcla posible entre el aire existente en el local y el aire de renovación.

Cuando no se puede garantizar la máxima eficacia, ergo, puedan estar presentes ciertos contaminantes tóxicos que impidan desarrollar tareas, se recurrirá a la llamada extracción localizada. Ésta consiste en colocar una campana de aspiración de aire próxima al lugar donde se produce la emisión contaminante, con el fin de que la corriente de aire creada por la aspiración arrastre el contaminante hacia la campana. Este sistema está compuesto por:

- **Campana:** Parte a través del cual son captados los contaminantes
- **Depurador:** Se encarga de la separación de el contaminante del aire y expulsa únicamente el aire tratado.
- **Conductos:** El aire extraído por la campana cargado de contaminantes circula a través de estos conductos hasta el depurador.
- **Ventilador:** Elemento que proporciona la energía necesaria para que el aire circule a través de la campana, conductor y depurador.

Si incluyendo la extracción localizada es insuficiente para lograr un ambiente con una contaminación por debajo de los límites establecidos de contaminación ambiental, deberá recurrirse a proteger a las personas mediante los equipos de protección individual (EPI) de las vías respiratorias.

Encontramos dos tipos de EPI de las vías respiratorias:

- **Los equipos independientes** del medio son aquellos que proporcionan un aire distinto del local mediante botellas de aire o proveniente del exterior. Estos equipos se usarán cuando existan concentraciones de contaminantes muy elevadas, por productos muy tóxicos o por falta de aire.
- **Las máscaras** que protegen las vías respiratorias mediante filtración del aire. Consiste en un adaptador facial cuya misión es ajustarse a la nariz y la boca, logrando una separación física completa.

2.4 Sistemas de climatización

La climatización consiste en crear unos espacios para el bienestar de las personas mediante unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire.

Ésta comprende tres factores fundamentales: la ventilación, la calefacción y la refrigeración.

2.4.1 Clasificación por el alcance de la instalación

- **Climatización unitaria.** Es aquella que puede hacerse en un solo local. Para calefacción se emplea chimeneas, estufas y, para refrigeración se utiliza un climatizador o acondicionador de ventana. Para ambos casos, los aparatos pequeños tienen menores rendimientos que los aparatos grandes, por lo que, incorporando varios de ellos para distintos locales, desembocará en un consumo mayor de energía que uno solo más potente.

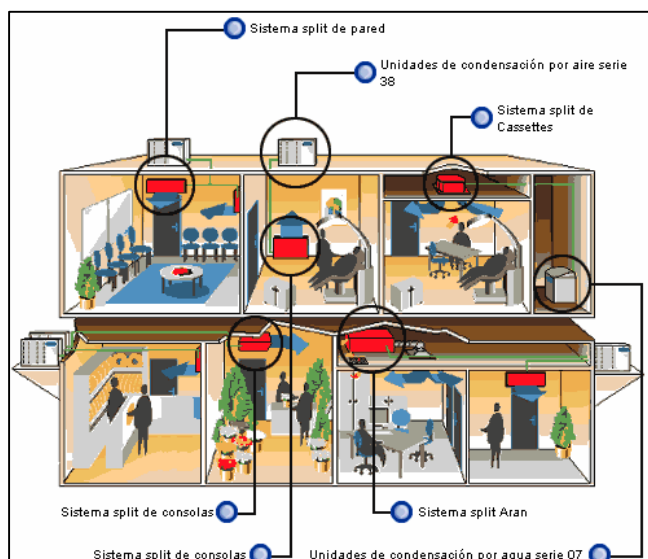


Figura 2-4 Climatización Unitaria [4]

- **Climatización centralizada.** Podemos encontrar dos alternativas: una vivienda o un edificio. Para la calefacción, estos sistemas cuentan con una caldera y una red de tuberías que transportan el calor hasta los radiadores. Para la refrigeración encontramos aparatos formados por un compresor, un condensador y, uno o varios evaporadores. Éstos tendrán rendimientos mayores a los unitarios.

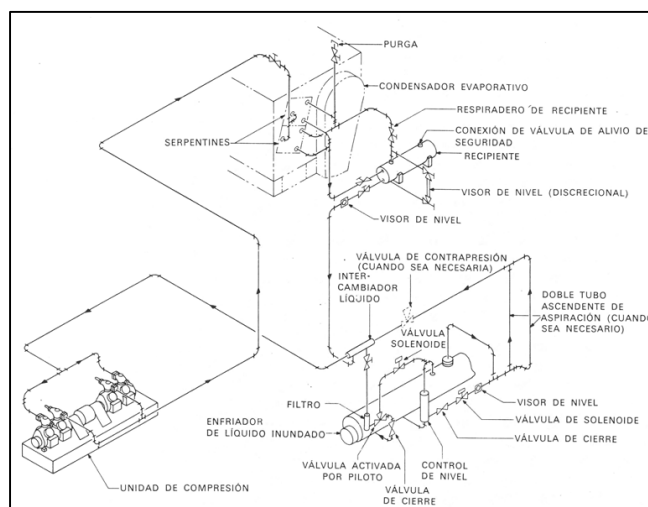


Figura 2-5 Climatización centralizada [4]

2.4.2 Clasificación por el fluido caloportador

- **Sistemas todo aire.** Sistema en el que el aire es utilizado para compensar las cargas térmicas, aire tratado en un climatizador o UTA¹ por medio de conductos e impulsado por rejillas y difusores. Tiene la capacidad para controlar la renovación de aire y la humedad del ambiente. Como es necesario un caudal mínimo de aire para la ventilación, tienen que estar dotados de climatizadores que acondicionan el aire de una zona y distribuye en los locales.

¹ UTA: unidad de tratamiento de aire

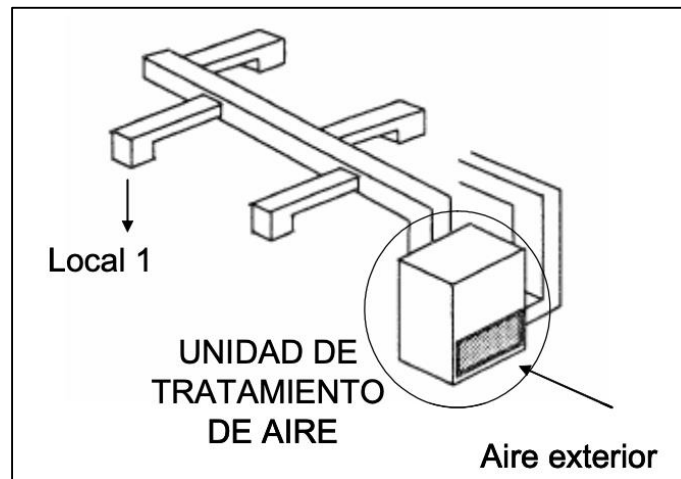


Figura 2-6 Sistema todo aire [4]

- **Sistemas todo agua:** Sistema en el que el agua es el encargado de compensar las cargas térmicas del recinto acondicionado. Cuando se trate de calor (calefacción), se utilizarán los radiadores o suelo radiante y cuando se trate de frío (refrigeración) o ambos se utilizarán fan-coils.²

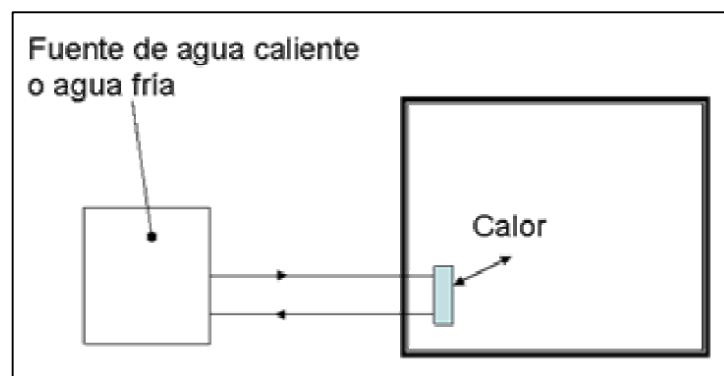


Figura 2-7 Sistema todo agua [4]

- **Sistemas agua-aire:** Sistema en donde tanto el agua como el aire llega para compensar las cargas del local. Además, es el sistema más caro de instalar, pero tiene ventajas como la no recirculación del aire y, por tanto, no habrá recirculación de olores y mejor regulación de los parámetros de cada local.

² Un ventilconvector (en inglés, fan coil unit, o FCU) es un dispositivo relativamente sencillo, consistente en una batería o intercambiador de frío o de calor y un ventilador. Forma parte de los sistemas de climatización en edificios residenciales, comerciales o industriales.

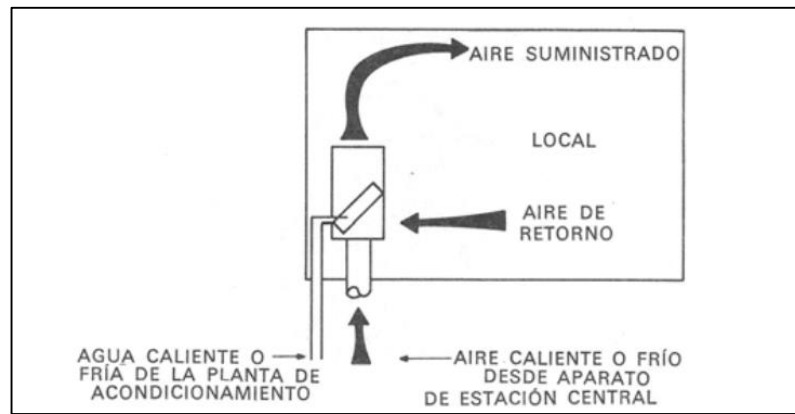


Figura 2-8 Sistema agua-aire [4]

- **Sistemas todo refrigerante:** Sistemas en donde el fluido refrigerante es el encargado de compensar las cargas térmicas del local. Este fluido se lleva por tuberías a los evaporadores situados en los locales a climatizar. Dentro de estos sistemas se pueden incluir los equipos autónomos (split y multisplit).

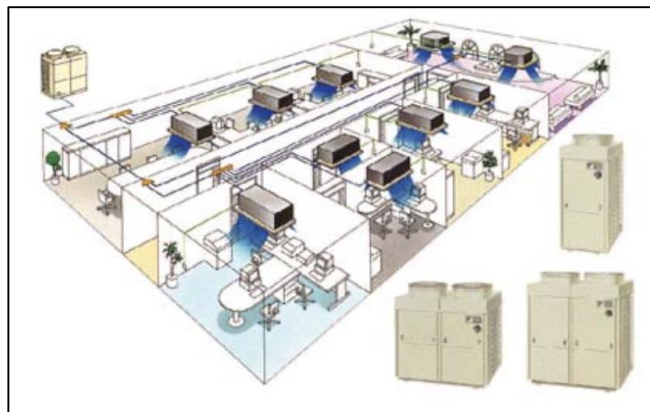


Figura 2-9 Sistema todo refrigerante [4]

3 ESTADO DEL ARTE

A diferencia de los animales, el ser humano a lo largo de toda la historia ha tenido que utilizar el ingenio para adaptarse al medio. La carencia de pelo o plumas ha provocado su continua búsqueda para lograr mantener su temperatura corporal mediante capas o abrigos.

Con el descubrimiento del fuego, el ser humano pudo habitar en zonas con temperaturas más bajas calentando los lugares que ocupaba. El combustible utilizado parece ser distintos restos vegetales y la leña. Sin embargo, el problema del fuego para los humanos es la generación de humos procedentes de la combustión. Si esta combustión se realiza en un espacio cerrado con poca ventilación, puede desencadenar graves problemas, incluso la muerte.

Por tanto, lo más importante en esos momentos era evacuar los humos de la combustión dentro del espacio a calentar. Con todo ello, los precursores fueron los romanos inventando el llamado “Hipocausto”. Esto era un sistema de calefacción que consistía en calentar el suelo mediante un horno que se encontraba en el exterior del edificio y, mediante unas tuberías bajo el suelo se canalizaba el aire caliente. Este tipo de calefacción era de uso en las termas romanas.

Posteriormente, y con origen en el Hipocausto, encontramos un método coreano denominado “Ondol”. Este sistema mantenía la misma distribución de elementos, con la diferencia de que la sala a calentar se hacía por convección.

En la Edad Media se usaba un climatizador que usaba paja como combustible y se quemaba en la boca del hogar, a la entrada de la gloria. Los humos de la combustión circulaban entre el local y el suelo.

Por esos tiempos, incluso antes, ya se encontraron las llamadas chimeneas domésticas. Sin embargo, su uso no se popularizó debido a que nunca fue un sistema de calefacción eficaz. El motivo se debía a que, para calentar ciertos espacios, éste necesitaba de el aire necesario para la combustión y arrastre de humos, siendo necesidad la entrada de aire por ventanas y puertas. Esto provocaba un enfriamiento del local y una pérdida de rendimiento.

El invento de la estufa supuso un avance importante sobre todo en seguridad ya que contaba con un sistema de regulación de entrada de aire con el que se evitaba tener que introducirlo en la sala a calentar. Además, como ventaja, se podía regular la potencia emitida y se podía conseguir temperaturas más altas. Esto desembocaba en un mayor rendimiento a las obtenidas con chimeneas domésticas.

Con la llegada de la Revolución Industrial se desarrolló y empezó a usarse la conducción de fluidos por tuberías, vapor en máquinas motrices y fluidos calentados en calderas³ mediante diversos combustibles sólidos. Esto tuvo su inicio en calefacciones con calderas a principios del siglo XX, siendo la instalación más antigua una caldera de carbón con una red de tuberías y radiadores.

Finalmente, con el paso del tiempo se fue sustituyendo el combustible conforme la tecnología mejoraba, pasando del vapor al agua caliente, el carbón por el gas ciudad y fueloil para, posteriormente, el gasóleo y, para terminar, el gas natural.

3.1 Reglamentos y normas

La actual normativa española (CTE – Código Técnico de la Edificación; RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y Real Decreto 47/2007 de Certificación Energética de Edificios de Nueva Construcción), surgen como consecuencia de las directivas europeas SAVE y EPBD para limitar la emisión de gases de efecto invernadero en lo que respecta a los edificios y así mitigar el calentamiento global y fomentar la eficiencia energética de los edificios. [5]

3.1.1 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

“El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) tiene el objeto de establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.” [6]

“Respecto a la aplicación del RITE se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.” [6]

“Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse, de forma que se cumplan las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que establece este reglamento.” [6]

Se podrán fijar las condiciones interiores de diseño de la humedad relativa y de la temperatura operativa en función de la ropa de las personas, su actividad metabólica y el porcentaje de personas insatisfechas.

En cuanto a estándares, diferenciaremos entre el período de verano y el de invierno. En período de verano se fijarán entre el 45%-60% las condiciones de humedad relativa y entre 23-25 °C la temperatura operativa.

3.1.2 Código Técnico de Edificación (CTE)

“El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la disposición adicional segunda de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).” [7]

En este código encontramos diversos documentos relacionados con el ahorro de energía, que tienen la finalidad de fijar unas normas y procedimientos básicos para el ahorro energético. Entre estos

³ Caldera: artefacto en el que se calienta un caloportador, generalmente agua, por medio de un combustible o resistencia eléctrica, que luego se distribuirá por emisores mediante una red de tuberías.

documentos encontramos uno muy parecido al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), éste es el Documento Básico (DB).

El Documento Básico se apoya en los llamados Documentos de Apoyo (DA), los cuales son:

- **DA DB-HE/1:** Cálculo de parámetros característicos de la envolvente
- **DA DB-HE/2:** Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos
- **DA DB-HE/3:** Puentes térmicos
- **DA Climas referencia:** Documento descriptivo climas de referencia.

3.1.3 Guía para la ventilación de las aulas

La facilidad de transmisión que presenta el COVID19 ha provocado la incorporación de protocolos y medidas con el fin de reducir las probabilidades de contagio. El riesgo cero no existe, por tanto, todas estas medidas reducen el riesgo, pero no lo eliminan completamente.

Entre todas las medidas adoptadas, destacaremos las de reducir las probabilidades de contagio por vía aérea mediante unas condiciones de ventilación adecuada.

Estas medidas, establecidas por el Gobierno de España, han sido elaboradas por el CSIC – IDAEA, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura siendo plasmadas en la “Guía para ventilación en aulas” [1]. Para la realización de esta guía se basaron en la Guía de la Universidad de Harvard [8] y en fuentes y trabajo experimental en ventilación y filtración en España.

Las medidas adoptadas son aplicables a espacios interiores, así como oficinas u otros edificios de uso público, siendo de necesaria aplicación el uso de mascarillas, mantenimiento de distancia y medidas de higiene.

En la guía mencionada se muestra, en primer lugar, un pequeño resumen sobre las medidas que se deben cumplir. Estas son:

- Exterior preferible a interior
- Mejor menos personas
- Aumentar distancia interpersonal
- Silencio y volumen bajo
- Mascarillas bien ajustadas
- Reducir tiempo de exposición
- Ventilar
- Purificar aire: filtrar
- Comprobar midiendo CO2

Centrándonos en la renovación de aire encontramos una nomenclatura que se puede denominar por sus siglas en inglés ACH (Air Changes per Hour). De esta manera, con 1 ACH se consigue remplazar el 63% de aire interior del volumen de una sala, con 2 ACH el 86% y con 3 ACH el 95%.

Como era de esperar, el volumen de la sala, número de ocupantes y sus edades serán factores que determinarán la ventilación necesaria.

Además, tal y como establece la guía elaborada por Harvard “*5 step guide to checking ventilation rates in classrooms*” [8] se recomienda 5-6 renovaciones de aire por hora para aulas de 100 m², con 25 estudiantes de 5-8 años, y propone la siguiente clasificación:

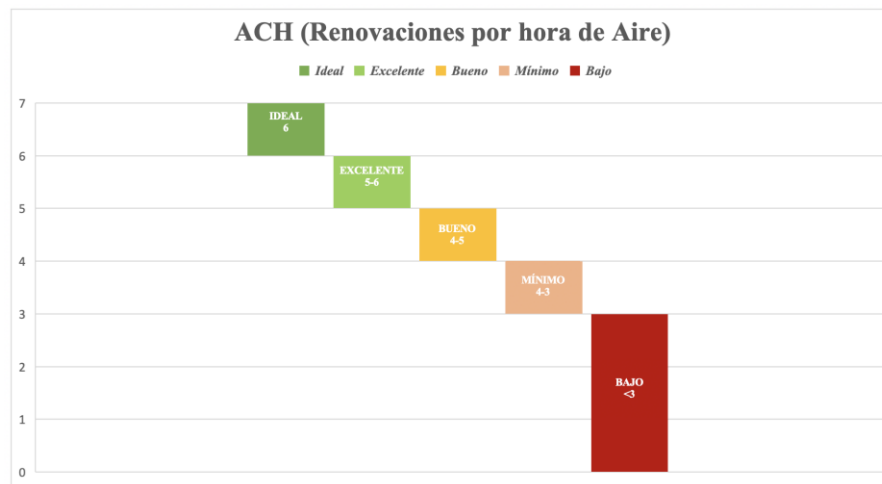


Figura 3-1 Clasificación de ACH (Autoría propia)

Por otro lado, encontramos otra forma de medir la ventilación que es la cantidad de aire que entra del exterior por persona y segundo.

Se establece una cierta relación con ACH y los litros por persona y segundo. Esto es:

ACH = litros por persona y segundo * numero personas * 3600 segundos/hora * 0.001 m3/litro / volumen sala en m3

Con todo ello, un valor adecuado para reducir el riesgo de contagio es 14 litros por persona y segundo. Sin embargo, estos valores se podrán ajustar en función del riesgo que se quiera o que se pueda asumir.

Además, los niveles de CO₂ registrados en espacios cerrados puede utilizarse para medir y calcular la renovación de aire necesaria, siendo las concentraciones CO₂ en un espacio abierto de aproximadamente 420 ppm.

En la Figura 3-2 se puede observar la variabilidad del CO₂ en función de los diferentes escenarios y, en función del número de personas en un aula de 61 m³.

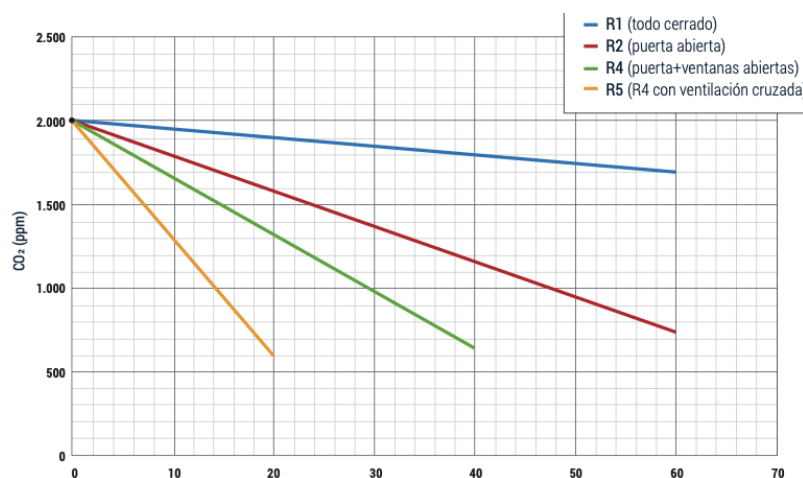


Figura 3-2 Evolución del CO₂ en un aula [1]

En la Figura 3-3 se analiza un aula de 61 m³ con 21 alumnos infantiles y 1 docente.

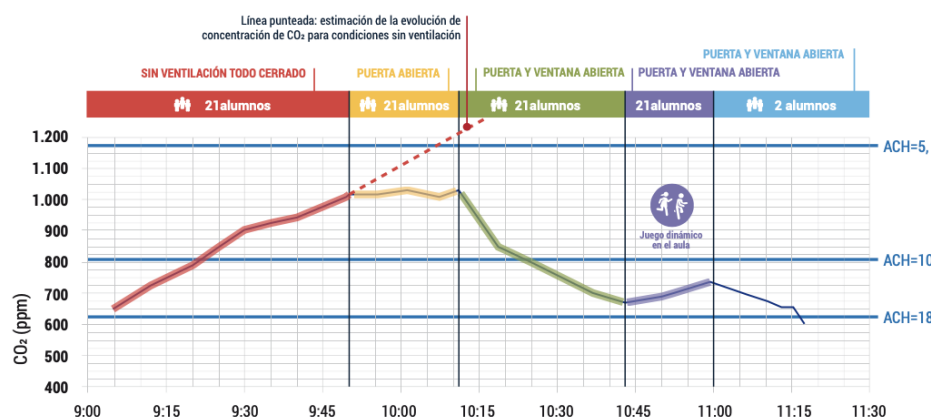


Figura 3-3 Variación CO2 en distintas condiciones [1]

Se puede apreciar cómo aumentan las concentraciones de CO₂ en ausencia de ventilación con el paso del tiempo.

3.2 Simulación térmica de edificios

La información correspondiente a este apartado ha sido obtenida de [5].

La actual normativa española (CTE – Código Técnico de la Edificación; RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y Real Decreto 47/2007 de Certificación Energética de Edificios de Nueva Construcción) ha dado lugar a que se desarrollen distintos programas informáticos para verificar el cumplimiento de esta normativa (LIDER para el cumplimiento del CTE DB HE1) y CALENER (en lo que respecta a la certificación energética de edificios).

Como consecuencia del desarrollo tecnológico actual y su probación por parte de la normativa, se ha generalizado el uso de la simulación del comportamiento térmico/energético de los edificios con ordenadores personales. Esto se debe a que hacer una estimación por ordenador es mucho más económico que hacer una medición real del consumo de un edificio durante años, incluso permite tomar decisiones antes de construir el edificio con el fin de obtener el máximo ahorro.

A todo ello, el fin último de la normativa es conseguir una estimación lo más aproximada posible sobre el consumo esperado de energía primaria (gasóleo, electricidad, gas, etc.) y la cantidad de CO₂ no renovables emitidos.

3.2.1 Objetivos de la simulación térmica de edificios

Tienen la finalidad de estimar el comportamiento térmico de los distintos espacios que forman un edificio y el rendimiento que las máquinas están dando en unas condiciones de trabajo puntuales en cada instante de tiempo, con el fin de integrarlas durante el periodo de tiempo simulado.

Entre los objetivos perseguidos destacamos el de estimar el consumo de energía y la producción de CO₂. Además, existen otros objetivos como analizar diferentes estrategias de control, analizar diferentes comportamientos de máquinas o sistemas de climatización, etc.

3.2.2 Programas de simulación térmica de edificios

En EE.UU, programas como el DOE2 (de EE.UU.) surgieron como resultado de la inversión lenta pero constante de la administración americana desde 1970. De la misma época es el BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) que fue encargado al NIST (EE.UU.).

Una gran parte de ellos se empezaron a programar con lenguaje como el FORTRAN, que han evolucionado hacia un lenguaje más similar a C++ o JAVA y están orientados a objetos. Otros programas como el TRNSYS (Transient Simulation of Systems) de la Universidad de Wisconsin-Madison (EE.UU.) tuvieron y tienen un ámbito de existencia universitario y no estaban orientados inicialmente hacia la productividad o la industria por su origen universitario, aunque recientemente se han creado aplicaciones para generar los modelos-D con mayor facilidad y productividad (SimCAD). Lo mejor de DOE2 y BLAST se unió en un nuevo programa llamado Energy-Plus. [5]

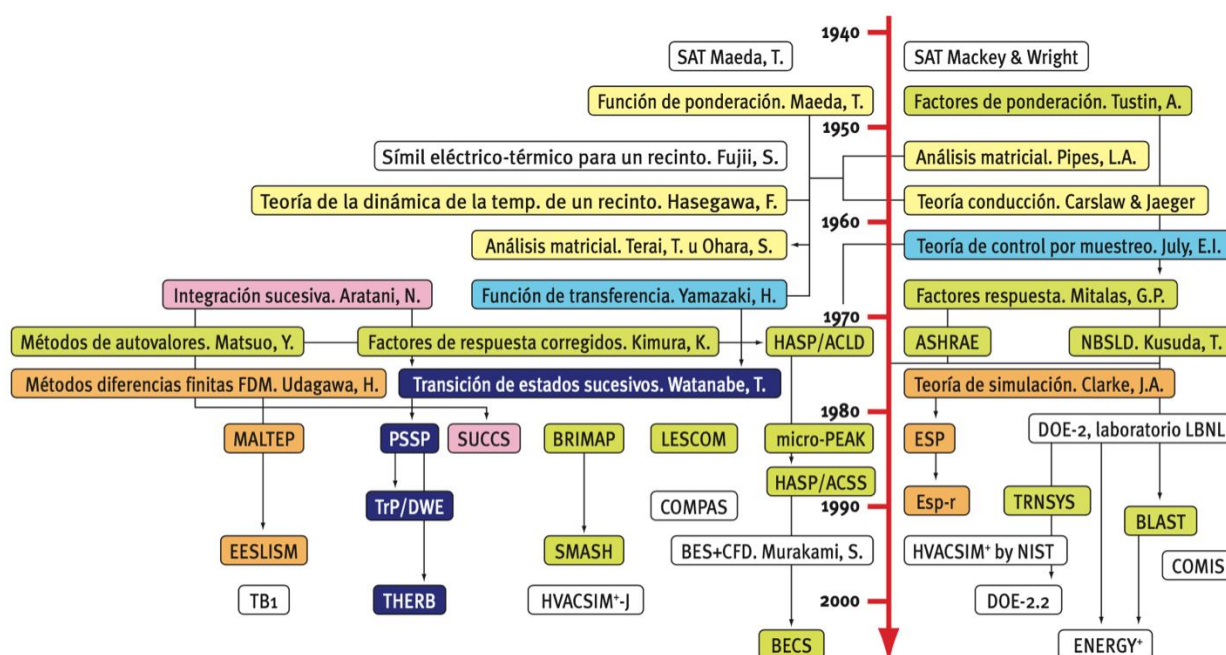


Figura 3-4 Ejemplos de métodos, autores y programas en el tiempo [5]

Europa no dispone, por ahora, de una organización que centralice y desarrolle este tipo de software al modo americano. Existen diversos programas con enfoques comerciales, libres, código abierto, etc. realizados de forma autónoma por algunos de los estados miembros. Entre ellos están: Dinamarca (BSIM del Instituto Danés para la investigación en edificios), Inglaterra (ESP-r de la universidad de Strathclyde), en Glasgow, cuyo código es abierto, o Suecia (IDA-ICE). Además, existen empresas que producen programas comerciales para la introducción del modelo-D de forma cómoda en programas americanos de código abierto. Por ejemplo, el IISIBAT, del instituto para la edificación francés CSTB que utiliza como núcleo de cálculo el TRNSYS, o el “Design Builder” en Inglaterra, que ayuda a generar el fichero .idf que usa el EnergyPlus americano. [5]

3.2.3 Simulación térmica a través de los modelos matemáticos

A modo general, una simulación consiste en predecir el comportamiento cronológico de un objeto físico en un ordenador. Tradicionalmente, esta cronología se conseguía mediante un tiempo de muestreo fijo. Sin embargo, actualmente existe una tendencia hacia lo que se llama simulación por eventos discretos (DEVs). Se ha demostrado que esta forma de simulación engloba a la anterior como un caso particular.

Los programas de simulación se organizan de la siguiente manera:

- **Pretratamiento:** Consiste en la representación del objeto a simular mediante un modelo-D. Esta etapa se llevará a cabo mediante el uso de programas de CAD. Sin embargo, es una etapa costosa por su tamaño en tiempo y requiere de conocimientos previos.
- **Simulación:** Consiste en la generación de un modelo-S informático y/o informático que simule el comportamiento. Contiene toda aquella información específica obtenida del modelo-D y puede llevar un registro de toda aquella información estadística deseada y cadencia requerida.
- **Postratamiento:** Consiste en la representación de los resultados finales. En ocasiones, puede ocurrir que el modelo-D carezca de cierta información del modelo real y que el modelo-S no utilice toda la información del modelo-D

3.2.4 Formación del modelo-D geométrico

La formulación matemática para problemas físicos ha evolucionado bastante, consiguiendo ciertas unificaciones de conceptos matemáticos que antes estaban separados. Esto está desembocando en que la formulación de las ecuaciones físicas para el cálculo por ordenador esté sufriendo un importante cambio.

Día a día, la relación entre la geometría y la física es más intensa. Es por ello que se haya descubierto una nueva generalización llamada álgebra geométrica, en donde, los números, no sólo tienen dimensión, también cuentan con un sentido interno.

Por tanto, existen dos tipos de objetos con los que el hombre realiza un modelo de naturaleza, por un lado, objetos físicos que están relacionados con magnitudes intensivas (por metro cuadrado, por metro cúbico, etc.) y los objetos geométricos que miden cantidades de geometría de un cierto tipo y con cierta orientación.

Para llevar el proceso al límite, los modelos matemáticos dividen la realidad en cantidades ínfimas. Sin embargo, los cálculos por ordenador se hacen con cantidades discretas y, entonces, para reducir los tiempos de cálculo y la necesidad de memoria se reduce el espacio definido.

A todo ello, un programa de simulación térmica de edificios trata de estimar las aportaciones de energía y masa a un volumen, con el fin de mantener unas condiciones de confort. De ahí la importancia de la masa de aire húmedo como magnitud principal en los programas de simulación actuales.

Se deben definir, también, los límites del volumen a estudio. Para estos límites se utiliza las superficies de los cerramientos de un local o conjunto de ellos.

Posteriormente, se debe asignar algún objeto físico (flujos de calor, etc.) a cada trozo de superficie que limita el volumen y, de esta manera, obtener cantidades absolutas.

En el caso de el programa ENERGYPLUS, a la hora de asignar objetos físicos a superficies, utiliza un concepto muy similar a los conceptos físico-matemáticos.

Sin embargo, DOE2, no usa esa asignación matemática porque considera la superficie siendo una representación simplificada del objeto real.

3.2.5 Formación del modelo-D físico

Para intentar responder cómo se evalúan los objetos físicos que actúan sobre objetos geométricos se suelen tomar ciertas hipótesis. Las ecuaciones físicas se resuelven por algún medio y se evalúan en el modelo-S generado sobre los elementos geométricos del modelo-D.

En el caso de muros, la transmisión de calor se supondrá una conducción unidimensional y perpendicular a la pared. Para puentes térmicos la conducción se supondrá bidimensional y la densidad de flujo de calor se refiere al metro lineal de dicho elemento.

Un modelo físico se dice que es lineal cuando la suma de dos soluciones es otra solución. Para modelizar la relación entre el cambio de temperatura y flujo de calor se hace uso de unas relaciones en sistemas lineales llamadas “función de transferencia”

Con el fin de simplificar el número de funciones de transferencia se suele suponer un modelo fijo para la convección en el interior de locales y despreciar el efecto de los locales más lejanos.

Aunque los muros, forjados o mobiliarios acumulen energía, se suele despreciar esa capacidad de almacenamiento de energía. De esta manera, el flujo de calor por conducción a ambos es el mismo, en cada instante.

3.3 Trabajos de Fin de Grado relacionados

Analizar las envolventes térmicas de los edificios de la Escuela Naval militar permiten trabajar con un enfoque más directo. En concreto, a lo relacionado con la simulación de los edificios debido a su estudio previo en cuanto a cerramientos, horarios, movimientos de personal, etc.

Entre los trabajos realizados se menciona los siguientes:

- El Trabajo de fin de Grado realizado por el ahora TN. Díaz del Río Olega tenía el fin de realizar un estudio económico y técnico sobre el sistema de climatización existente en el Cuartel Almirante Francisco Moreno para sustituirlo. Optando, finalmente, por un sistema basado en una bomba de calor hidrotérmica que utilizaría como foco de calor el agua del Mar, dando unas eficiencias considerables.
- El Trabajo de fin de Grado realizado por el, ahora, TN. Fernández-Bravo Casado tenía como objetivo confeccionar un modelo térmico del edificio del Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar y realizar una comparativa entre los datos teóricos obtenidos mediante la simulación y los datos reales de consumos y temperaturas. Resultando que el funcionamiento de la bomba de calor para la climatización se corresponde con el orden de magnitudes obtenidas con la simulación, por tanto, se demostró el buen funcionamiento del modelo térmico.
- El Trabajo de fin de Grado realizado por el, ahora, TN. Rubiera Quesada, que constituye la continuación de [9], consistió en calcular las necesidades térmicas de la instalación en cumplimiento de los códigos técnicos y normativas. Finalmente, se realizó un estudio económico con el fin de comparar la actual instalación de caldera de gas con la que se instalaría dando como resultado unos cálculos de amortización.
- El Trabajo de fin de Grado realizado por el, ahora, TN. Magadán Tomás tenía como objetivo el análisis de la demanda energética en función de la envolvente térmica del cuartel Almirante Francisco Moreno de la Escuela Naval Militar.

- El Trabajo de fin de Grado realizado por el, ahora, AN. Sánchez-Ferragut Guitart tenía como objetivo proponer medidas que mejoren el rendimiento energético térmico del edificio Isaac Peral.
- El Trabajo de fin de Grado realizado por el, ahora, AN. Gómez Zamar consistió en estudiar el sistema de climatización híbrido que dispone el edificio de laboratorios del Centro Universitario de la Defensa.

Conocer e interpretar los resultados de sus simulaciones obtenidas en sus trabajos será objeto de interés para el desarrollo del presente proyecto.

3.4 Software análisis energético

La simulación por ordenador puede abarcar diferentes procesos que incluyen cerramientos, tipos de ventanas y puertas, selección de cargas y equipos, estimaciones de cargas o modificaciones del edificio. Sin embargo, llegar hasta un modelado perfecto resulta impensable, ya que suele tener ciertas imprecisiones dependiendo de la información disponible sobre el edificio y su variación con la realidad.

3.4.1 AutoCAD

Programa de diseño asistido por ordenador, desarrollado y comercializado por Autodesk, utilizado para el dibujo y diseño en 3D y 2D.

En sus inicios, recibió el nombre de “Interac” en donde sus primeras versiones sólo permitían el uso de entidades primitivas como polígonos, círculos, líneas, arcos y textos para la construcción. Finalmente, la versión moderna admite numerosas interfaces para la automatización, personalización y compatibilidad.



Figura 3-5 Logo de AutoCAD [10]

3.4.2 Sketchup

Programa de diseño gráfico, desarrollado por Last Software (Empresa de Google) en 2006, que permite el modelado en tres dimensiones (3D). Este programa tiene aplicación en entornos de videojuegos, películas, arquitectura, diseño industrial, etc.

El programa tiene como principal característica la realización de diseños y modelados en 3D de manera sencilla. Incluye tutoriales que pueden usarse como ayuda y como referencia. Nos permite, además, conceptualizar y modelar imágenes en 3D de cualquier tipo de objeto.

Los diferentes “plugins” que ofrece el programa es una característica importante ya que permite cambiar la funcionalidad. Entre ellos destacamos el conocido como “Trnsys”, importante para la realización de este proyecto, el cual permite modelar el objeto diferenciando diversas zonas térmicas, zonas de sombras.



Figura 3-6 Logo de Sketchup [11]

3.4.3 Trnsys

Programa de simulación, desarrollado en la Universidad de Wisconsin, usado en los campos de energías renovables y simulación de sistemas solares.

La primera versión pública de TRNSYS fue desarrollada en el año 1975 para el estudio de sistemas con energía solar y se ha ido desarrollando a través de distintos centros de investigación de EEUU, Alemania, Francia y otros países. En la actualidad, TRNSYS es una potente herramienta de cálculo que permite la resolución transitoria de cualquier tipo de sistema y aunque se centra en la evaluación del comportamiento térmico y eléctrico de sistemas, TRNSYS puede simular otros procesos transitorios como el tráfico de vehículos o procesos biológicos. [12]

Atendiendo a sus partes, TRNSYS se compone de dos partes. La primera es un motor (denominado kernel) que lee y procesa el archivo de entrada, de manera iterativa resuelve el sistema, determina la convergencia, y visualiza las variables del sistema. El kernel también ofrece utilidades para determinar las propiedades termofísicas, invertir matrices, realizar regresiones lineales, y la interpolación de archivos de datos externos. [12]

“La segunda parte de TRNSYS es una amplia biblioteca de componentes, cada componente modela el rendimiento de una parte del sistema. La biblioteca estándar incluye aproximadamente 150 modelos que van desde bombas a edificios multizona, pasando por turbinas de viento, electrolizadores, procesadores de datos meteorológicos, rutinas de economía o equipos básicos de climatización con las nuevas tecnologías emergentes. Los modelos se construyen de tal manera que los usuarios pueden modificar los componentes existentes o escribir su propio componente, extendiendo las capacidades del entorno.” [12]

“Además, TRNSYS incluye las bibliotecas estándar con muchos de los componentes que se encuentran comúnmente en sistemas energéticos, así como rutinas para manejar datos meteorológicos, procesamiento de radiación solar, equipo básico de climatización, pilas de combustible, tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas, almacenamiento térmico, acoplamiento a otras herramientas de simulación y procesamiento de los resultados de las simulaciones.” [12]



Figura 3-7 Logo de Trnsys [12]

3.4.4 OpenStudio

Colección de herramientas de software para soportar el modelado energético de edificios mediante el uso de EnergyPlus. Por lo general, su uso viene determinado como complemento en Sketchup, ResultsViewer, etc. En concreto, su uso en el programa Sketchup permite crear las geometrías necesarias para EnergyPlus.



Figura 3-8 Logo de OpenStudio [13]

3.4.5 EnergyPlus

Programa de simulación energética para simular a nivel energético como el uso de agua en edificios. Fue desarrollado en 1996 en EEUU por el Departamento de Energía (DOE).

El objetivo del programa es desarrollar y organizar herramientas de software en módulos que pueden trabajar fácilmente juntos o por separado. No existe una interfaz visual que permita a los usuarios ver y conceptualizar el edificio. Este programa permite implementar la transferencia de aire, humedad y calor, incluido el tratamiento de la transferencia de calor por radiación y convección por separado para respaldar el modelado de sistemas radiantes y el cálculo de métricas de confort térmico; calcular la iluminación, el sombreado y las métricas de confort visual; admite configuración flexible a nivel de componentes de HVAC, plantas y sistemas de refrigeración; incluye un gran conjunto de modelos de HVAC y componentes de planta; simula pasos de tiempo por debajo del horario para manejar dinámicas rápidas del sistema y estrategias de control; y tiene una interfaz externa programable para modelar secuencias de control e interactuar con otros análisis.



Figura 3-9 Logo de EnergyPlus [14]

3.4.6 Meteonorm

Programa desarrollado por Jan Remund y Stefan Kunz en 2003 que consiste en la obtención de datos meteorológicos para su utilización en diferentes programas de simulación.

Actualmente cuenta con mas de 18 años de experiencia y permite al usuario obtener referencias meteorológicas de fácil manejo. Este programa es útil para ingenieros, arquitectos, maestros o interesados en energía solar y climatología.

El programa cuenta con datos climáticos de 7.400 estaciones meteorológicas, dando uso a parámetros como radiación, temperatura, humedad, precipitación, días con lluvia, velocidad y dirección del viento.



Figura 3-10 Logo de Meteonorm [15]

4 ESTUDIO ENERGÉTICO

4.1 Edificios objeto de estudio

La Escuela Naval Militar se encuentra al Noroeste de la Península Ibérica. Concretamente en la costa Sur de la ría de Pontevedra, en la localidad de Marín (42,3713N, 8,6956W).

Los edificios a estudio serán todos aquellos que hayan supuesto un cambio destacable en sus consumos energéticos debido a los protocolos COVID impuestos durante el curso 2020/2021.

A continuación, se pasará a indicar los edificios a analizar, su ubicación, características y las divisiones en zonas térmicas para la simulación.



Figura 4-1 Ubicación Escuela Naval Militar (Autoría propia)



Figura 4-2 Puerta de la Escuela Naval Militar (Autoría propia)

4.1.1 Definición de Zona Térmica

El factor determinante que existe entre el modelado geométrico y la simulación será la definición de las zonas térmicas. La división en zonas térmicas de un edificio se hará acorde a las distintas temperaturas que puede encontrarse en un edificio. Si por el caso, la temperatura se mantiene constante en un solo ambiente, se considerará como una única zona térmica.

Asimismo, durante la creación de las distintas zonas hay que tener en cuenta lo siguiente:

1. Las ventanas quedaran definidas cuando se dibujen a cierta altura del suelo. Si, por el contrario, quedan enrasadas con el suelo, no tendrán la consideración de ventanas.
2. De la misma manera, para la definición de las puertas, se dejará una mínima distancia entre el borde inferior de la zona y el comienzo del hueco de aproximadamente 0,01m
3. Finalizado, el diseño del edificio en conjunto con las zonas térmicas, es de importancia cambiar el nombre de las zonas, puesto que vienen por defecto con un código preestablecido por el programa.

Para la división en zonas térmicas se ha diferenciado entre edificios suministrados con gas natural y los suministrados con gasóleo “C”. De esta manera, y en función de la especificidad de los datos proporcionados por el departamento de la ENM, se ha hecho la división mostrada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Tabla 4-1 y Tabla 4-2.

En concreto, los edificios suministrados por gas natural quedan divididos en sus diferentes plantas y habitaciones ya que se conoce de forma real el consumo de cada edificio y se puede realizar un estudio mas específico de cada uno de sus espacios.

- **El edificio Isaac Peral** queda dividido en sus diferentes aulas ya que, el hecho de cerrar la puerta, supone un cambio de temperatura entre el pasillo central y el aula en cuestión.
- **El cuartel Almirante Francisco Moreno** queda dividido en sus diferentes alas debido a la comunicación abierta que hay entre ellas. Se diferencian las alas con los hall's debido a las puertas que hay entre ellos. La biblioteca queda diferenciada debido a la permanencia de las puertas cerradas.

Por otro lado, los suministrados por gasóleo “C” se ha hecho la división por plantas, independientemente de las distintas habitaciones ya que se desconoce el consumo real de cada edificio; sólo se conoce el consumo global de los edificios con gasóleo “C”.

- El **cuartel Méndez Núñez** queda dividido en cada una de sus tres plantas ya que en este caso no interesa conocer los consumos en cada uno de las habitaciones ya que se carece de el valor del consumo real del edificio. Sólo se conoce una aproximación calculada en la Figura 4-28 y el objetivo es analizar el edificio en su conjunto.
- El **cuartel Marqués de la victoria** queda dividido en cada una de sus tres plantas por el mismo motivo que el cuartel Méndez Núñez.
- Por último, **el Patio de Aulas**, su división recoge el mismo motivo que los cuarteles Méndez Núñez y Marques de la Victoria. Sin embargo, al contar con distintas zonas separadas, se ha propuesto la división en sus distintas zonas, diferenciando entre planta baja y primera planta. Para las aulas que queden aisladas como el Bazar y el aula 13, se ha decidido separar en distintas zonas térmicas. Con todo ello, se analizará el Patio de Aulas en su conjunto a pesar de su división.

Edificio	Zonas Térmicas	Denominación en el plano
Cuartel Fco. Moreno	Hall Planta baja	Z1
	Biblioteca	Z2
	Hall Primera Planta	Z3
	Ala Norte Primera Planta	Z4
	Ala Sur Primera Planta	Z5
	Hall Segunda Planta	Z6
	Ala Norte Segunda Planta	Z7
	Ala Sur Segunda Planta	Z8
Edificio Isaac Peral	Laboratorio de Física y Química	Z1
	Hall Primera Planta	Z2
	Aula 43	Z3
	Aula 45	Z4
	Aula 42	Z5
	Laboratorio Auxiliares	Z6
	Aula 44	Z7
	Laboratorio Turbinas	Z8
	Laboratorio Motores	Z9
	Laboratorio Materiales	Z10
	Sala de reuniones	Z11
	Hall Planta Baja	Z12
	Laboratorio Electricidad	Z13
	Aula 50	Z14
	Aulas 51-53-55	Z15
	Aula 52	Z16
	Aula 54	Z17
	Aula 57	Z18
	Aula 56	Z19

Tabla 4-1 Resumen división de edificios de Gas natural en zonas térmicas (Autoría propia)

Edificio	Zonas Térmicas	Denominación en el plano
Cuartel Méndez Núñez	Planta baja	Z1
	Primera planta	Z2
	Segunda planta	Z3
Cuartel Marqués de la Victoria	Planta baja	Z1
	Primera planta	Z2
	Segunda planta	Z3
Patio de Aulas	Aulas 1 y 2	Z1
	Aulas 9, 10, 16 y 15	Z2
	Aulas 20, 19, 18, 17 y Biblioteca	Z3
	Bazar	Z4
	Aula 14	Z5
	Aula 21	Z6
	Aulas 3, 4 y 5	Z11
	Aulas 8, 7, 6, 11, 12 y SIMTAC	Z22
	Despachos Oficiales	Z33
	Simulador de navegación	SIMNAV
	Departamento de Infantería	D. INF
	Aula 13	A.13

Tabla 4-2 Resumen división de edificios de Gasóleo “C” en zonas térmicas (Autoría propia)

4.1.2 Edificio Isaac Peral

El edificio Isaac Peral es uno de los edificios de la Escuela Naval Militar que tiene como función principal la de permitir a los profesores civiles y militares impartir su labor docente. Cuenta con aulas y laboratorios en los que se imparten las clases y se realizan prácticas.

En su concepción, este edificio estaba destinado a contener única y exclusivamente las aulas especializadas o laboratorios. Sin embargo, su uso se ha extendido para dar lugar a lo que encontramos hoy en día.

Actualmente, el edificio tiene uso desde las 0815, con un paso de mas de 300 alumnos, hasta las 1400. Desde entonces, tiene lugar un parón de las clases hasta las 1600 donde vuelven a retomar, finalizando a las 1830.

El edificio se encuentra en el punto medio del muelle Almirante Vierna, punto de atraque del Patrullero “Tabarca” y el Buque de Salvamento y Rescate “María Pita”.



Figura 4-3 Vista aérea Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

El uso del software informático MEOTEONORM permitirá importar los datos de radiación solar recibida en su zona durante el año ya que es una zona muy influenciada por la humedad, temperaturas y nubosidad.

4.1.2.1 Características geométricas

Debido a la falta de archivos en la Escuela Naval Militar se han decidido utilizar las siguientes aproximaciones.

Los materiales fijados para los cerramientos parten de una librería preestablecida del propio programa, teniendo en cuenta siempre los límites de conductividad térmica que están establecidos en CTE.

Según lo establecido CTE la zona climática de una localización se define a partir de la combinación de las severidades climáticas de invierno (A, B, C, D, E) y de verano (1, 2, 3, 4, 5), siendo A menor severidad que E y 1 menor que 4.

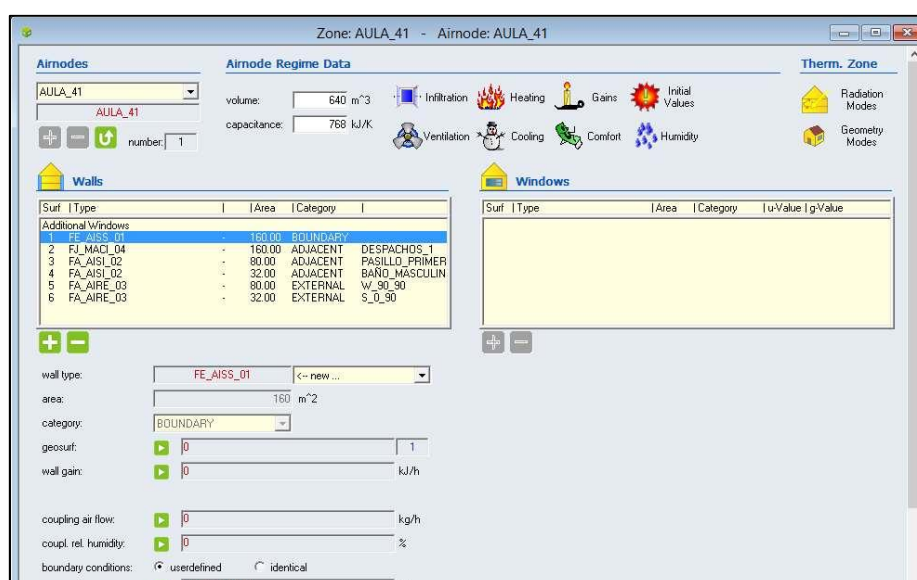


Figura 4-4 Cerramientos Isaac Peral [16]

Estos límites dependen de la zona climática en la que se ubique el edificio y, para el caso concreto del edificio Isaac Peral, la zona climática a la que pertenece es la C. La climatización del edificio solo se va a realizar en invierno, ergo, solo es destacable la caracterización en invierno.

4.1.2.2 Zonas térmicas

Para el estudio y el análisis de el balance energético, los programas de simulación requieren de la división del edificio en zonas térmicas. La división del edificio Isaac Peral para la planta baja se puede apreciar en Figura 4-5.



Figura 4-5 Plano Planta Baja Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

Encontramos 10 zonas térmicas:

- La zona 1 se corresponde con el laboratorio de Física, laboratorio de química, aula 40 y aula 41
- La zona 2 se corresponde con el hall y pasillo de la planta baja
- La zona 3 se corresponde con el aula 43
- La zona 4 se corresponde con el aula 45
- La zona 5 se corresponde con el aula 42
- La zona 6 se corresponde con el laboratorio de aparatos auxiliares
- La zona 7 se corresponde con el aula 44
- La zona 8 se corresponde con el laboratorio de turbinas
- La zona 9 se corresponde con el laboratorio de motores
- La zona 10 se corresponde con el laboratorio de materiales

La división del edificio Isaac Peral para la planta alta se puede apreciar en Figura 4-6.

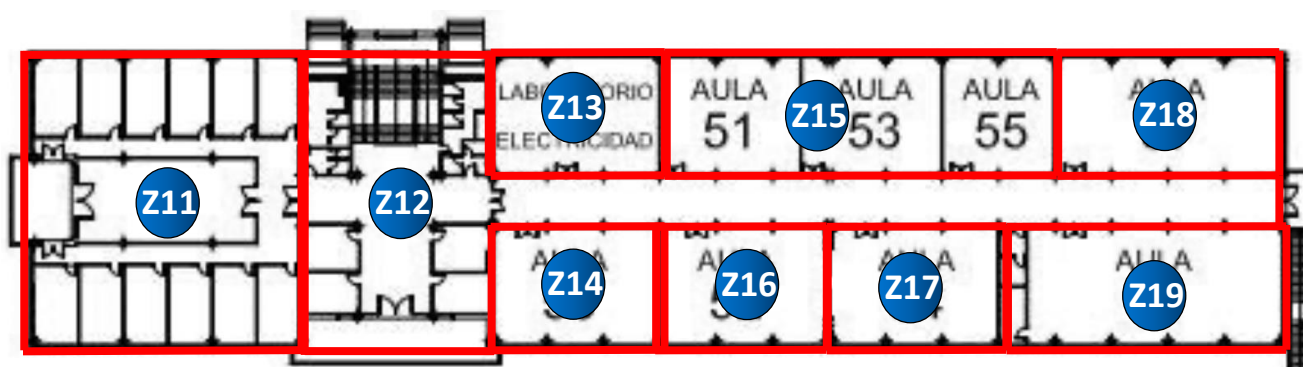


Figura 4-6 Plano Planta Alta Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

Encontramos 9 zonas térmicas:

- La zona 11 se corresponde con la sala de reuniones
- La zona 12 se corresponde con el hall y pasillo de la primera planta

- La zona 13 se corresponde con el laboratorio de electricidad
- La zona 14 se corresponde con el aula 50
- La zona 15 se corresponde con las aulas 51, 53 y 55
- La zona 16 se corresponde con el aula 52
- La zona 17 se corresponde con el aula 54
- La zona 18 se corresponde con el aula 57
- La zona 19 se corresponde con el aula 56

4.1.3 Cuartel “Almirante Francisco Moreno”

El Cuartel Almirante “Francisco Moreno” es uno de los edificios de la Escuela Naval Militar que tiene como función principal la de alojar a los alumnos. Con una forma de H, el cuartel cuenta con habitaciones compartidas de cuatro personas y unos estudios con capacidad para ocho personas. Como la construcción es de 1986, la normativa de edificación en la que se basa es anterior al Documento Básico de Ahorro de Energía del actual CTE.

El edificio está compuesto por tres plantas; la primera de ella se compone de el hall que contiene espacios específicos para que tenga lugar las guardias de los alumnos. Además, en esta planta se encuentra la biblioteca “Gabriel Císcar y Císcar” punto de interés de este trabajo.

La primera planta como la segunda planta son idénticas, y cada planta queda dividida en dos alas; ala Norte y ala Sur. cada Ala cuenta con un total de 44 habitaciones y 11 estudios, por tanto, se consigue una habitabilidad de 176 personas por planta. El edificio cuenta con un tatami situado en la cara Norte ubicado en la planta bajo, debido a la carencia de una instalación de calefacción, no será objeto de estudio. En la zona posterior del edificio, se encuentran las salas destinadas a proporcionar servicios de calefacción, agua caliente y electricidad.



Figura 4-7 Vista aérea Cuartel "Almirante Fco. Moreno " (Autoría propia)

4.1.3.1 Características geométricas

Respecto a los materiales constructivos de los cerramientos se ha hecho uso del Pliego de Condiciones Técnicas en donde refleja, literalmente, lo siguiente:

- Paredes exteriores

“Los materiales que componen las fachadas del edificio, tendrán cámara de aire siendo de ladrillo macizo en la planta baja y de ladrillo hueco en las plantas 1a y 2a. Tendrán revestimiento de granito tipo “amarelho33” recibido con mortero de cemento”.

- Paredes interiores

“Las paredes interiores, serán también de ladrillo macizo en la planta baja y ladrillo hueco en las plantas 1a y 2a. Los tabiques, serán sencillos de ladrillo hueco tomado con yeso. El hall principal de la planta baja, llevará parte de sus paredes chapadas en granito pulido”.

- Entresuelo

“Los forjados de pisos y techos serán de tipo aligerado, compuestos de material cerámico hueco, suela cerámica pretensada y nervios de hormigón armado”.

- Ventanas

“La cristalería será de luna securizada de 6 mm con marcos de ventanas y ventanales de aluminio. Las ventanas tienen dos hojas correderas”.

- Puertas exteriores

“Las puertas exteriores de emergencia son de aluminio”.

En la Tabla 4-3 puede apreciarse un resumen sobre las características de los cerramientos anteriormente mencionados.

Cerramientos	Material	Grosor	Grosor total
Suelo	Terrazo	3 cm	42,5 cm
	Mortero	1,5 cm	
	Hormigón armado	38 cm	
Pared Exterior	Mortero	1,5 cm	10,2 cm
	Ladrillo hueco	5 cm	
	Cámara de aire	10 cm	
	Ladrillo hueco	5 cm	
	Mortero	1,5 cm	
	Granito	2 cm	
Pared Interior	Yeso	0,1 cm	25 cm
	Ladrillo hueco	10 cm	
	Yeso	0,1	
Ventana	Cristal simple claro	0,6 cm	0,6 cm

Tabla 4-3 Cerramientos del cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría Propia)

4.1.3.2 Zonas térmicas

La división del cuartel Almirante Francisco Moreno para la planta baja se puede apreciar en la Figura 4-8.

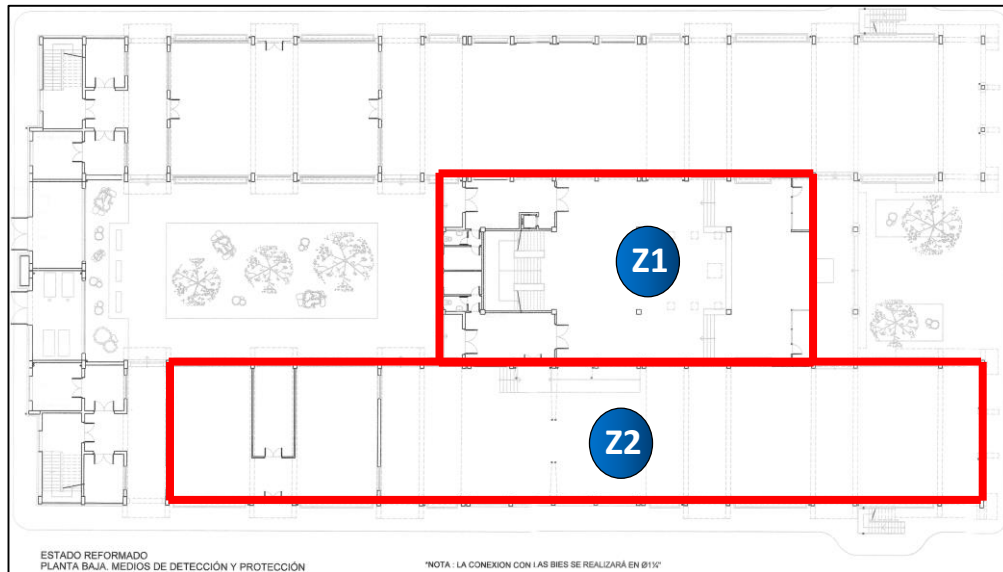


Figura 4-8 Planta Baja Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

Encontramos 2 zonas térmicas:

- La zona 1 se corresponde con el hall de la planta baja
- La zona 2 se corresponde la Biblioteca

La división del cuartel Almirante Francisco Moreno para la primera planta se puede apreciar en la Figura 4-9.

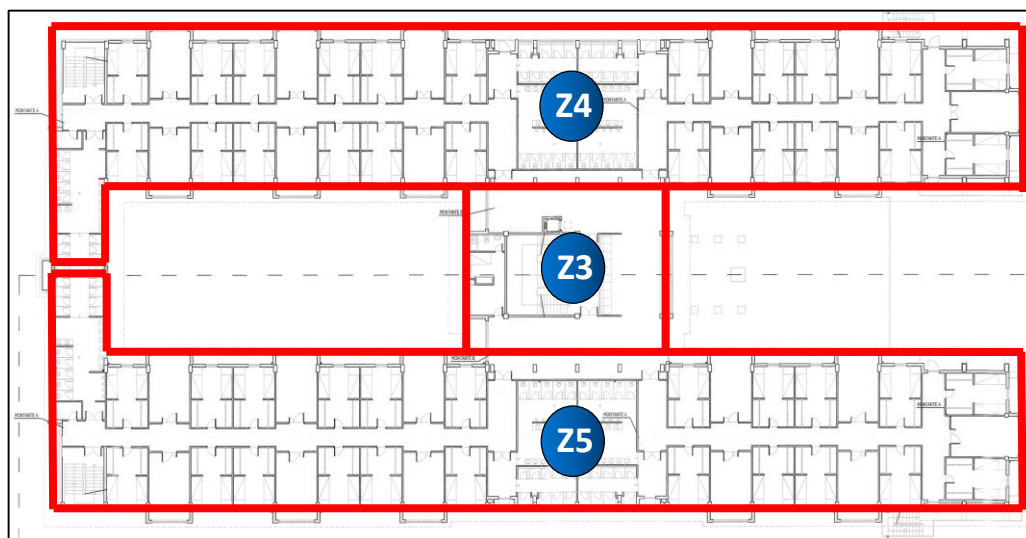


Figura 4-9 Primera Planta Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

Encontramos 3 zonas térmicas:

- La zona 3 se corresponde con el hall de la primera planta
- La zona 4 se corresponde con el ala norte de la primera planta
- La zona 5 se corresponde con el ala sur de la primera planta

La división del cuartel Almirante Francisco Moreno para la segunda planta se puede apreciar en la Figura 4-10.

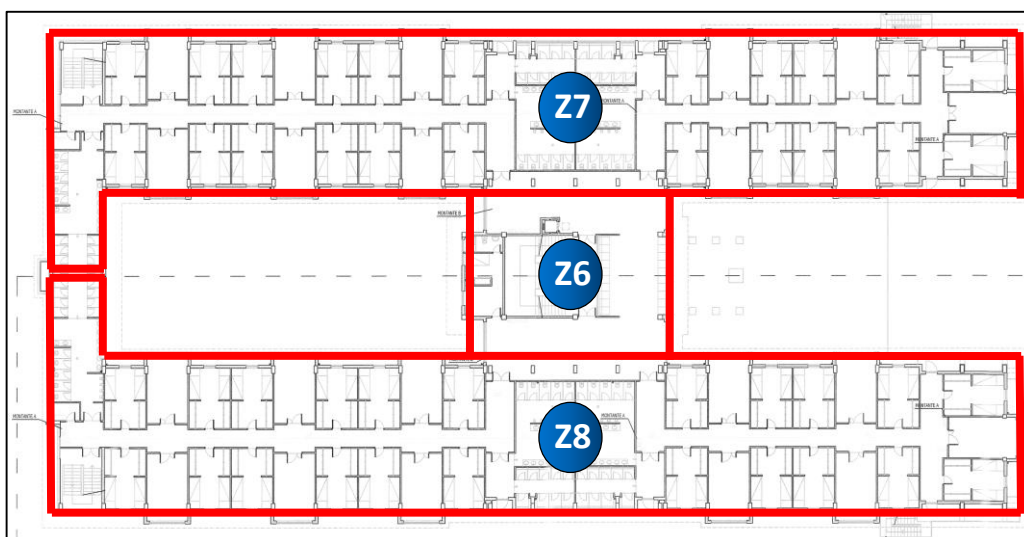


Figura 4-10 Segunda Planta Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

Encontramos 3 zonas térmicas:

- La zona 3 se corresponde con el hall de la segunda planta
- La zona 4 se corresponde con el ala norte de la segunda planta
- La zona 5 se corresponde con el ala sur de la segunda planta

4.1.1 Cuartel "Méndez Núñez"

Edificio destinado a dar alojamiento, zona de descanso y lugar de reunión para la Marinería. Cuenta con tres pisos con alrededor de 36 habitaciones situadas principalmente en el primer piso y segundo piso. Además, cuenta con una zona para distribución y consumición de comida.



Figura 4-11 Vista aérea Cuartel "Méndez Núñez" (Autoría propia)

4.1.1.1 Características geométricas

Debido a la falta de archivos en la Escuela Naval Militar se ha decidido utilizar las mismas aproximaciones para los cerramientos del edificio que el edificio Isaac Peral indicados en la Figura 4-4. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

4.1.1.2 Zonas térmicas

La división del Cuartel "Méndez Núñez" para la planta baja se puede apreciar en Figura 4-12.

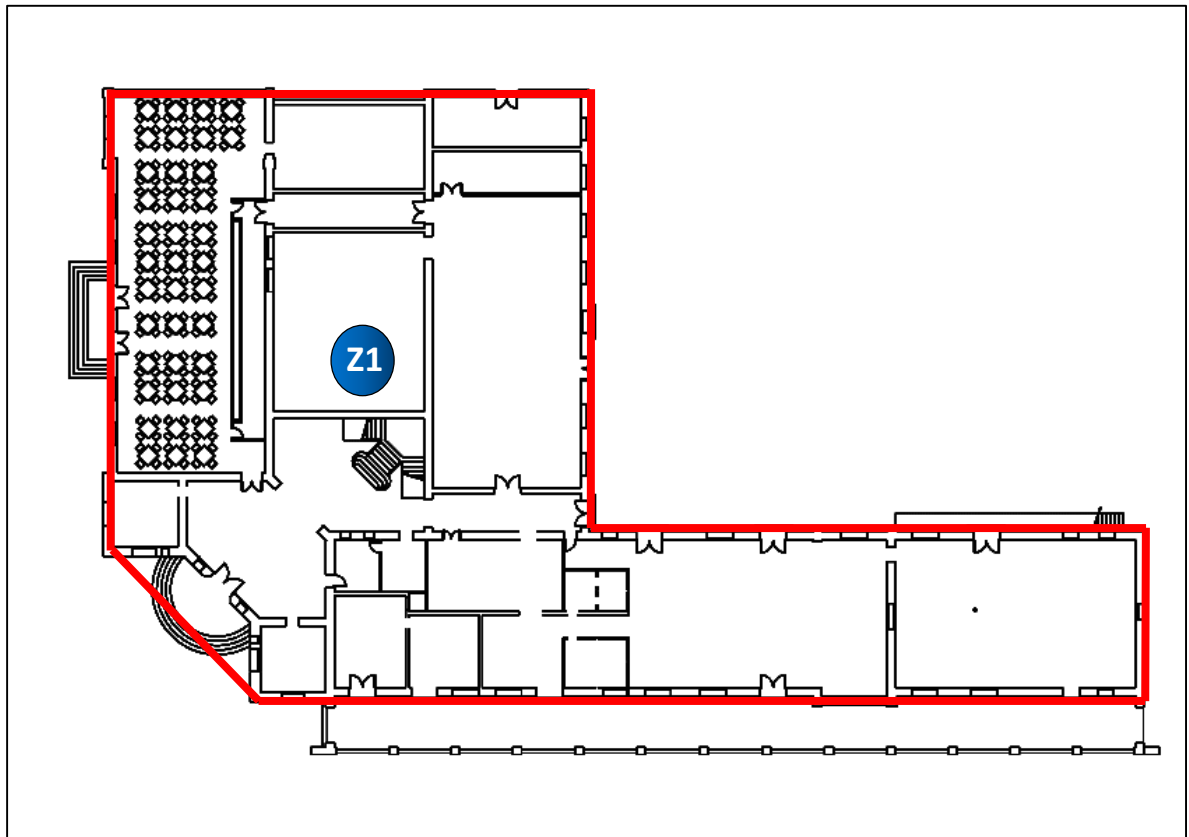


Figura 4-12 Planta Baja Méndez Núñez (Autoría propia)

La división del Cuartel "Méndez Núñez " para la primera planta se puede apreciar en Figura 4-13.

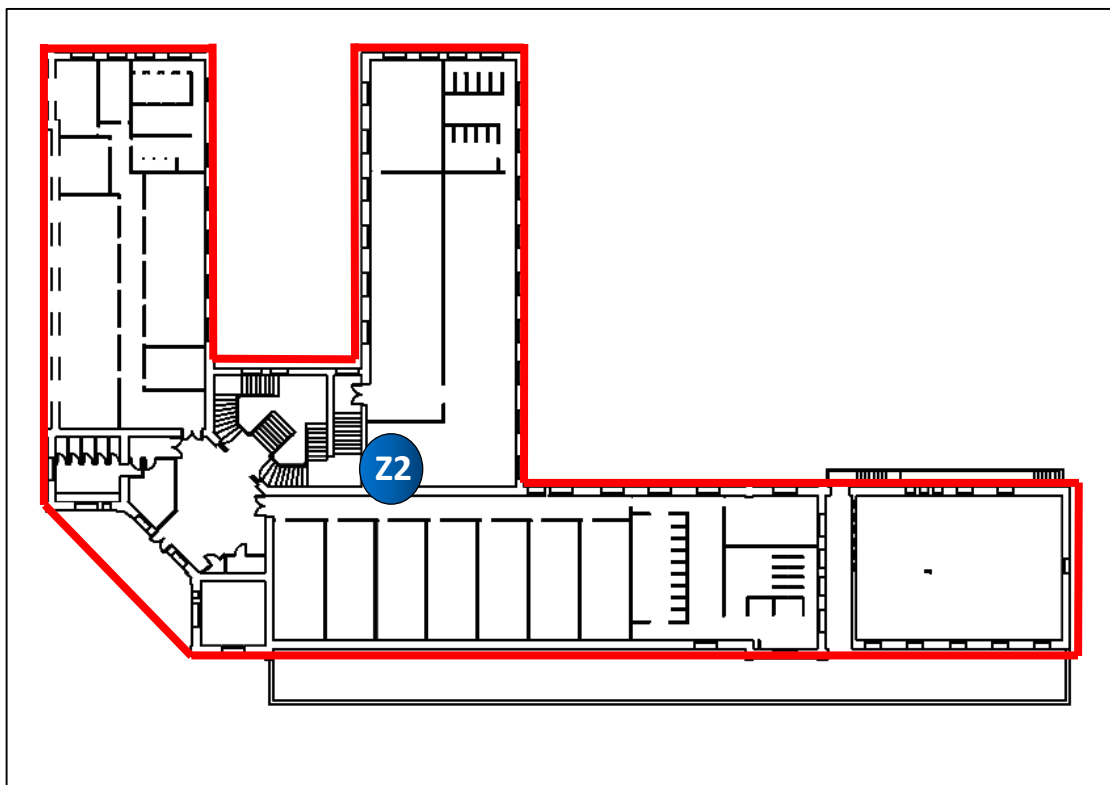


Figura 4-13 Primera Planta Méndez Núñez (Autoría propia)

La división del Cuartel "Méndez Núñez " para la segunda planta se puede apreciar en Figura 4-14

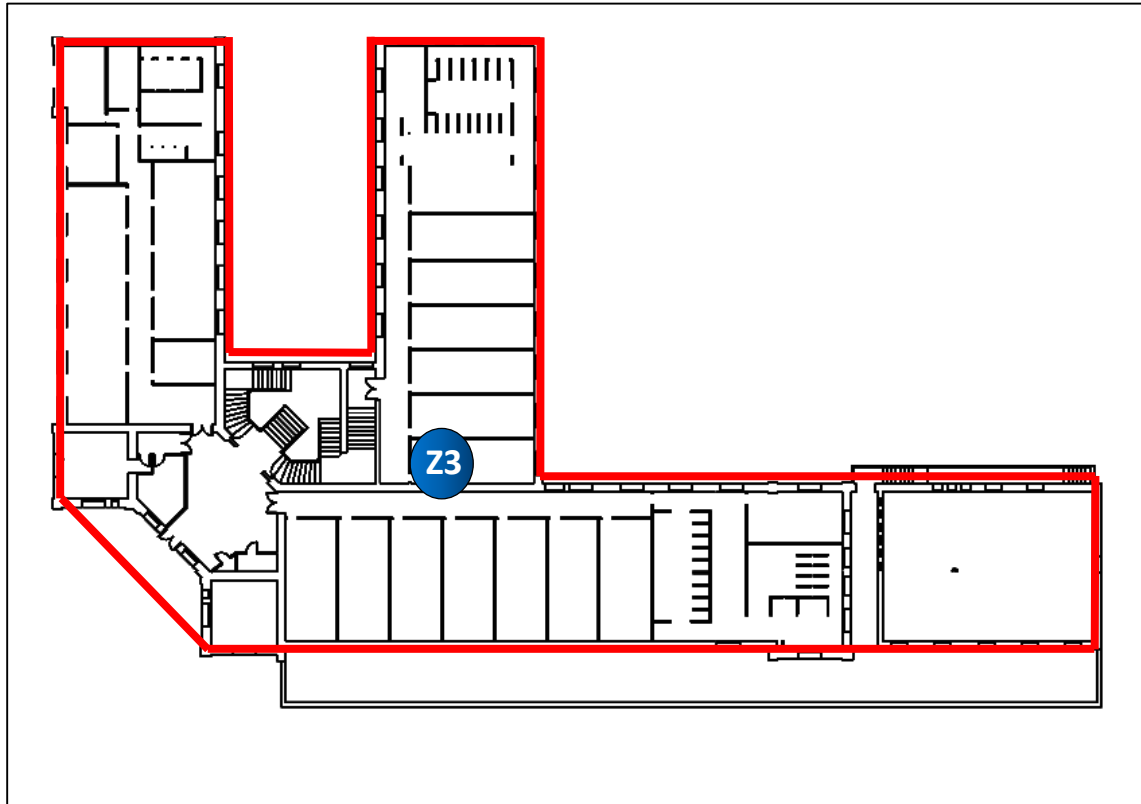


Figura 4-14 Segunda Planta Méndez Núñez (Autoría propia)

4.1.1 Cuartel “Marqués de la Victoria”

El cuartel “Marqués de la Victoria” fue construido en 1943 y desde entonces, ha sufrido numerosas remodelaciones, siendo la mas importante la reforma de la década del 2000. Dicha obra supuso un cambio estructural y acondicionamiento del cuartel.

Entrando en la descripción de cada una de las plantas, la planta baja es la que más se diferencia de las otras dos ya que se encuentra el comedor, cocina, pañol del condestable, camaretas “zulú” y lavandería.

Las dos plantas siguientes tienen la misma disposición, pero con la diferencia de la zona central. La primera planta cuenta con una zona dedicada a estudiar, conteniendo diversas mesas para la realización de la misma. En la segunda planta, esta zona está dedicada a contener más dormitorios.

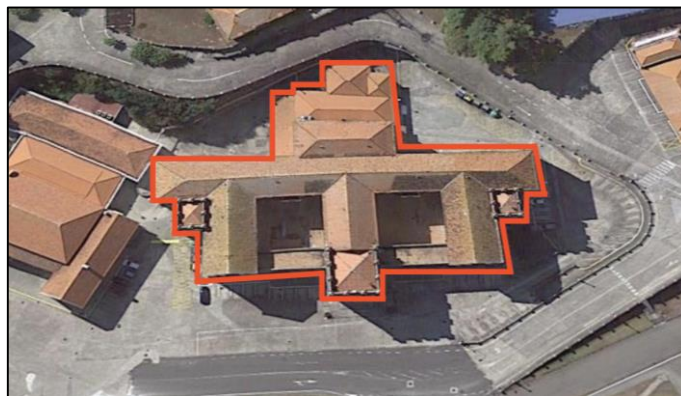


Figura 4-15 Vista aérea Cuartel "Marqués de la Victoria" (Autoría propia)

4.1.1.1 Características geométricas

Debido a la antigüedad del cuartel (1943) no ha sido posible conocer de manera certera las características del forjado del cuartel, ergo, se ha recurrido a emplear las aproximaciones indicadas en la Tabla 4-4.

Cerramientos	Material	Grosor	Grosor total
Fachadas	Tabique LH	5 cm	16,5 cm
	Mortero de cemento	2 cm	
	Tabicón de LH doble	7,5 cm	
	Enlucido de yeso	2 cm	
Pared Exterior	Enlucido de yeso	1 cm	12 cm
	Tabicón de LH doble	8 cm	
	Enlucido de yeso	2 cm	
Pared Interior	Placas de yeso (Pladur)	9 cm	9 cm
Ventana	Cristal simple claro	0,6 cm	0,6 cm

Tabla 4-4 Cerramientos del cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

4.1.1.2 Zonas térmicas

Se muestran las divisiones de la planta baja, primera y segunda planta en Figura 4-16, Figura 4-17 y Figura 4-18.

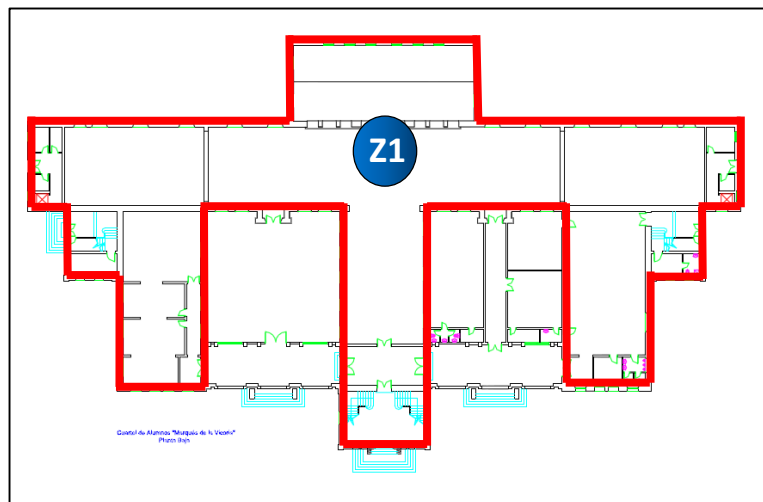


Figura 4-16 Planta baja cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

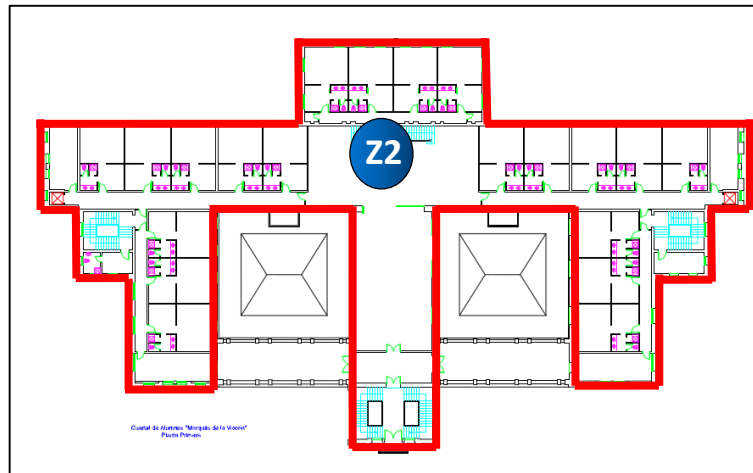


Figura 4-17 Primera planta cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

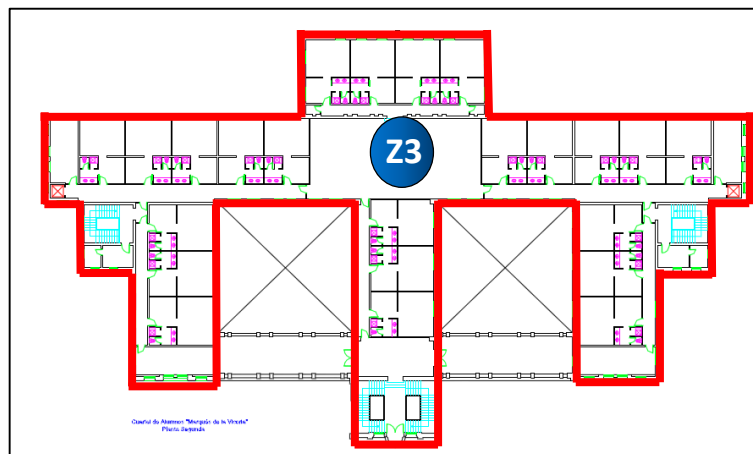


Figura 4-18 Segunda planta cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

4.1.1 Patio de Aulas

Esta zona de la Escuela Naval Militar es una de las más características debido a su apariencia y la figura de D. Álvaro De Bazán que se encuentra en ella.

El uso que tiene este lugar es el de albergar las clases que permiten la realización de la docencia en este centro. Además, durante el periodo de “revista de policía”, los alumnos forman y realizan esa actividad en ella.

El Patio de Aulas está constituido por el Navegador de simulación, el edificio del Centro Universitario de la Defensa, oficina del banco BBVA, correos, farmacia y las diferentes aulas que la conforman.



Figura 4-19 Vista aérea Patio de Aulas (Autoría propia)

4.1.1.1 Características geométricas

Para la definición de los cerramientos en el programa de simulación se ha optado por la aproximación mostrada en la Tabla 4-5.

Cerramientos	Material	Grosor	Grosor total
Suelo	Mármol	3 cm	16,5 cm
	Encachado	3 cm	
	Lana mineral	7 cm	
	Forjado de Hormigón	3 cm	
Pared Exterior	Acrílicos	0,1 cm	66,1 cm
	Yeso laminar	1,5 cm	
	Lana Miner	1,5 cm	
	Yeso laminar	1,5 cm	
	Cámara de aire	-	
	Ladrillo hueco	60 cm	
	Encachado	1,5 cm	
Pared Interior	Yeso laminar	3 cm	13 cm
	Lana Miner	7 cm	
	Yeso laminar	3 cm	
Ventana	Cristal simple claro	0,6 cm	0,6 cm

Tabla 4-5 Cerramientos del Patio de Aulas (Autoría propia)

4.1.1.2 Zonas térmicas

Se muestran las divisiones de la planta baja y primera planta en la Figura 4-20 y la Figura 4-21.

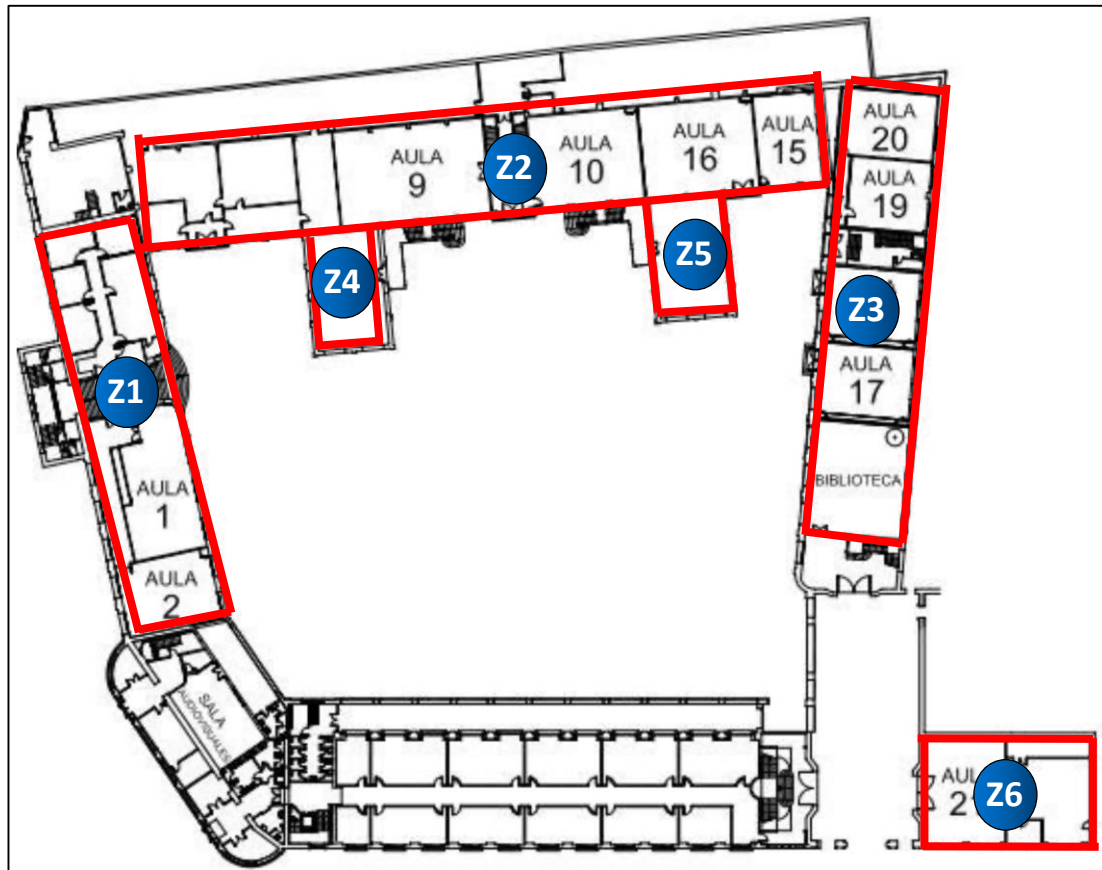


Figura 4-20 Planta baja del Patio de Aulas (Autoría propia)

Encontramos 6 zonas térmicas:

- La zona 1 se corresponde con las aulas 1, 2 y CAI
- La zona 2 se corresponde con las aulas 9, 10, 16 y 15
- La zona 3 se corresponde con las aulas 20, 19, 18, 17 y la biblioteca
- La zona 4 se corresponde con el Bazar
- La zona 5 se corresponde con el aula 14
- La zona 6 se corresponde con el aula 21

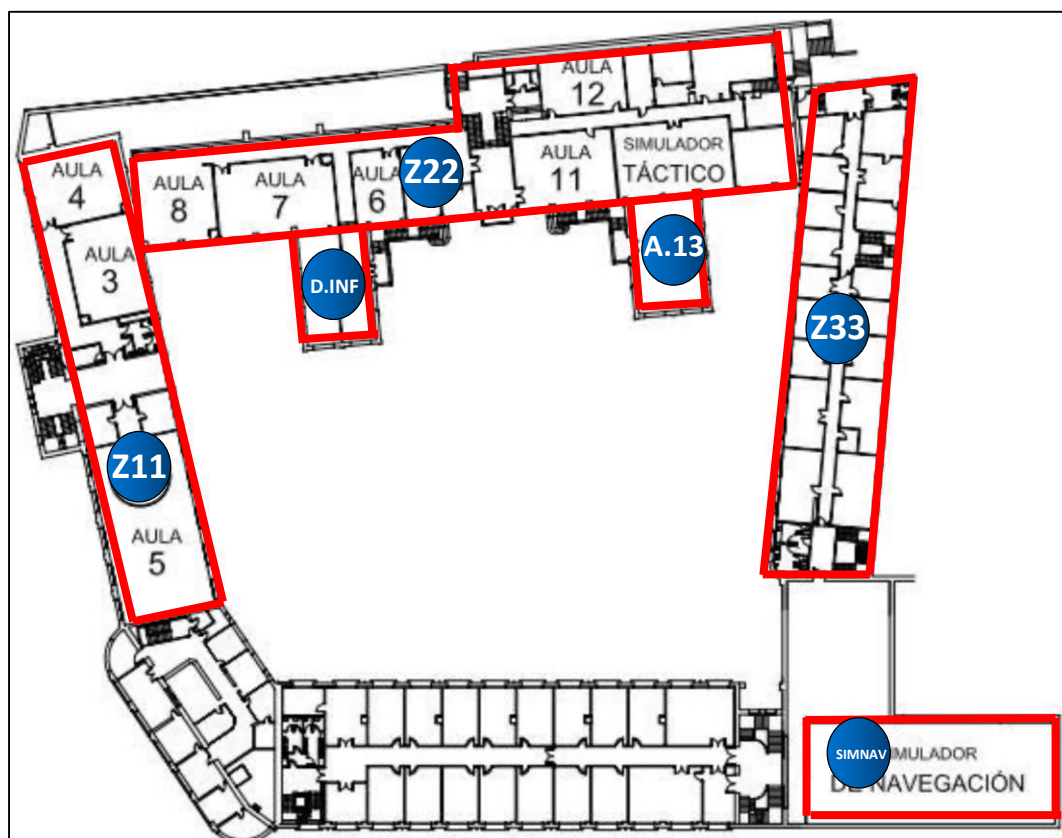


Figura 4-21 Primera planta del Patio de Aulas (Autoría propia)

Encontramos 6 zonas térmicas:

- La zona 11 se corresponde con las aulas 3, 4 y 5
- La zona 22 se corresponde con las aulas 8, 7, 6, 11, 12 y Simulador Táctico
- La zona 33 se corresponde con despachos de Oficiales
- La zona D. Inf se corresponde el departamento de Infantería de Marina
- La zona A.13 se corresponde con el aula 13
- La zona SIMNAV se corresponde con el Simulador de Navegación

4.2 Consumos de combustible preCOVID y COVID

El estudio del consumo energético que tiene lugar dentro de la Escuela Naval Militar (combustible, tipo de instalación, grado de ocupación, número de usuarios, etc.) constituye uno de los pilares básicos de este trabajo. Conocer y analizar cómo ha variado a partir de la incidencia COVID19 permitirá evaluar el impacto en los distintos edificios analizados.

Actualmente, la Escuela Naval Militar cuenta con dos tipos de suministro para las calderas de los edificios. La relación de edificios según el tipo de combustible utilizado se puede observar en Tabla 4-6.

Edificio	Combustible	Uso
Patio de Aulas	Gasóleo c	Oficinas/aulario
Res. Oficiales	Gasóleo c	Residencial
Sector 7	Gas natural	Residencial
Lavandería	Gasóleo c	-
Residencia Suboficiales	Gas natural	Residencial
Cuartel Méndez Núñez	Gasóleo c	Residencial
M. De la victoria	Gasóleo c	Residencial

Fco. Moreno	Gas natural	Residencial
CEMEDEM	Gasóleo c	Oficinas
Edificio inv. Cud	Gas natural	Investigación
Isaac Peral	Gas natural	Oficinas/aulario
Piscina y gimnasio	Gas natural	Deportivo
Dirección	Gasóleo c	Oficinas

Tabla 4-6 Relación suministro de Edificios (Autoría propia)

En Figura 4-22 se puede apreciar una considerable subida de los consumos de Gas natural durante los meses de septiembre hasta diciembre en 2020. Puntualizar que durante los meses de marzo hasta julio se produjo un periodo inaudito en la Escuela Naval Militar ya que la totalidad de alumnos tuvo que desalojar las instalaciones debido al COVID19.

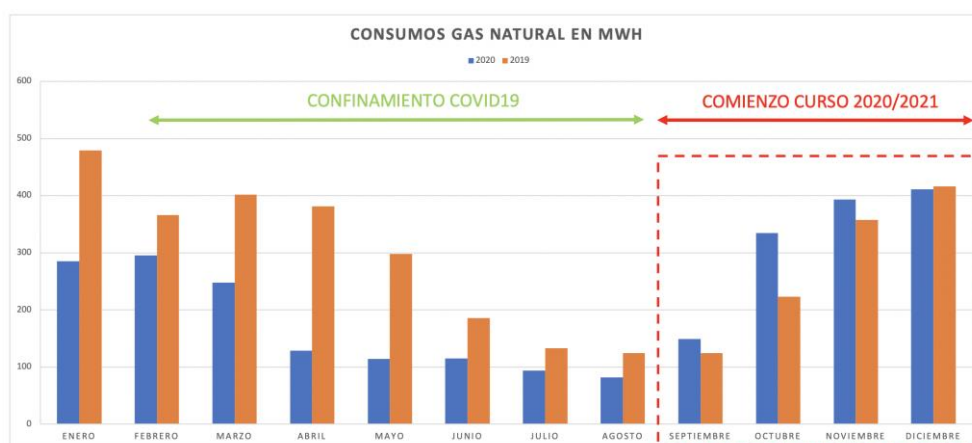


Figura 4-22 Comparativa de consumos de gas natural de 2019 y 2020 (Autoría propia)

En la Figura 4-23 se pueden observar los consumos reales tanto de 2019 como de 2020 de Gas natural en la Escuela Naval Militar.

NOMBRE EDIFICIO	2019				2020			
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
ISAAC PERAL	0	3,65	21,28	27,93	0	19,68	31,15	27,34
CUARTEL FRANCISCO MORENO	15,98	20,17	59,3	80,03	36,93	80,87	94,71	124,17
COCINA ALUMNOS	5,9	9,08	7,27	8,51	6,69	7,97	8,57	8,49
COCINA DOTACIÓN	1,37	2,86	2,53	2,67	1,79	2,1	2,09	1,95
RESIDENCIA SUBOFICIALES	24,32	34,41	30,51	35,06	28,52	27,72	26,74	25,63
PISCINA	47,64	85,06	98,06	111,63	75,63	101,69	107,05	103,47
LABORATORIOS CUD	0,3	3,76	10,42	15,48	0	4,41	10,14	13,71
RESIDENCIA OFICIALES	14,07	23,8	55,78	57,78	13,87	38,61	42,89	41,53
PABELLONES DE CARGO	15,06	40,29	72,63	77,05	17,91	51,32	69,79	64,91

Figura 4-23 Consumo Gas natural en MWh (Autoría propia)

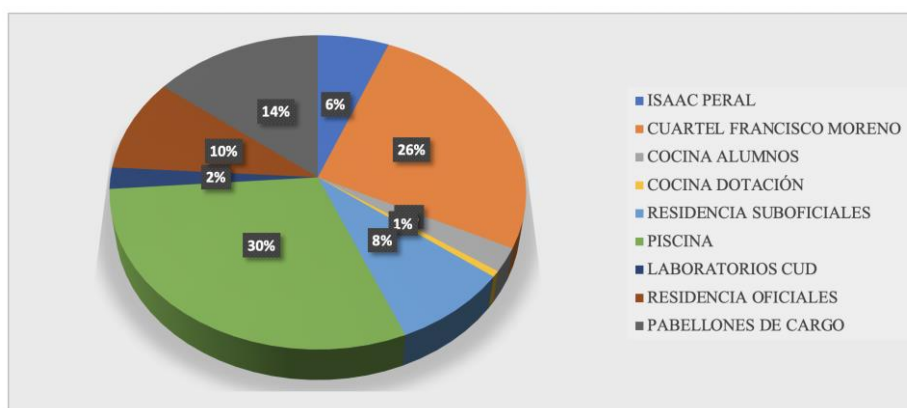


Figura 4-24 Edificios con mayor demanda de Gas natural 2020 (Autoría propia)

Ahora bien, con la Figura 4-23 podemos concretar que los aumentos proceden de los siguientes edificios:

- Edificio Isaac Peral. Figura 4-25
- Cuartel Almirante “Francisco Moreno”. Figura 4-26

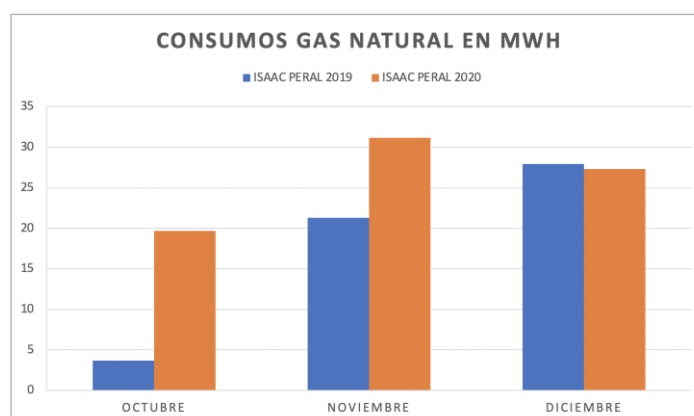


Figura 4-25 Comparativa consumos edificio Isaac Peral (Gas natural) (Autoría propia)

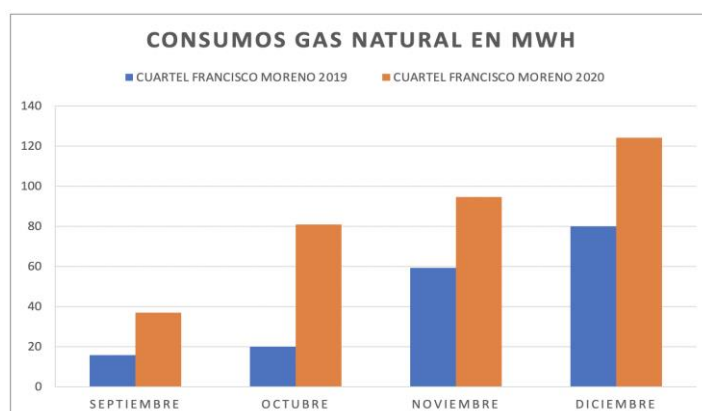


Figura 4-26 Comparativa consumos Cuartel Almirante "Francisco Moreno" (Gas natural) (Autoría propia)

Por otro lado, encontramos aquellos edificios en donde sus sistemas de calefacción tienen como suministro Gasóleo “C”. Durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre las demandas de 2019 fueron de 87.000 Litros y, en 2020 de 76.000 Litros.

Como no se puede conocer la distribución de las demandas para cada uno de los edificios con gasóleo “C”, se ha optado por la aproximación mostrada en la Figura 4-27. Consiste en hacer un reparto de los litros consumido en proporción al volumen que ocupa cada edificio.

Edificio	Volumen (m ³)	% Volumen Total	2020	2019
			Consumos según Volumen del edificio (MWh)	Consumos según Volumen del edificio (MWh)
Dirección	2346	2,4%	18	21
CEMEDEN	858	0,9%	7	8
Lanchas Instrucción	2133	2,2%	16	19
Lavandería	3034	3,1%	23	27
Cuartel "Méndez Núñez"	27438	27,7%	210	241
Cuartel "Marqués de la Victoria"	25384	25,6%	194	223
Comisión Naval de Regatas	4600	4,6%	35	40
Patio de Aulas	33226	33,6%	255	291

Figura 4-27 Aproximación de consumos de gasóleo “C” según su volumen (Autoría propia)

La Figura 4-28 muestra las asignaciones de consumos en MWh por cada uno de los edificios en función de su volumen total. Para realizar la conversión de Litros a KWh se ha hecho uso del PCI⁴ del gasóleo, siendo el valor de éste de 9,98 KWh/L.

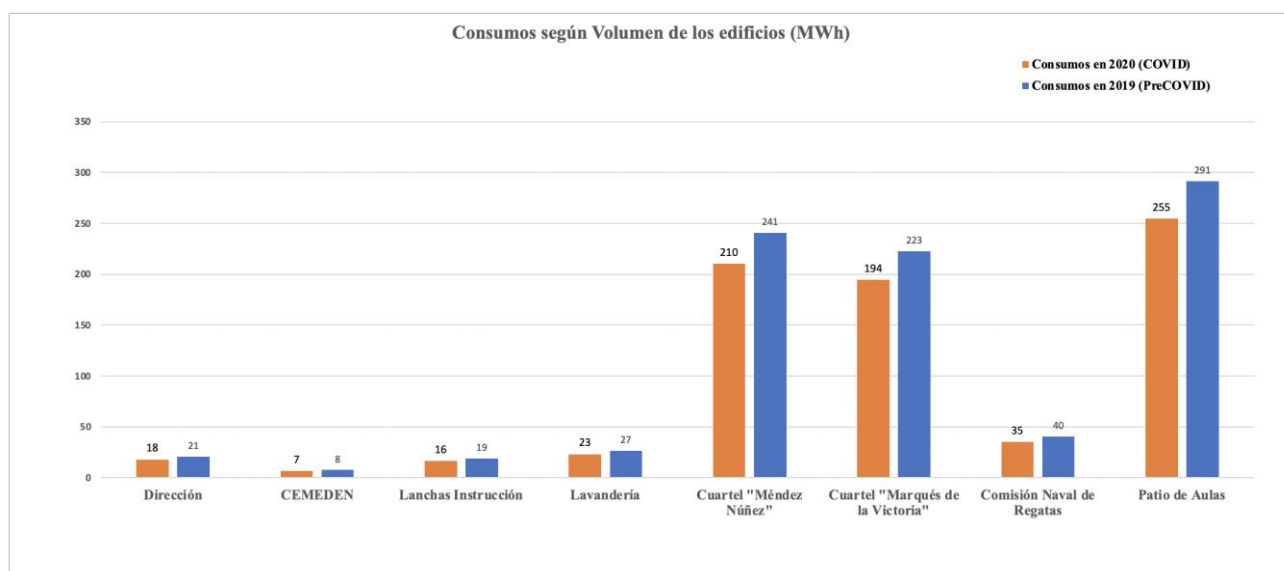


Figura 4-28 Relación Volumen-Consumo gasóleo “C” (Autoría propia)

Mediante la Figura 4-28 podemos deducir aquellos edificios suministrados con gasóleo “C” que tendrán una gran demanda ya que su volumen es mayor. Éstos son:

- Cuartel "Méndez Núñez"
- Cuartel "Marqués de la Victoria"
- Patio de Aulas

Estos tres edificios mencionados supondrán un 87% del consumo de gasóleo “C” de la Escuela Naval y, por tanto, el 13% restante corresponderá a los edificios de Dirección, CEMEDEN, núcleo de lanchas, lavandería y comisión naval de regatas.

Mencionar que la utilidad principal de los valores reales de los consumos es la de proporcionar una referencia para validar los valores obtenidos en la simulación.

⁴ PCI: Poder calorífico inferior

4.3 Metodología para la simulación

Para la realización del presente proyecto, se ha decidido utilizar los programas “Sketchup”, “Trnsys” y “Meteonorm”. La selección de cada uno de ellos se ha basado en la disponibilidad, uso y compatibilidad entre ellos. El programa “Sketchup”, mediante la extensión Trnsys3d, permite generar las zonas térmicas necesarias para su estudio y simulación en “Trnsys”. Además, el archivo con datos meteorológico generado por el programa “Meteonorm” servirá de base para la realización de una correcta simulación en “Trnsys”.

Como se puede apreciar en la Figura 4-29, la realización del proyecto se puede dividir en dos etapas. La primera etapa consiste en la utilización del programa “Sketchup” junto a la extensión “trnsys3d” para la creación cada una de las zonas térmicas. De esta manera, un edificio quedará dividido en diversas zonas térmicas para su posterior estudio y análisis.

En la segunda etapa tendrá lugar la modificación de cada uno de los parámetros característicos que cuenta cada edificio. La herramienta que permite la simulación será el programa “TRNSYS” que, junto a sus ejecutables “Simulation Studio”, “TRNBuild” y “TRNExe”, permitirán definir las condiciones de contorno, exportar los datos obtenidos y generar distintos gráficos para cada zona térmica definida.

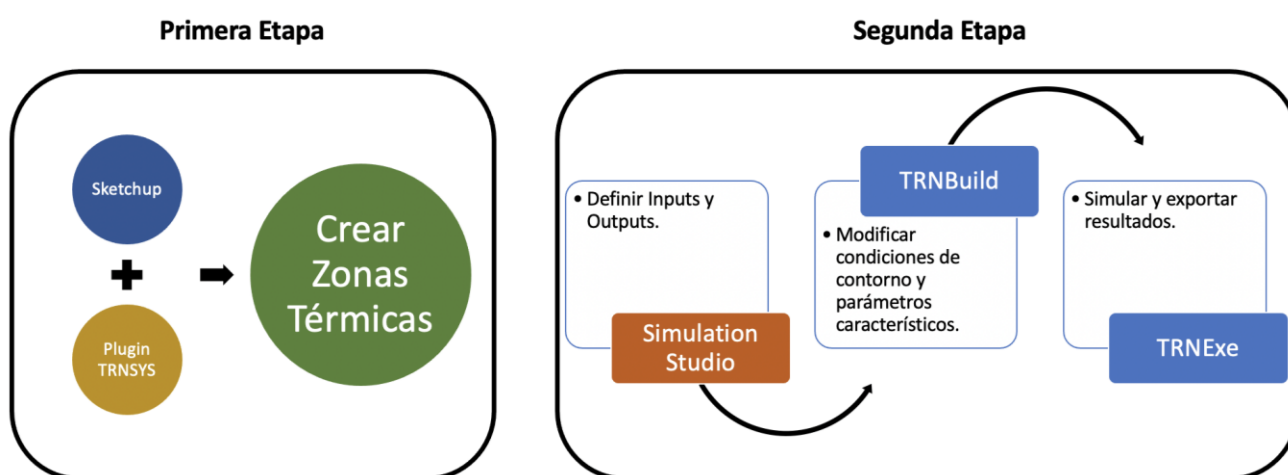


Figura 4-29 Secuencia (Autoría propia)

4.3.1 Diseño Tridimensional en SketchUp + Trnsys3d

Finalizada la parte de análisis de geometría del edificio pasamos a diseñarla en formato tridimensional. Para comenzar, abriremos SketchUp y crearemos una plantilla nueva. Para poder realizar la simulación posterior, se requiere de una extensión que proporciona Trnsys para Sketchup denominada Trnsys3d.

La mencionada extensión permitirá separar cada una de las geometrías en distintas zonas térmicas. Cuando creamos una nueva zona térmica, ésta debe ser activada. Del contrario, todo aquello creado fuera de las zonas térmicas no será exportado a la simulación. La opción de guardado difiere de la del programa Sketchup, siendo el formato generado por trnsys3d de “.idf”.

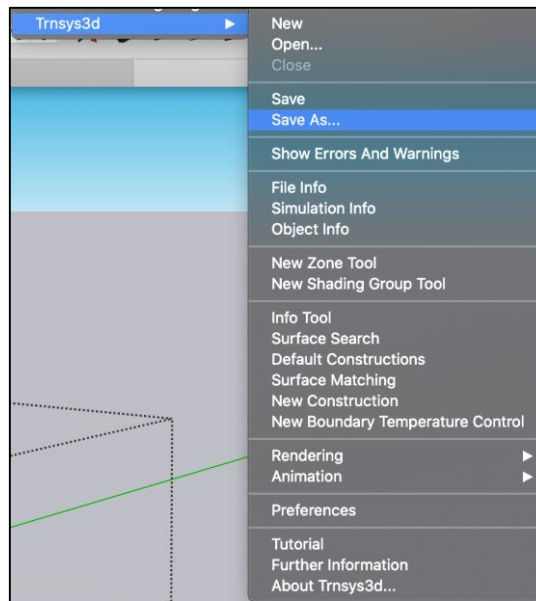


Figura 4-30 Procedimiento de guardado para zonas térmicas (Autoría propia)

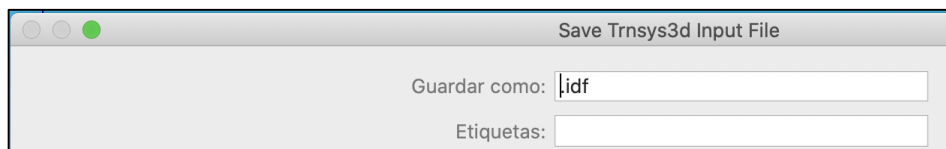


Figura 4-31 Formato de guardado de zonas térmicas (Autoría propia)

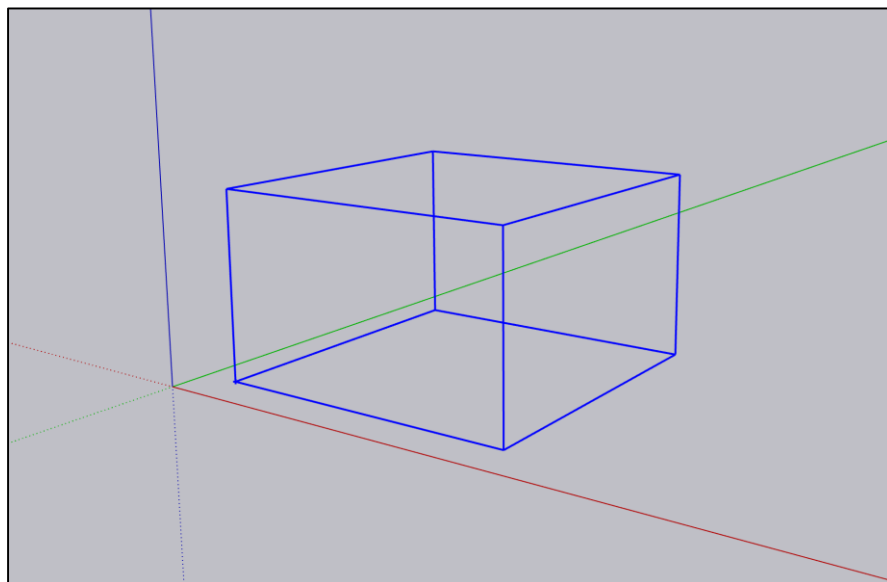


Figura 4-32 Zona Térmica desactivada (Autoría propia)

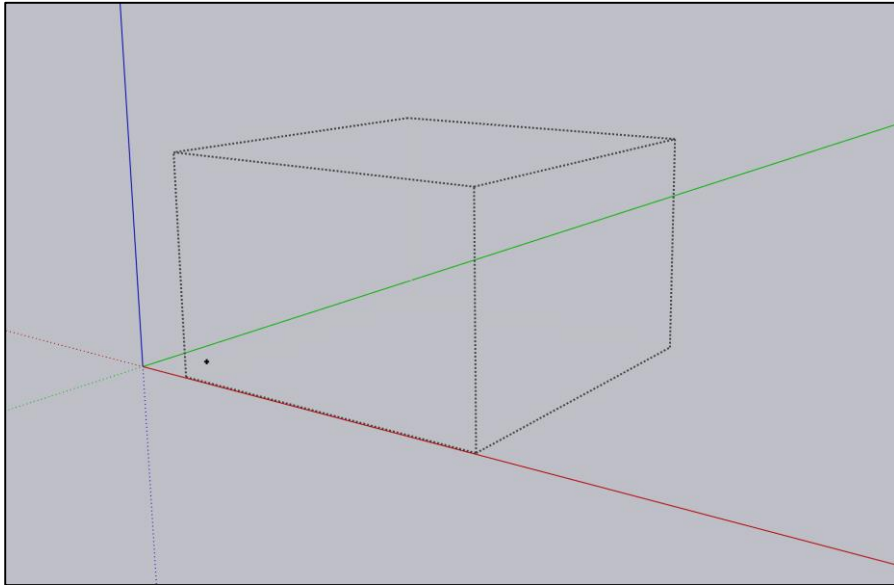


Figura 4-33 Zona Térmica activada (Autoría propia)

Construida la primera superficie de la primera zona térmica, la celda de la zona térmica crecerá junto con la geometría estableciéndose una relación paralela en el tamaño.

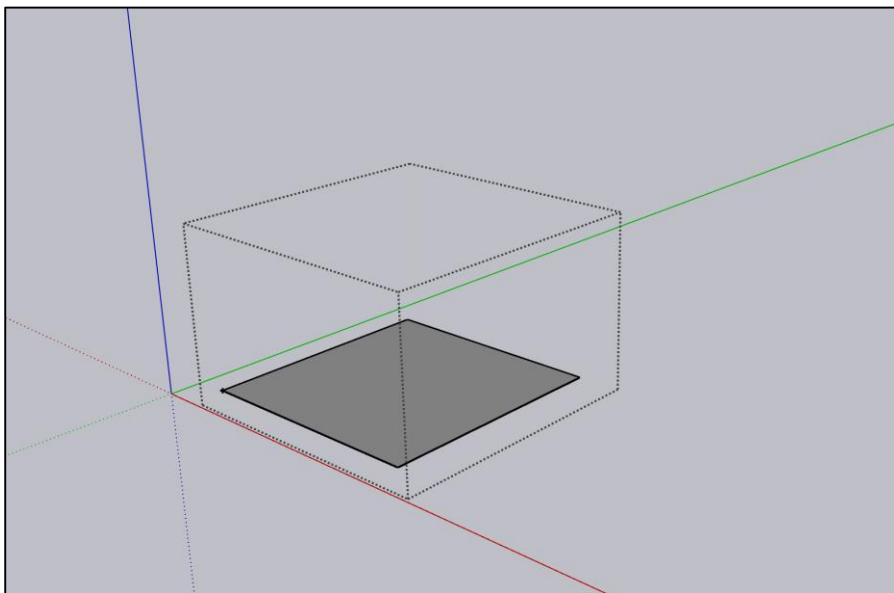


Figura 4-34 Superficie zona térmica (Autoría propia)

Cuando a una superficie se le da un cierto volumen, Trnsys3d reconoce automáticamente las condiciones de contorno asignando tanto a las paredes la condición de exteriores, a la base superior la condición de techo y a la base inferior la condición de suelo.

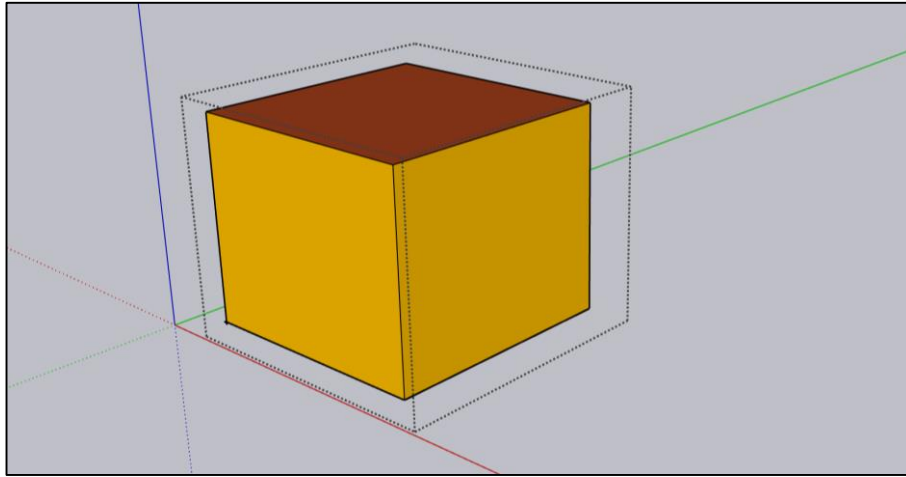


Figura 4-35 Volumen zona térmica (Autoría propia)

Las condiciones de contorno son todos aquellos parámetros que definen a una zona térmica en función de los tipos de paredes con las que puede estar construido. Podemos considerar las paredes con la siguiente clasificación:

- **Internas:** Aquellas paredes que se encuentran en el interior de una zona térmica.
- **Externas:** Aquellas paredes que tienen consideración de paredes que dan al exterior del edificio. Además, superficies como los tejados se considerarán como externas.
- **Adyacentes:** Aquellas paredes que delimitan distintas zonas térmicas.
- **De contorno:** Aquellas paredes que son propias del contorno como el suelo.

Todas las condiciones de contorno se pueden modificar, siempre que se active la zona térmica, se seleccione el elemento y, en propiedades, modificar dichos parámetros.

Cabe destacar la elaborada tarea de las asignaciones de contorno debido a la facilidad para no reconocer las distintas superficies por parte del programa TRNBuild. Para ello, se recomienda realizar las distintas zonas térmicas por separado, ajustar las condiciones de contorno correspondientes y, finalmente, mover a sus respectivas ubicaciones las zonas térmicas. Además, conviene ir guardado el progreso en cada uno de los distintos cambios que tengan lugar sobre el diseño.

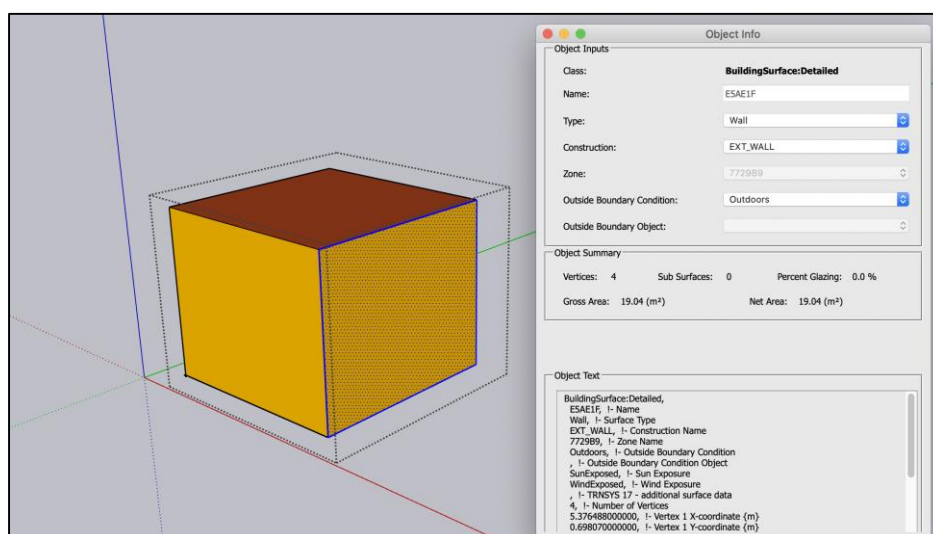


Figura 4-36 Elemento y su información de contorno (Autoría propia)

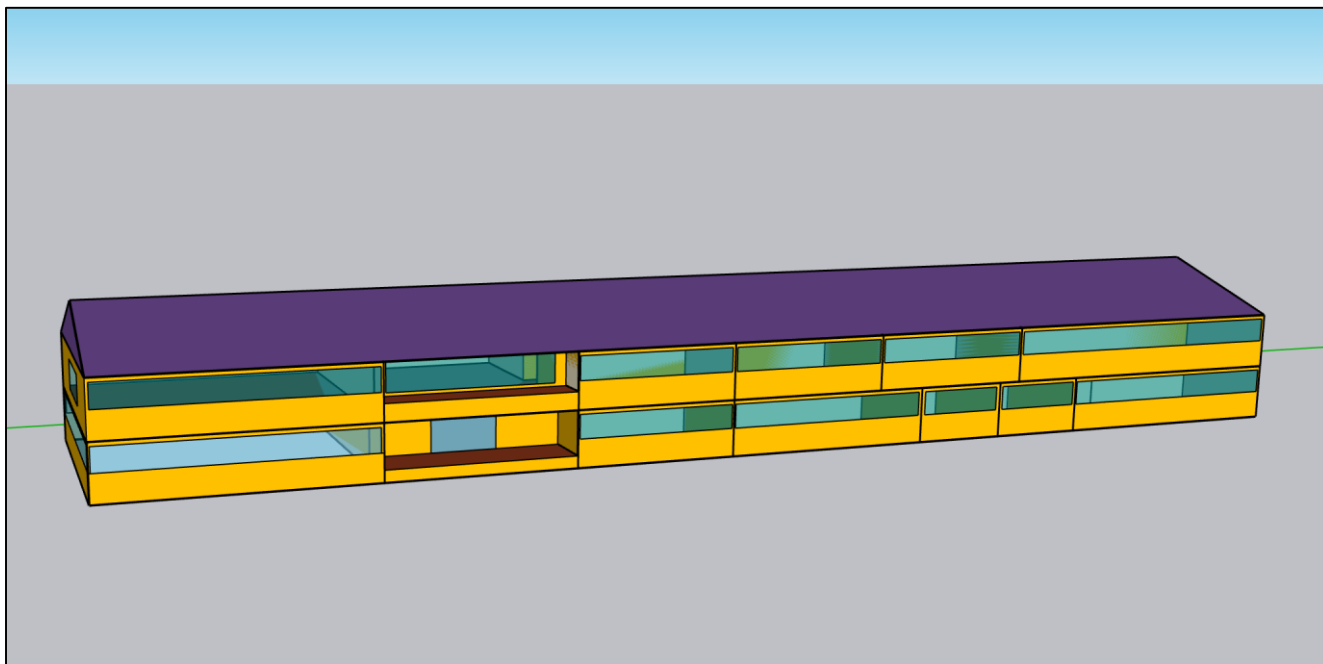


Figura 4-37 Vista 1 modelo Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

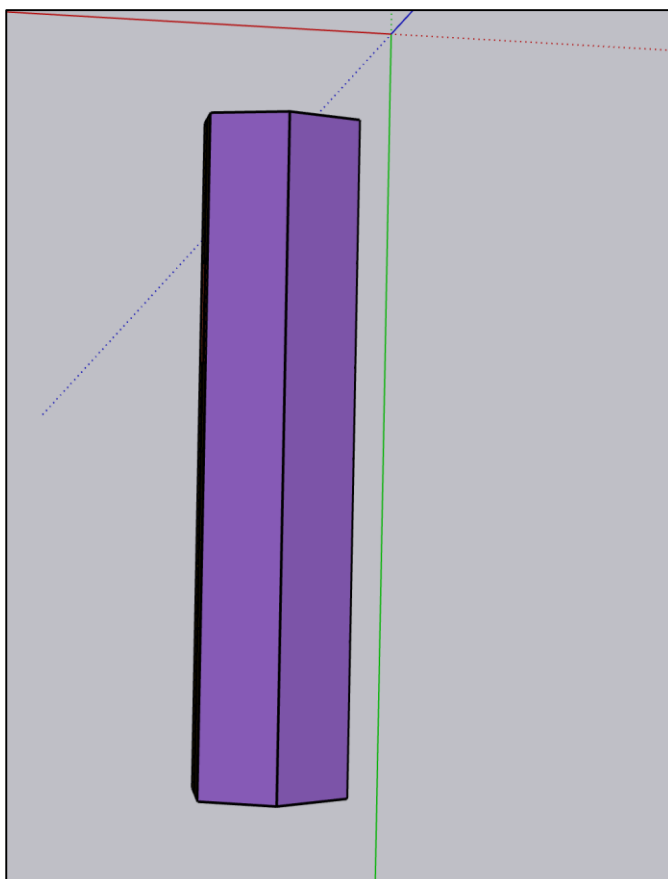


Figura 4-38 Vista 2 modelo Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

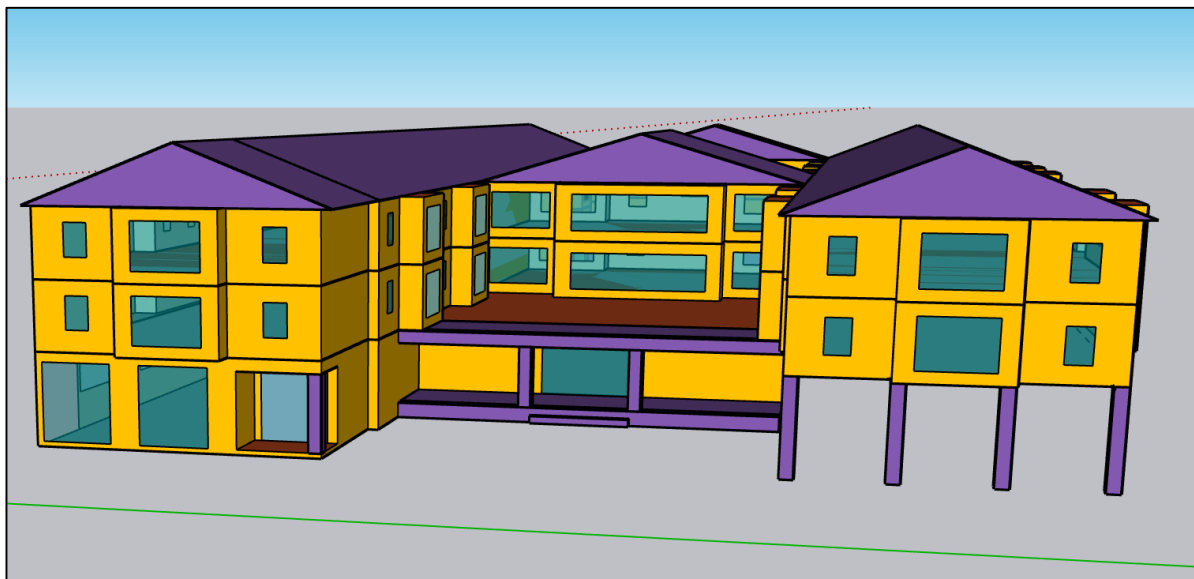


Figura 4-39 Vista 1 modelo Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

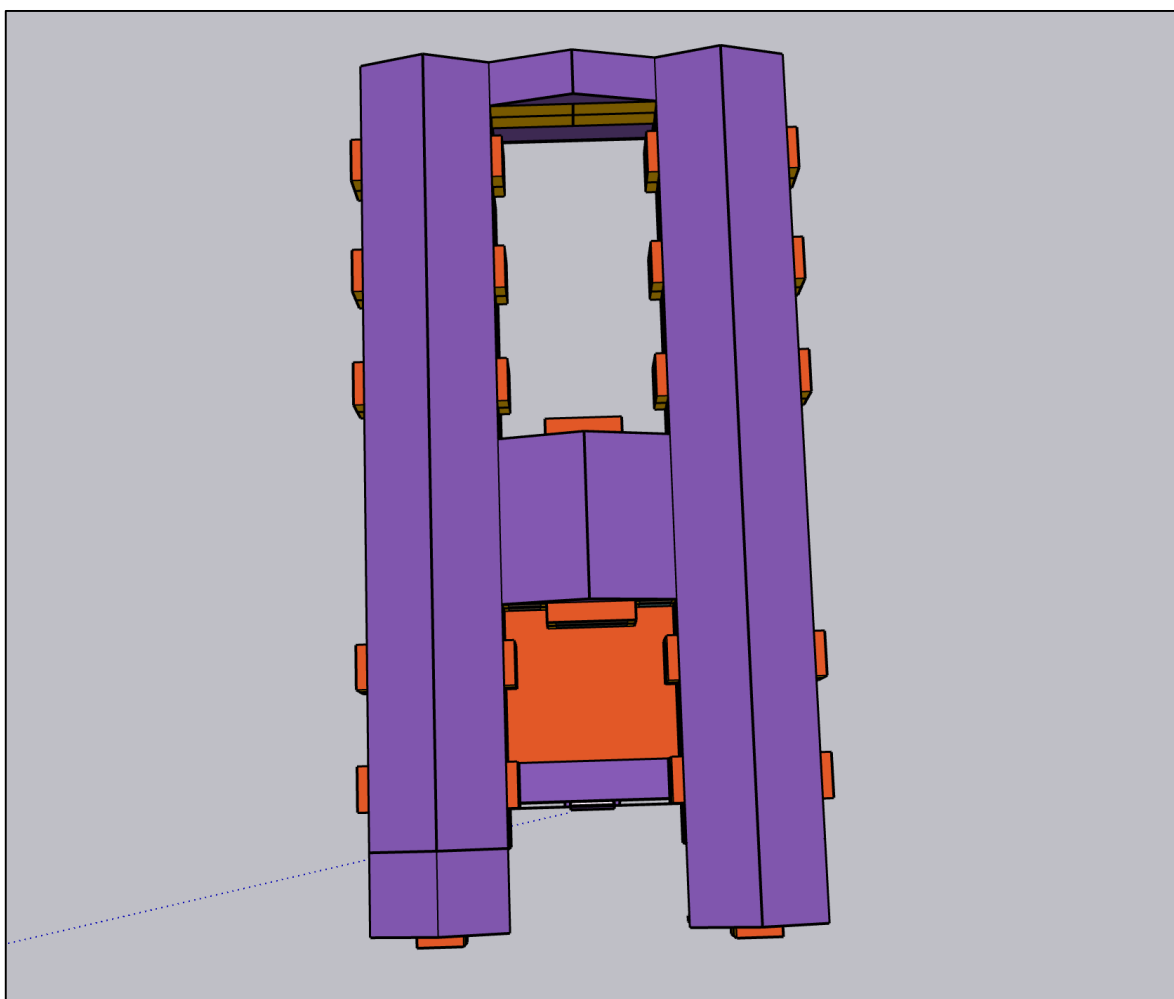


Figura 4-40 Vista 2 modelo Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

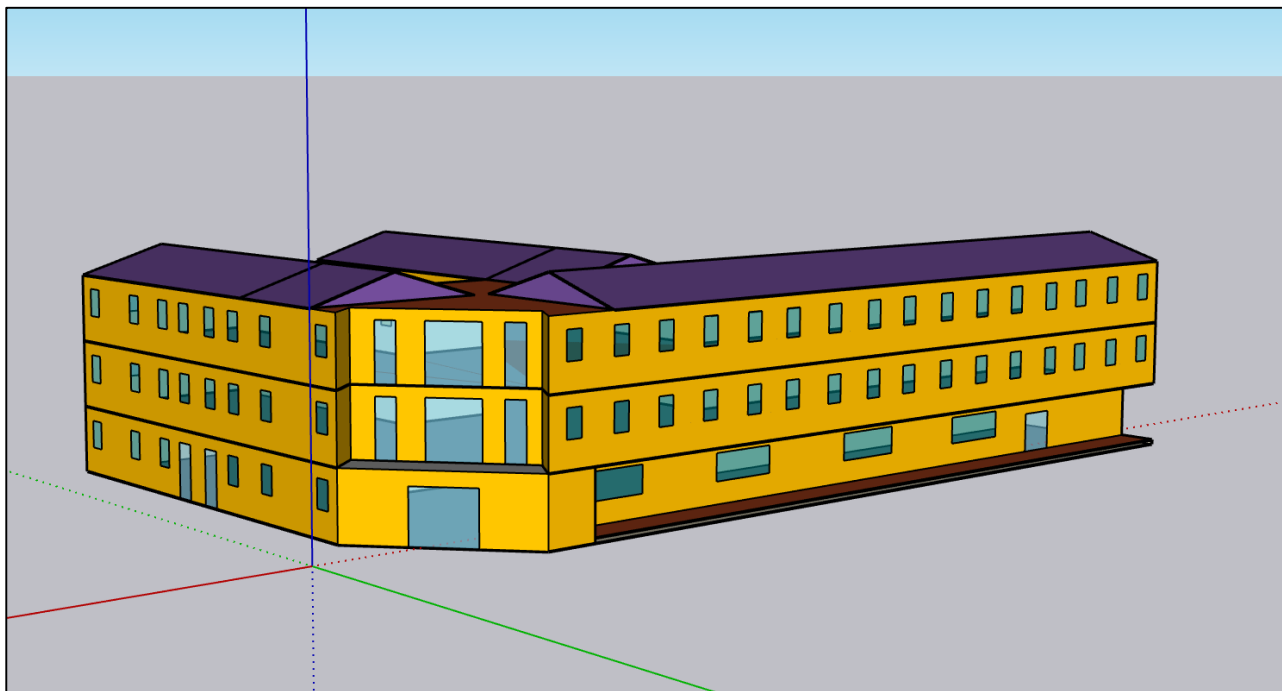


Figura 4-41 Vista 1 modelo Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia)

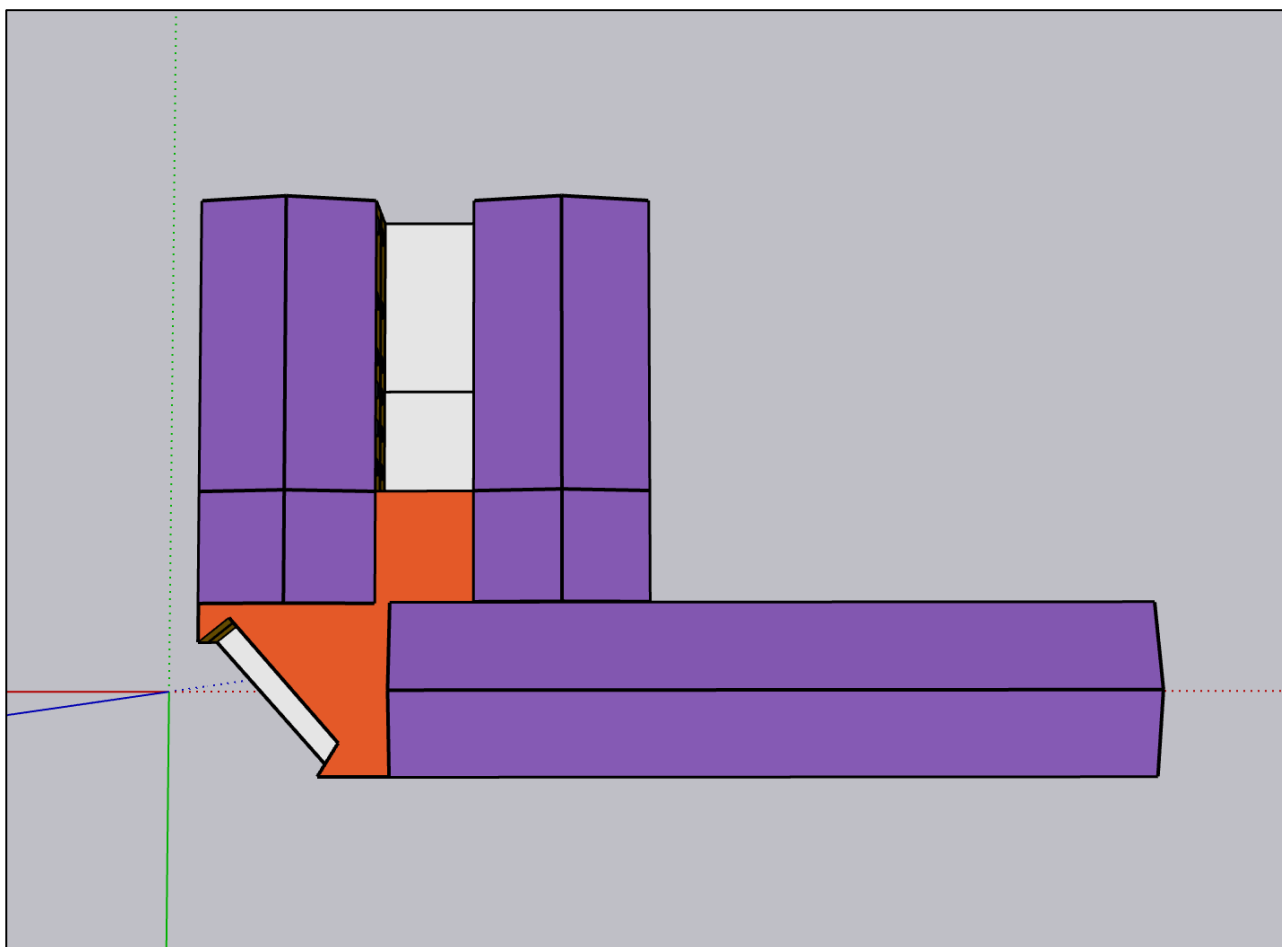


Figura 4-42 Vista 2 modelo Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia)

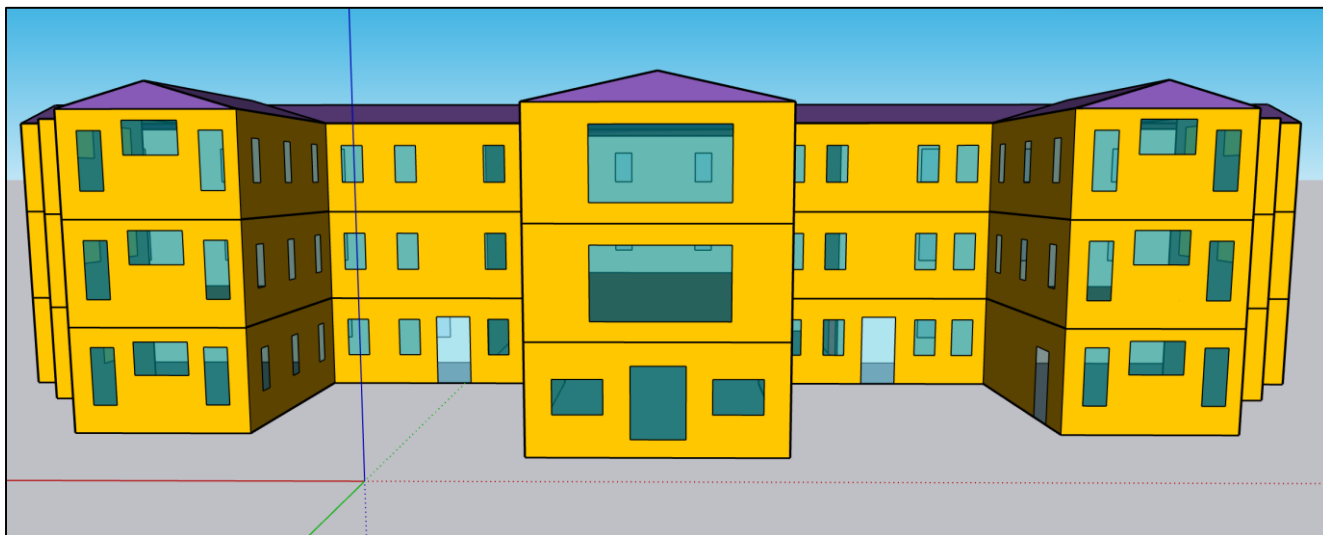


Figura 4-43 Vista 1 modelo Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

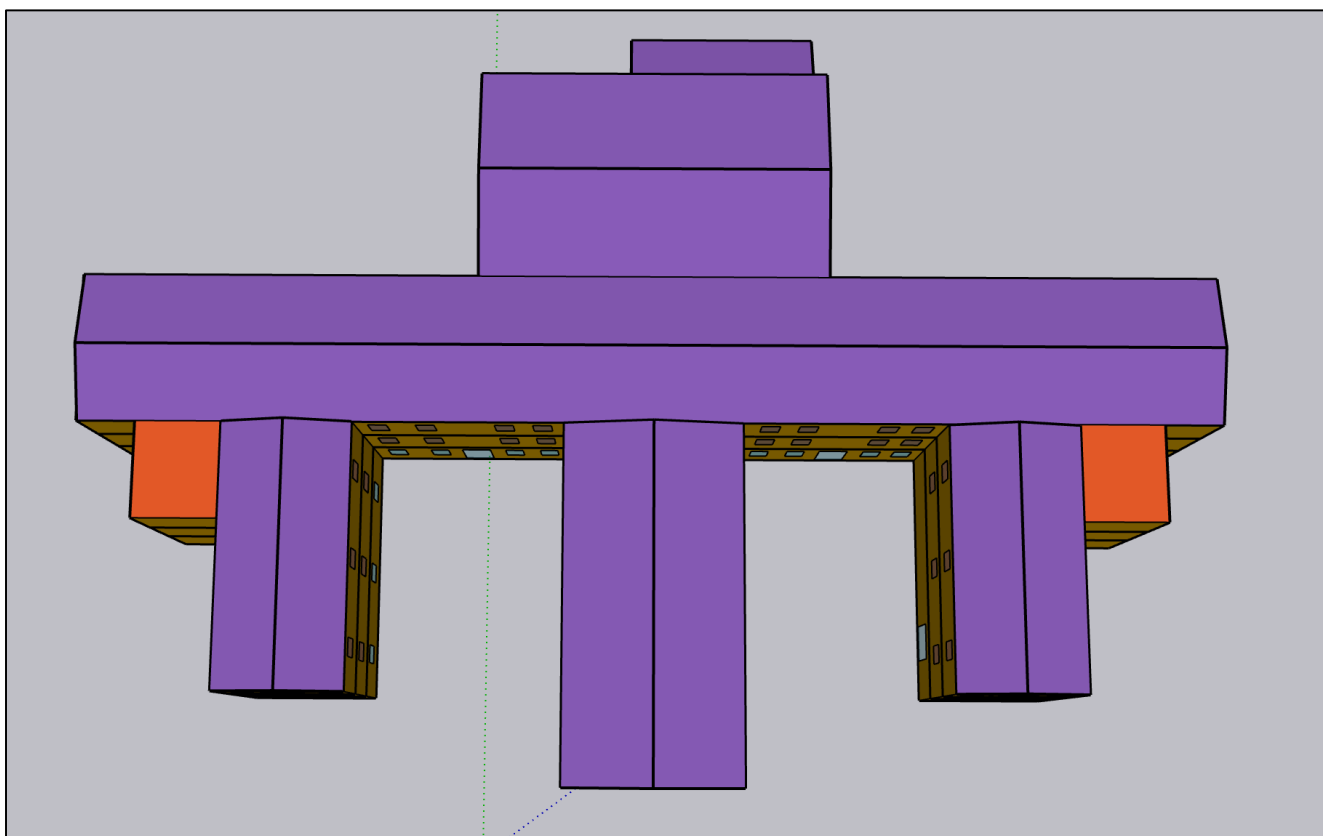


Figura 4-44 Vista 2 modelo Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

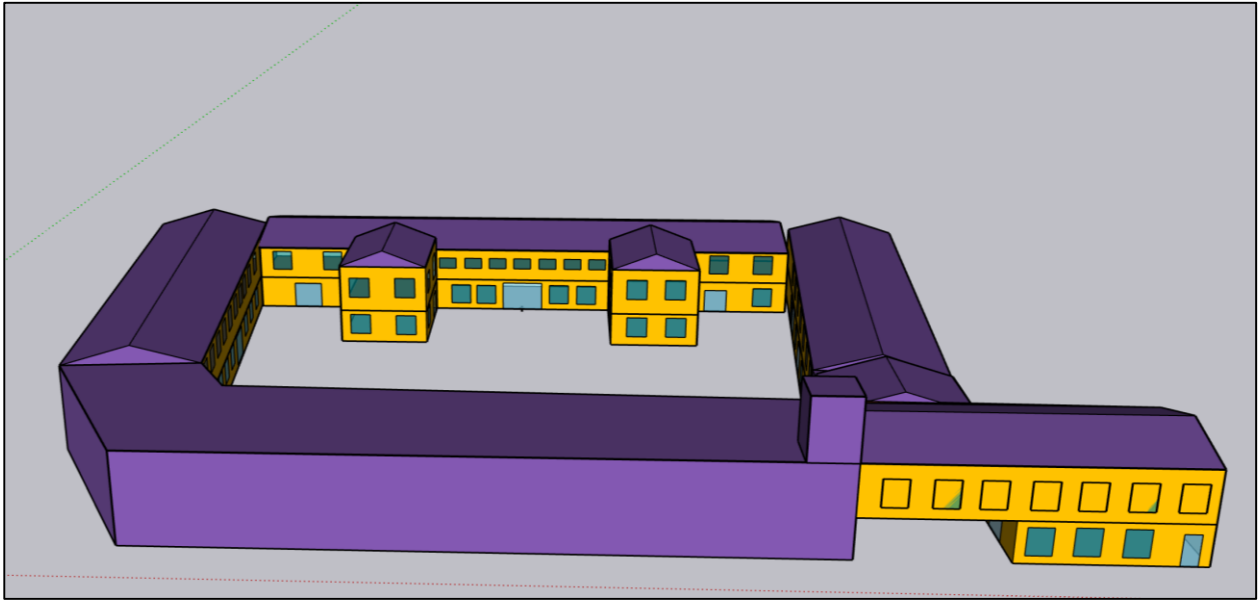


Figura 4-45 Vista 1 modelo Patio de Aulas (Autoría propia)

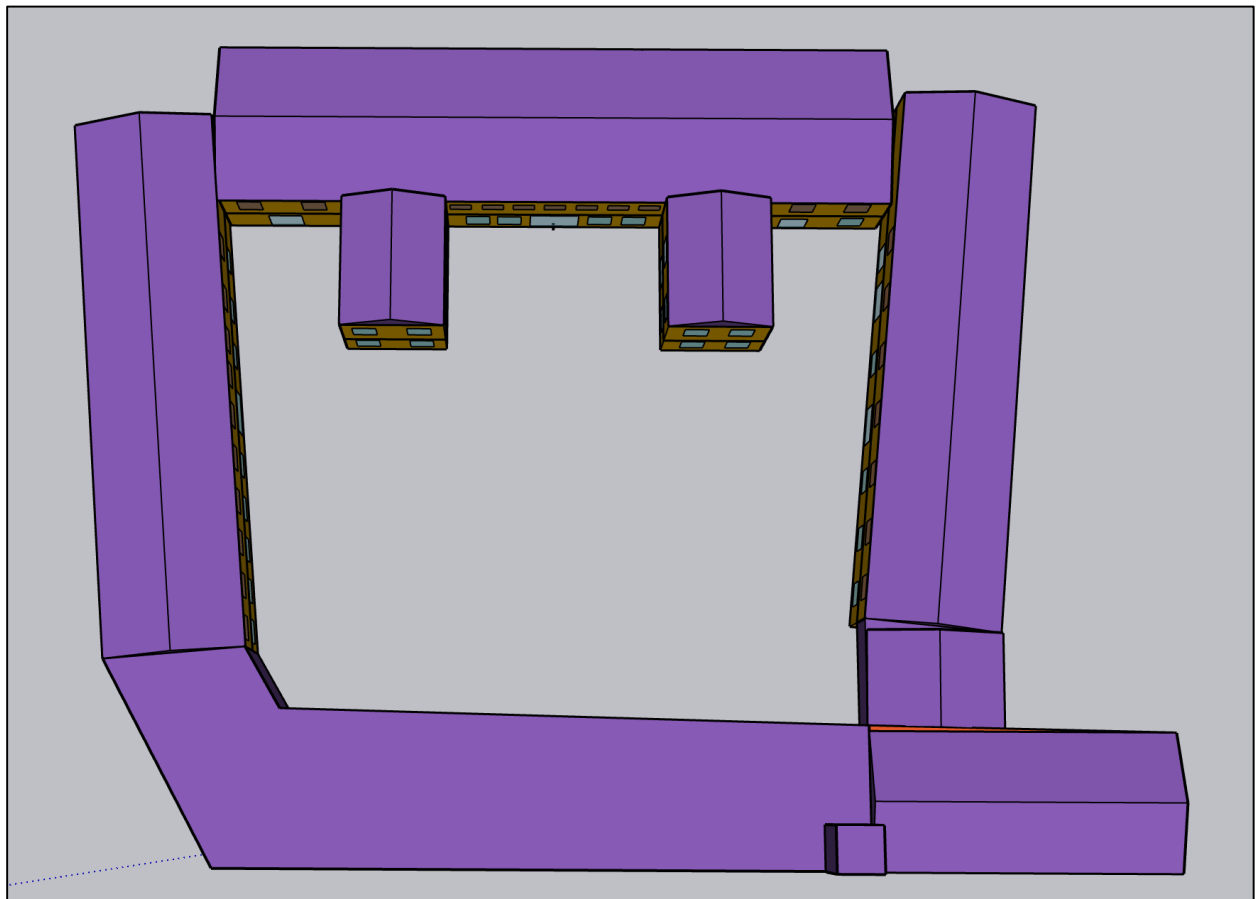


Figura 4-46 Vista 2 modelo Patio de Aulas (Autoría propia)

4.3.2 Importación a TRNBuild

Finalizado el diseño tridimensional se tendrá guardado un archivo con formato “.idf”, el cual usaremos con el programa TRNBuild. Para ello, se abre el programa y se selecciona la opción de importar modelo Trnsys3d.

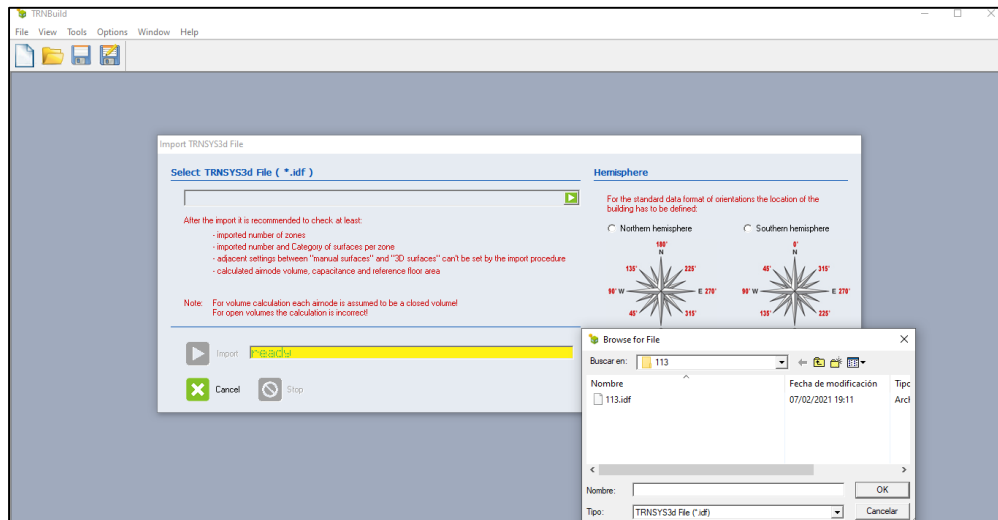


Figura 4-47 Importar archivo ".idf" en TRNBuild (Autoría propia)

Con la importación realizada con éxito, se generará un archivo de formato “.b17” en donde quedaran registradas cada una de las zonas térmicas definidas, sus elementos constructivos, extensión y orientación. Destacar que los valores geométricos no podrán ser modificados desde TRNBuild debido a que fueron creados externamente.

4.3.3 Desarrollo del modelo en TRBuild

En esta fase se definirán los valores de diseño de los edificios para la realización del cálculo en la simulación. Esta fase quedara subdividida con el fin de conseguir un carácter esquemático.

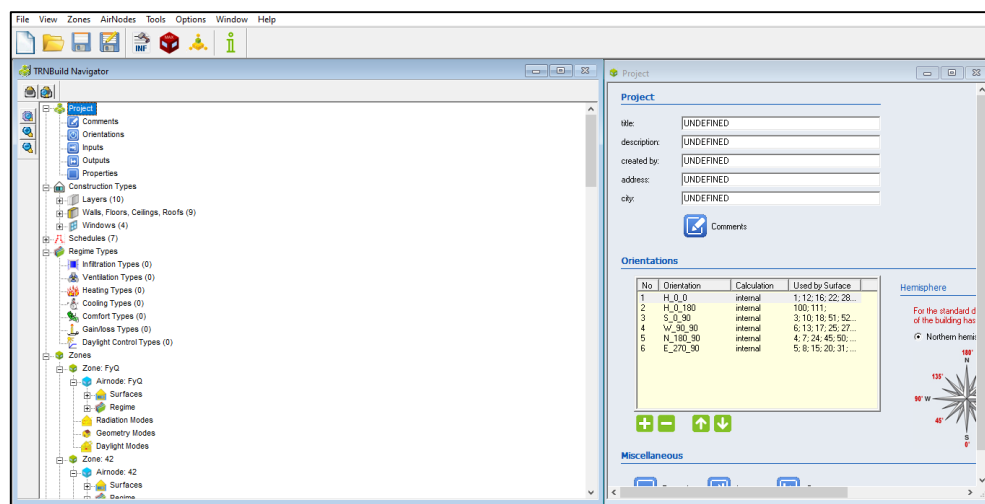


Figura 4-48 Interface TRNBuild (Autoría propia)

4.3.3.1 Inputs y Outputs

Este apartado comprende la descripción de cada uno de los elementos utilizados dentro del programa “Simulation Studio”. En la Figura 4-49 se puede apreciar el conjunto de inputs y outputs utilizados para la simulación del edificio.

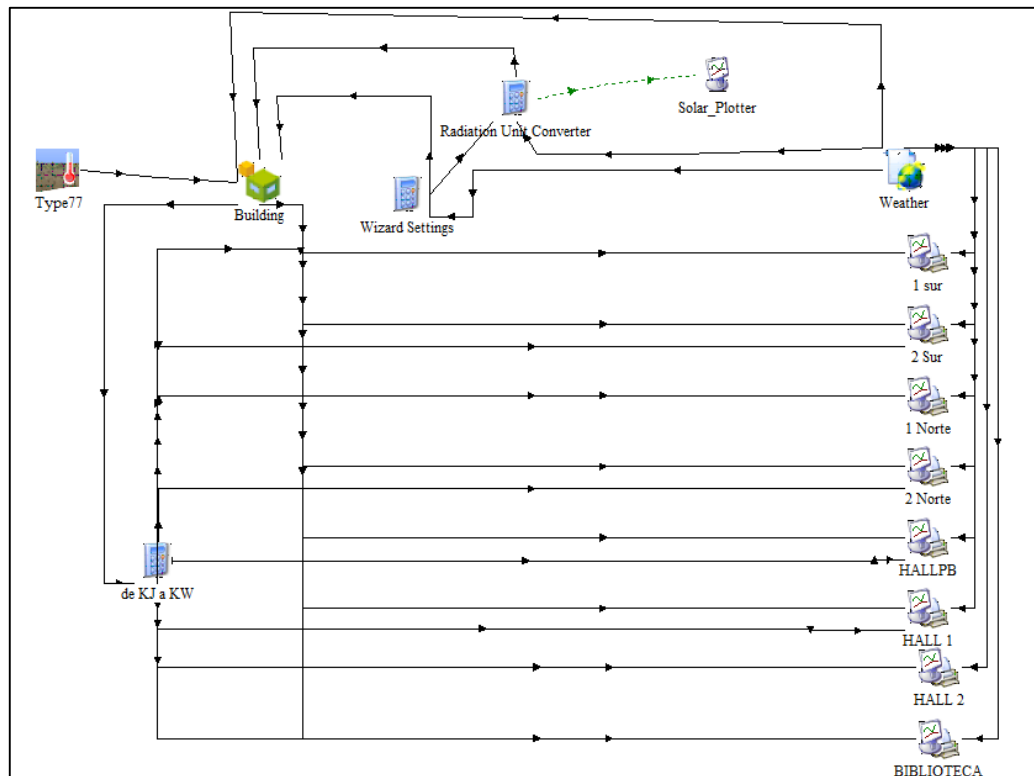


Figura 4-49 Interface de Simulation Studio para el Cuartel Francisco Moreno (Autoría propia)

Como la simulación es común a cada uno de los edificios, la configuración de cada uno tendrá la misma apariencia. A modo de resumen, los diferentes elementos utilizados son:



Figura 4-50 Type 56 (Autoría propia)

La Figura 4-50 modela el comportamiento térmico de un edificio que tiene múltiples zonas térmicas. La descripción del edificio se pasa al modelo mediante el archivo de descripción del edificio (.b18, .B17, .bui). Este archivo se puede generar con el programa preprocesador llamado TRNBuild o mediante Sketchup con la extensión de trnsys3d.



Figura 4-51 Type 65b (Autoría propia)

La Figura 4-51 se utiliza para mostrar las variables del sistema seleccionadas mientras avanza la simulación. Este componente proporciona información variable valiosa y permite a los usuarios ver inmediatamente si el sistema no está funcionando como se desea.

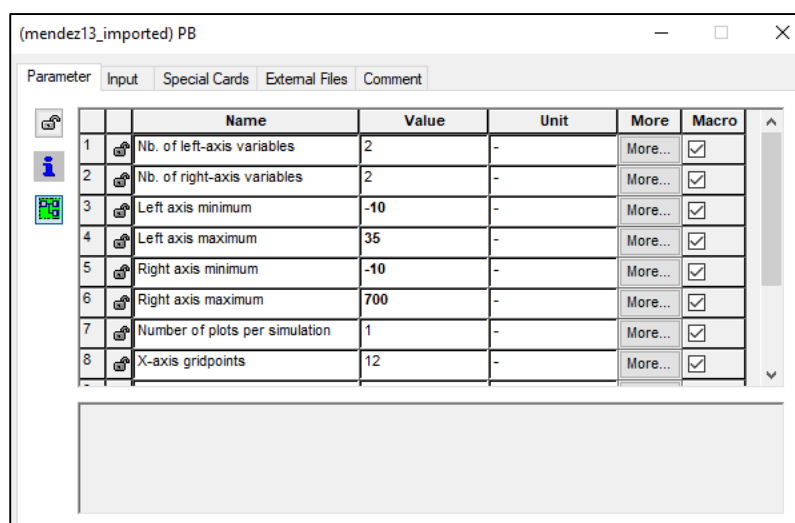


Figura 4-52 Ventana selección parámetros (Autoría propia)

Las variables seleccionadas se mostrarán en una ventana de gráfico separada en la pantalla, véase en Figura 4-52. En esta instancia, los datos enviados al trazador en línea se imprimen automáticamente, una vez por paso de tiempo, en un archivo externo definido por el usuario. El usuario debe proporcionar descriptores de unidad (kJ / hr, kg / s, degC, etc.), que se imprimirán junto con cada columna de datos en el archivo de salida.



Figura 4-53 Type 15-6 (Autoría propia)

La información que vamos a introducir en este type es la obtenida a partir del programa “Meteonorm” que nos dará la información de los últimos diez años en Pontevedra a partir de un registro que realiza una estación.

La Figura 4-53 sirve para leer datos a intervalos de tiempo regulares de un archivo de datos meteorológicos externos, interpolar los datos en intervalos de tiempo de menos de una hora y ponerlos a disposición de otros componentes de TRNSYS.

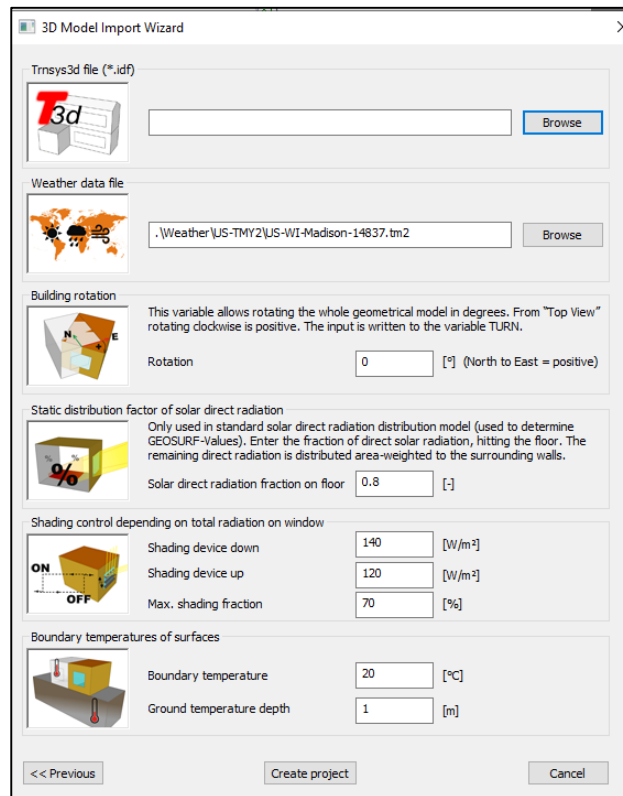


Figura 4-54 Ventana para importar archivo de Meteonorm (Autoría propia)



Figura 4-55 Equation (Autoría propia)

La Figura 4-55 tiene la función de aplicar ciertas operaciones a los inputs disponibles, útil para la realización de la conversión de unidades. En este trabajo se utilizó con el fin de pasar los KJ/h proporcionados a KWh, multiplicando cada input por 0,000278.

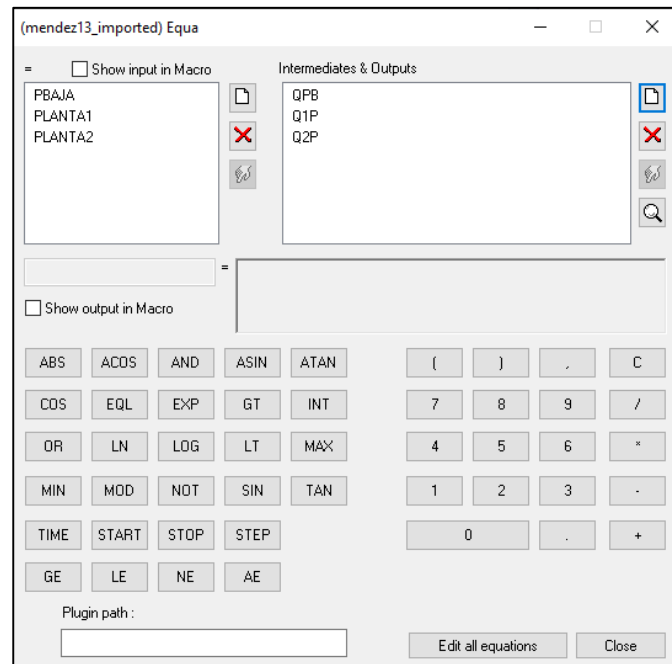


Figura 4-56 Ventana para realizar operaciones (Autoría propia)

4.3.3.2 Horarios de funcionamiento y ocupación

Con el fin de especificar en la simulación los periodos de tiempos en donde los edificios están siendo usados, se definirán con el “Schedule Type Manager”.

Los horarios se pueden definir como semanales o diarios. Por tanto, el horario tendrá valor de 1 para todas aquellas horas donde se encuentre ocupado y el valor de 0 cuando se encuentre vacío.

Horarios de Calefacción ENM 2020/2021		
Calderas	Arranca	Apaga
Cuartel Almirante "Francisco Moreno"	5:00	10:00
	17:00	0:00
	Fin de Semana	
	5:00	9:00
Cuartel "Méndez Núñez"	19:00	0:00
	5:00	8:00
	18:00	22:00
	Dormitorios	
Cuartel Marqués de la Victoria	5:00	7:00
	20:00	0:00
	Comedor	
	5:00	7:00
	20:00	0:00
	Ayudante Mayor, Cmte Guardia, Casino	
	5:00	7:00
	20:00	0:00
Patio de Aulas	7:00	17:00
Isaac Peral	Horario de Fin de Semana (Apagada)	
	6:00	12:00
	15:30	17:00

Figura 4-57 Horarios de calefacción en la ENM (Autoría propia)

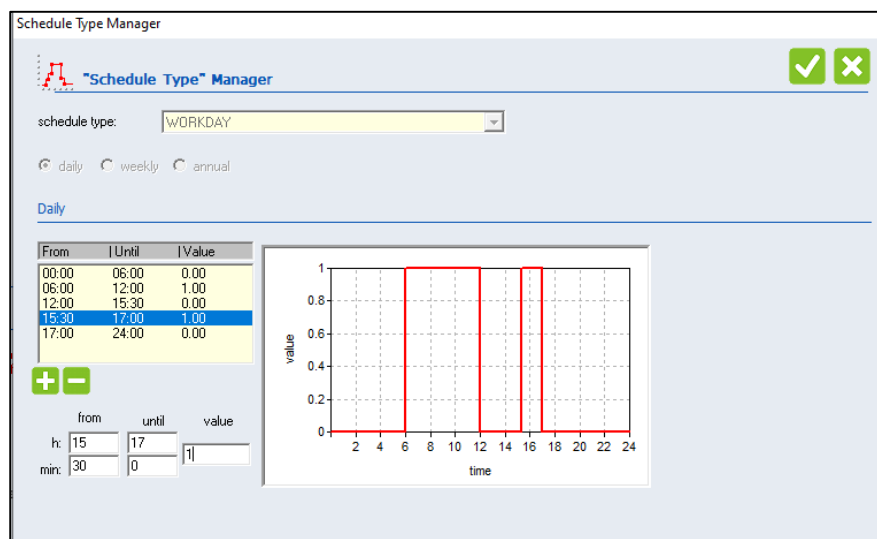


Figura 4-58 Ajuste Horario en TRNSYS (Autoría propia)

4.3.3.3 Características de las zonas térmicas

Cada zona térmica tendrá que tener definidas los valores de temperatura, humedad relativa, volumen, capacitancia, infiltraciones, calefacción/refrigeración, perfiles y materiales constructivos y, otras ganancias como la carga por iluminación, la carga por personas y la carga por equipos.

Como el archivo geométrico tridimensional fue creado por otro programa, los valores de volumen y capacitancia son calculados de forma automática.

Las infiltraciones se consideran como la entrada de aire del exterior al interior del edificio, definida como las renovaciones de aire por hora. Aspecto de gran importancia para la simulación.

Para la incorporar una determinada filtración en una zona térmica, es necesario crearlo primero en el “Infiltration Type Manager”. Para su definición, ésta solo tendrá sentido durante los periodos en aquellos edificios donde tengan lugar las clases.

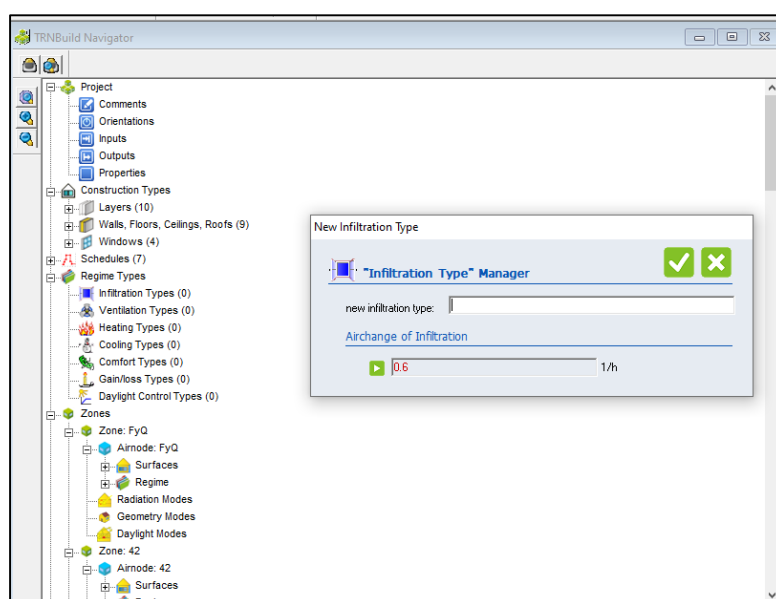


Figura 4-59 Cuadro Infiltraciones (Autoría propia)

Existen diversas maneras de obtener el valor de infiltraciones. Para este trabajo se ha empleado una herramienta online que establece los criterios de cálculo aplicables tanto al HE como a la calificación energética y son los que implementa la Herramienta Unificada Lider-Calener [17]

aurea consulting **DesignBuilder** DISTRIBUIDOR OFICIAL EN ESPAÑA

Te ofrecemos DesignBuilder Blog Comunidad

Infiltraciones conforme al CTE

El siguiente formulario permite calcular la tasa de infiltraciones conforme el documento *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* que establece los criterios de cálculo aplicables tanto al HE como a la calificación energética y son los que implementa la Herramienta Unificada Lider-Calener.

Edificio nuevo ☐ Edificio Existente ☒

Número de viviendas (0 si es terciario): Ventilación mecánica (ren/h):

Volumen (m³): Área de fachadas (m²): Área de cubiertas (m²):

Área de huecos (m²): Área de lucernarios (m²): Área de puertas (m²):

Clase de permeabilidad. De los huecos: De los lucernarios:

Tasa de infiltraciones resultante (ren/h):
0.454

Figura 4-60 Herramienta valor de infiltraciones creada por Aurea Design Builder (Autoría propia)

En la Tabla 4-7, Tabla 4-8, Tabla 4-9, Tabla 4-10 y Tabla 4-11 se muestran los valores de las infiltraciones utilizados para la simulación para cada uno de los edificios utilizados.

Zonas Térmicas Cuartel Fco. Moreno	Valores Infiltraciones
Hall Planta baja	0,325
Hall Primera Planta	0,454
Hall Segunda Planta	0,454
Biblioteca	0,542
Ala Sur Primera Planta	0,602
Ala Norte Primera Planta	0,602
Ala Sur Segunda Planta	0,602
Ala Norte Segunda Planta	0,602

Tabla 4-7 Valores Infiltraciones Cuartel Fco. Moreno (Autoría propia)

Zonas Térmicas Cuartel Marqués de la Victoria	Valores Infiltraciones
Planta baja	0,213
Primera planta	0,205
Segunda planta	0,205

Tabla 4-8 Valores Infiltraciones Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

Zonas Térmicas Cuartel Méndez Núñez	Valores Infiltraciones
Planta baja	0,194
Primera planta	0,206
Segunda planta	0,206

Tabla 4-9 Valores Infiltraciones Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia)

Zonas Térmicas Edificio Isaac Peral	Valores Infiltraciones
Aula 42	0,492
Aula 43	0,513
Aula 44	0,606
Aula 45	0,399
Aula 50	0,520
Aulas 51-53-55	0,289
Aula 52	0,520
Aula 54	0,331
Aula 56	0,270
Aula 57	0,436
Laboratorio de Física y Química	0,276
Hall Planta Baja	0,179
Hall Primera Planta	0,178
Laboratorio Aux.	0,478
Laboratorio Elec.	0,525
Laboratorio Mat.	0,420
Laboratorio Turb.	0,489
Laboratorio Mot	0,432
Sala de reuniones	0,190

Tabla 4-10 Valores Infiltraciones Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

Zonas Térmicas Patio de Aulas	Valores Infiltraciones
Zona 1	0,227
Zona 2	0,187
Zona 3	0,225
Zona 4	0,190
Zona 5	0,365
Zona 6	0,367
Zona 11	0,226
Zona 22	0,177
Zona 33	0,224
Simulador de navegación	0,183
Dep. Infantería	0,364
Aula 13	0,366

Tabla 4-11 Valores Infiltraciones Patio de Aulas (Autoría propia)

El perfil de calefacción debe realizarse en el “Heating Type Manager” y en el deben especificarse la temperatura objetivo y si la instalación cuenta con sistemas de deshumidificación. Al completar los datos, se puede incorporar la instalación de calefacción creada a cada una de las zonas térmicas.

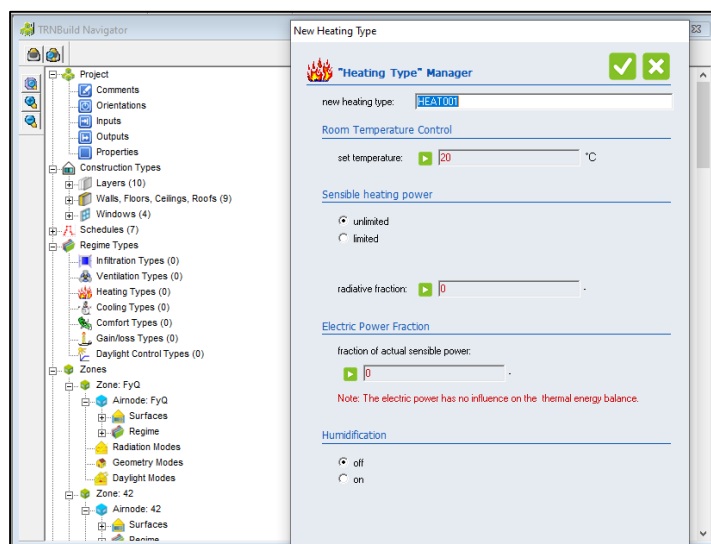


Figura 4-61 Cuadro Calefacción (Autoría propia)

Asignar el material con el que se va a construir cada uno de los elementos será necesario. Para ello, es necesario crear los materiales que se van a emplear en el proyecto, usando “Layer Type Manager”.

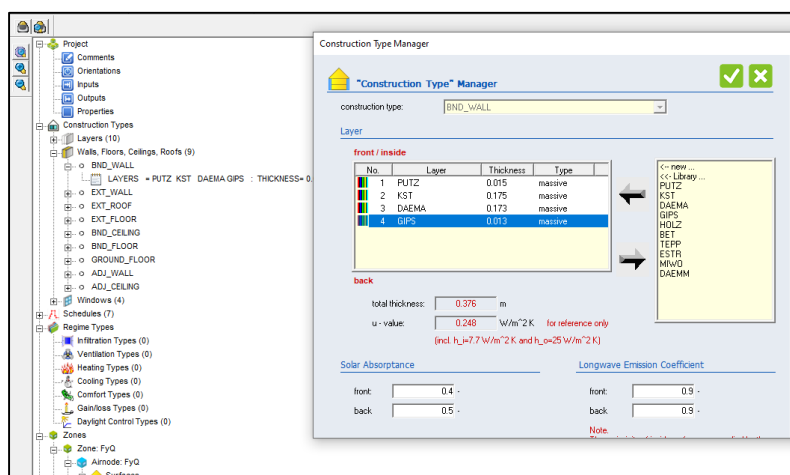


Figura 4-62 Cuadro Selección materiales de cerramientos (Autoría propia)

Definidos los materiales a emplear, es necesario conformar cada uno de los elementos mediante el “Wall Type Manager”. Se incorporarán según su orden de dentro a fuera con sus correspondientes espesores.

Finalmente, falta indicar el número de renovaciones por hora que se realizarán en cada de las zonas térmicas de cada edificio. Este parámetro será determinante para establecer una comparativa entre la demanda energética en tiempos sin COVID19 y para los tiempos de COVID19.

Figura 4-63 Personalización de renovaciones de aire por hora (Autoría propia)

Los valores utilizados para las simulaciones serán los valores recomendados en la normativa [1], siendo estos:

- ACH 1,5 para espacios sin protocolos frente al COVID19
- ACH 6 para espacios con protocolos frente al COVID19

Acabada la definición de los parámetros anteriores para cada una de las zonas térmicas, se completará la realización del modelo para permitir realiza el calculo en la simulación. Para llegar al resultado de la simulación, es necesario exportar los datos al programa Simulation Studio.

5 RESULTADOS

Los resultados se han extraído del programa Simulation Studio mediante TRNExe.

5.1 Validación de resultados

Realizadas las simulaciones, es necesario contrastar si los resultados entran dentro de unos parámetros que definen el buen comportamiento del sistema de simulación. A través de los datos obtenidos en la simulación se determinará si nuestro sistema funciona correctamente a partir de los datos teóricos y reales o si difiere de lo que deberíamos obtener.

Se decidió realizar la evaluación de los resultados durante un año natural, centrando el foco en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre. El motivo de la selección de estos meses se debe a que sólo tenemos los valores reales de ese periodo del año con los protocolos COVID19 para la Escuela Naval Militar.

Mencionar que los datos, proporcionados por el departamento de mantenimiento sobre el edificio, son valores en donde se incluyen el consumo de calefacción y ACS. De ese modo y como la calefacción queda encendida entre el 1 noviembre al 1 de mayo, podremos concretar un consumo medio de ACS al mes. El valor se obtiene realizando una media de valores entre los meses en donde la calefacción no fue encendida, resultando que el consumo medio de ACS al mes es de 26 MWh. Este valor medio obtenido será restado de los consumos reales para comparar equitativamente.

A continuación, se pueden apreciar los resultados obtenidos en las simulaciones para cada uno de los edificios junto a los valores reales.

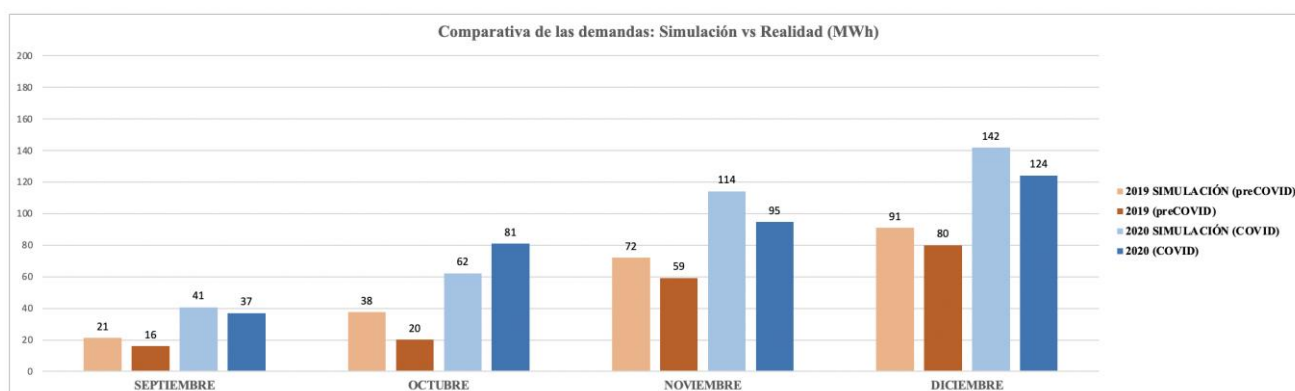


Figura 5-1 Comparativa del Gas natural del Cuartel Fco. Moreno (Autoría propia)

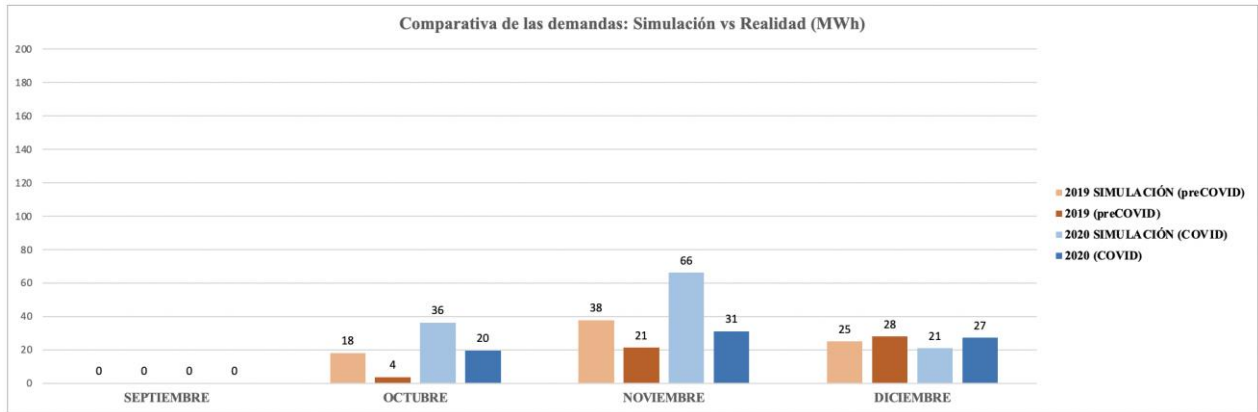


Figura 5-2 Comparativa del Gas natural del Edificio Isaac Peral (Autoría propia)

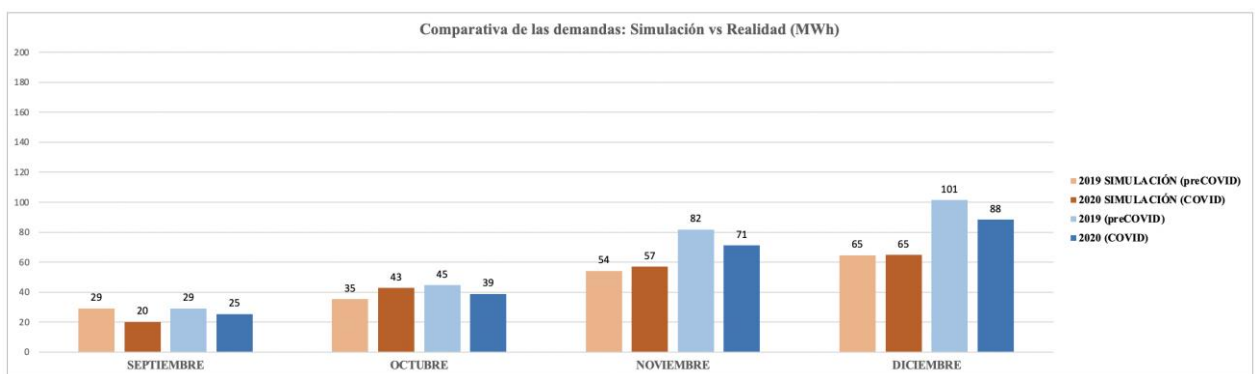


Figura 5-3 Comparativa del Gasóleo “C” del Cuartel Méndez Núñez (Autoría propia)

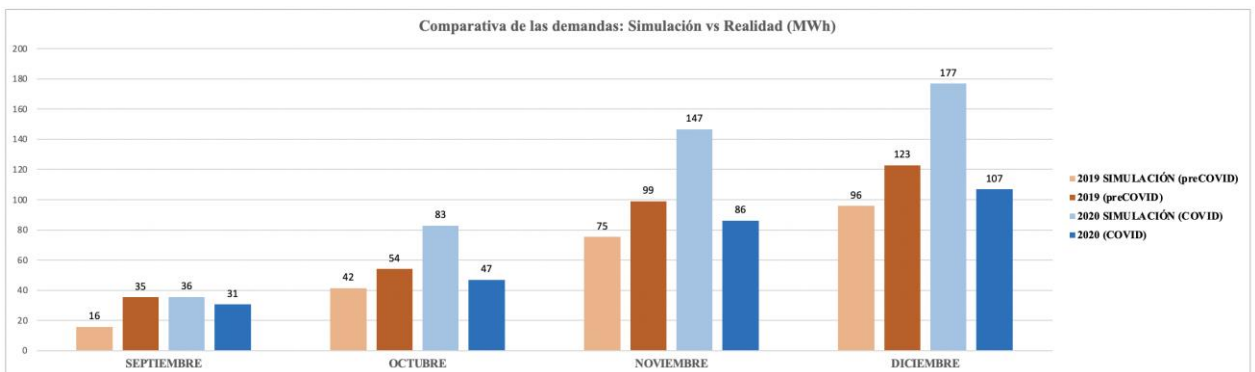


Figura 5-4 Comparativa del Gasóleo “C” del Patio de Aulas (Autoría propia)

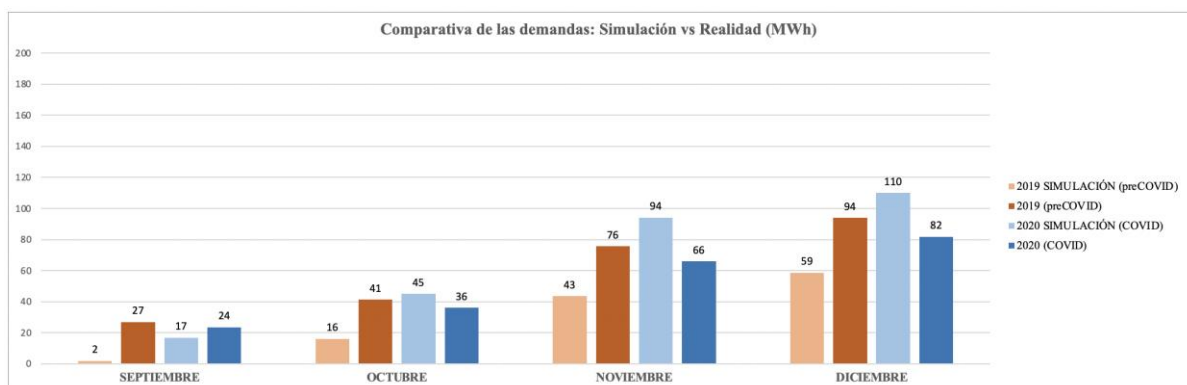


Figura 5-5 Comparativa del Gasóleo “C” del Cuartel Marqués de la Victoria (Autoría propia)

Se concluye estos resultados como favorables, en términos de mismo orden de magnitud, y son válidos proceder al análisis de los resultados obtenidos.

5.2 Análisis energéticos

Los resultados obtenidos mediante TRNExe son de la siguiente manera:

- **Gráficos** (Figura 5-6) representados durante un año donde se aprecian valores de temperatura ambiente, temperatura interior y consumo de calefacción de la zona térmica. Las unidades mostradas en los gráficos son; temperaturas en grados centígrados y consumos de calefacción en KWh.
- **Tablas de datos** (Figura 5-7) de temperatura ambiente, temperatura interior y consumo de calefacción de la zona térmica.

El resultado de las todas las zonas térmicas queda reflejado en el Anexo I: Gráficas de resultados.

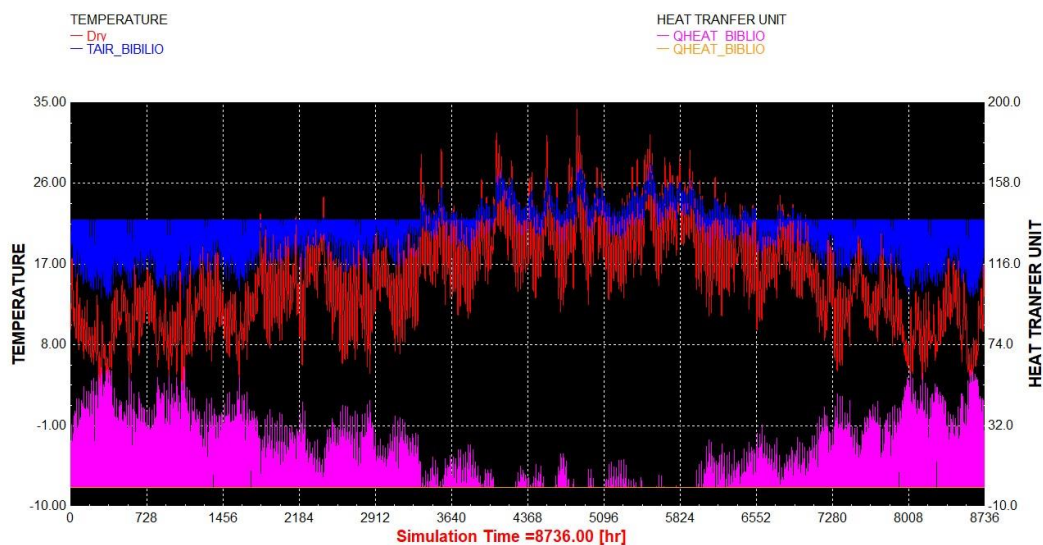


Figura 5-6 Simulación Biblioteca periodo preCovid (Autoría propia)

TIME	QHEAT_BIBLIO	RfV	TAIR_BIBLIO	QHEAT_BIBLIO
HOURS	=C	=C	kJ/h	kJ/h
+0.000000000000E+00	+9.800000000000E+00	+2.000000000000E+01	+0.000000000000E+00	
+0.000000000000E+00	+1.125000000000E+01	+1.6955677733140437E+01	+0.000000000000E+00	
+1.000000000000E+00	+1.260000000000E+01	+1.6652436509129444E+01	+0.000000000000E+00	
+2.000000000000E+00	+1.245000000000E+01	+1.7030715524793742E+01	+0.000000000000E+00	
+3.000000000000E+00	+1.235000000000E+01	+1.6405232202674877E+01	+0.000000000000E+00	
+4.000000000000E+00	+1.225000000000E+01	+1.6594624836655459E+01	+0.000000000000E+00	
+5.000000000000E+00	+1.220000000000E+01	+1.8523349302785136E+01	+2.2405722977451404E+01	
+6.000000000000E+00	+1.215000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+4.880578914926241E+01	
+7.000000000000E+00	+1.210000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+4.7834077542823870E+01	
+8.000000000000E+00	+1.235000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+4.6026409772075326E+01	
+9.000000000000E+00	+1.320000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+4.0052083463537886E+01	
+1.000000000000E+01	+1.440000000000E+01	+1.8460918462471074E+01	+0.000000000000E+00	
+1.100000000000E+01	+1.555000000000E+01	+1.8244471853639617E+01	+0.000000000000E+00	
+1.200000000000E+01	+1.665000000000E+01	+1.9427919050740389E+01	+0.000000000000E+00	
+1.300000000000E+01	+1.744999999999E+01	+1.928582512034071E+01	+0.000000000000E+00	
+1.400000000000E+01	+1.765000000000E+01	+1.955038044174046E+01	+0.000000000000E+00	
+1.500000000000E+01	+1.735000000000E+01	+1.893423116309356E+01	+0.000000000000E+00	
+1.600000000000E+01	+1.675000000000E+01	+1.8747547653214578E+01	+0.000000000000E+00	
+1.700000000000E+01	+1.605000000000E+01	+1.972237517881844E+01	+1.51331444512786370E+01	
+1.800000000000E+01	+1.550000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+3.438738595213084E+01	
+1.900000000000E+01	+1.510000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+3.5130264543004678E+01	
+2.000000000000E+01	+1.475000000000E+01	+2.2000000000000000E+01	+3.5867521217416424E+01	
+2.100000000000E+01				

Figura 5-7 Valores de la simulación en formato texto (Autoría propia)

Debido a la excesiva cantidad de datos por cada una de las zonas térmicas de cada edificio, se ha decidido realizar la comparativa en conjunto para cada uno de los edificios. La mencionada comparativa se realizará con las variaciones de temperaturas de los edificios y, por otro lado, las variaciones de los consumos. Ambos para las dos situaciones a estudio: preCovid y Covid.

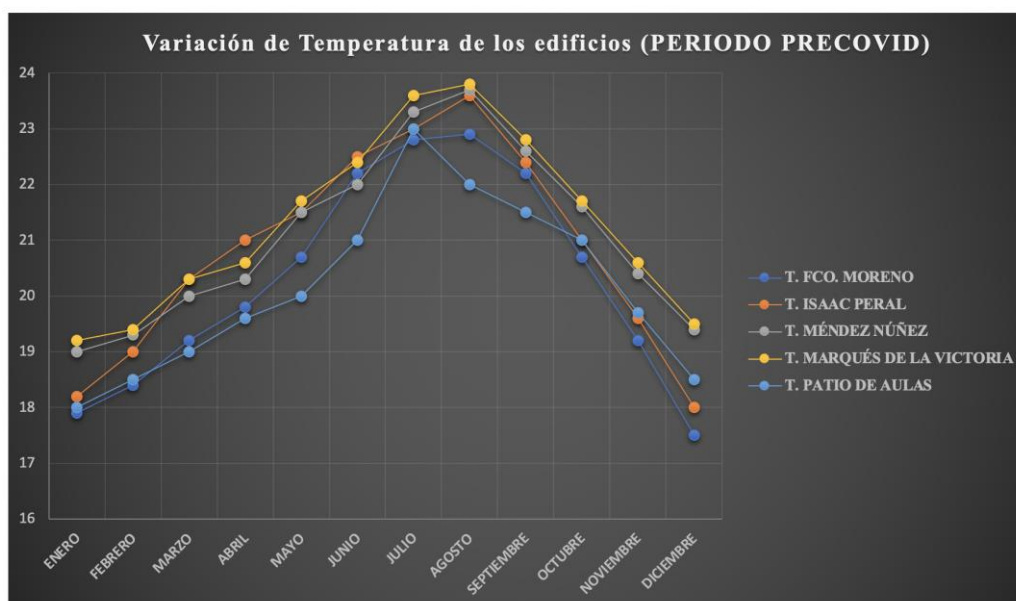


Figura 5-8 Variación de temperatura edificios periodo preCovid (Autoría propia)

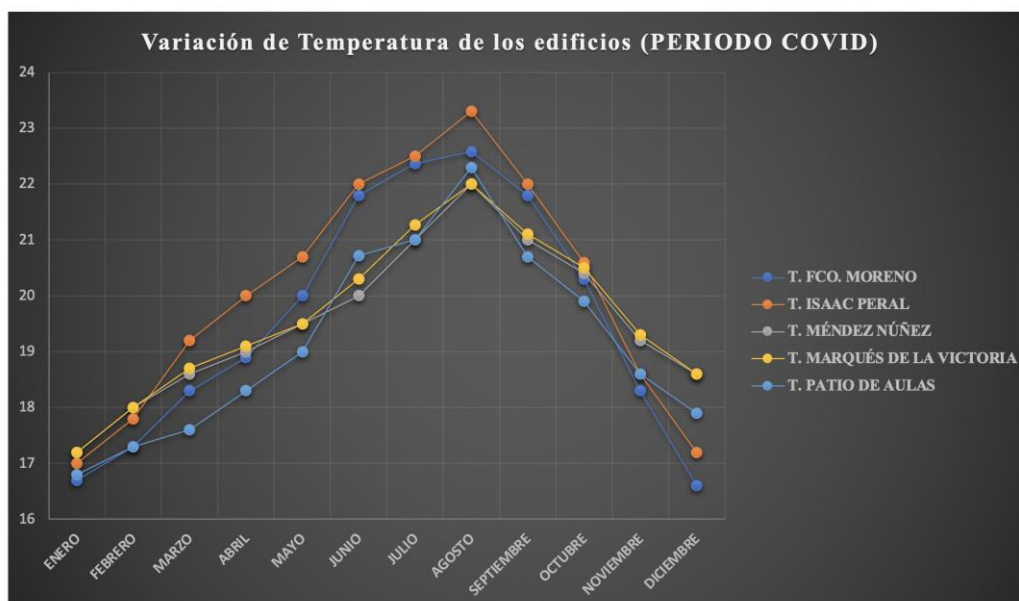


Figura 5-9 Variación de temperatura edificios periodo Covid (Autoría propia)

Centrando el foco en un edificio, se muestra la variación de la temperatura en la Figura 5-10 y la variación de la demanda energética en la Figura 5-11 del cuartel Almirante Francisco Moreno

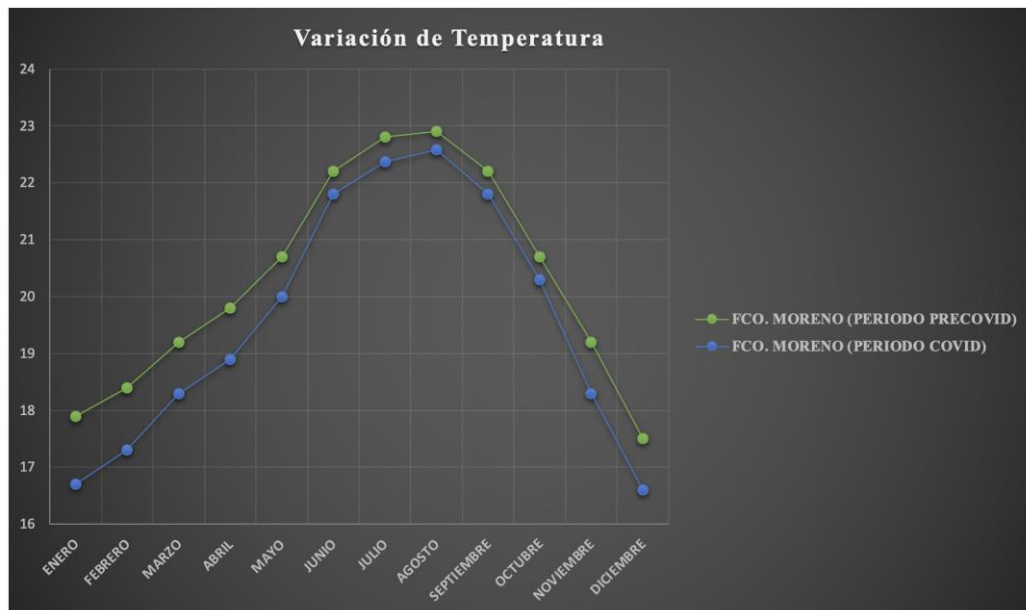


Figura 5-10 Variación Temperatura Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

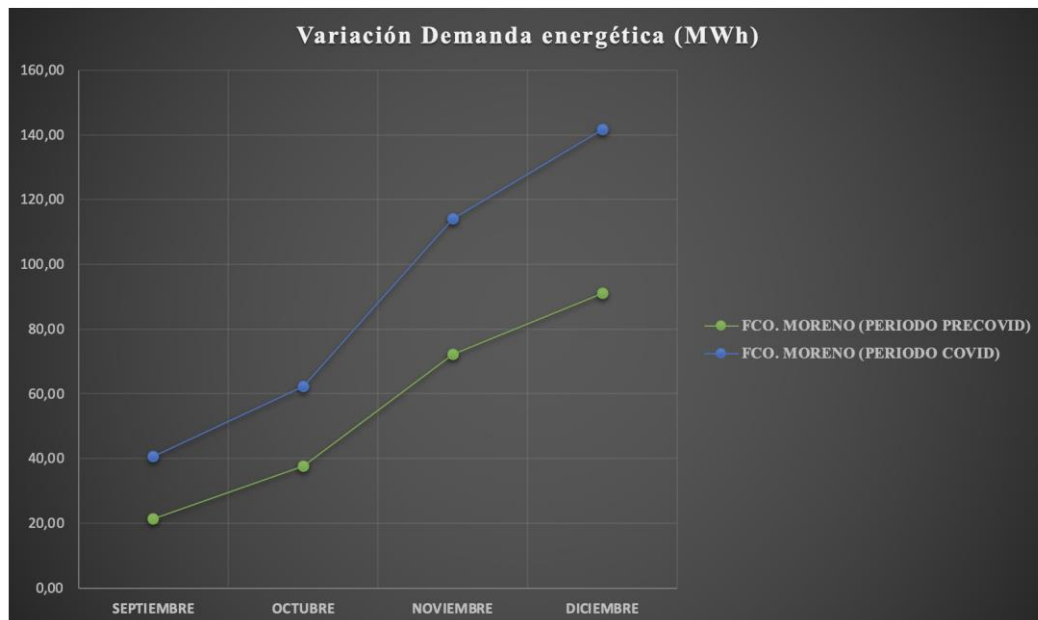


Figura 5-11 Variación Demanda Energética Cuartel Almirante Francisco Moreno (Autoría propia)

Respecto a la demanda energética de los edificios, en la Figura 5-12 se puede apreciar la variación de la misma durante los meses de septiembre a diciembre para el periodo preCovid.

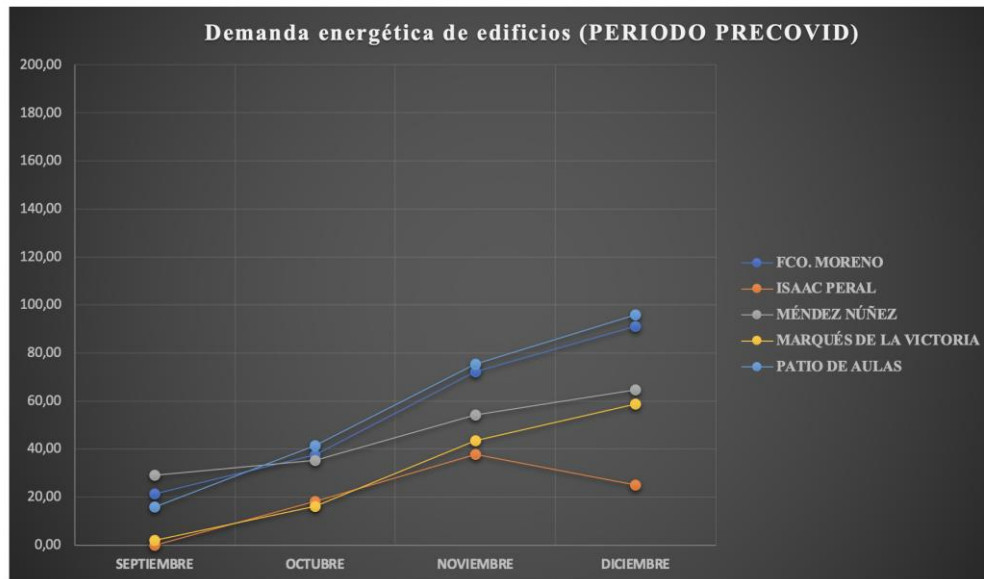


Figura 5-12 Demanda energética edificios periodo preCovid (Autoría propia)

Por otro lado, para el periodo Covid, la Figura 5-13 muestra la demanda energética para los edificios llevados a estudio durante los meses de septiembre a diciembre.

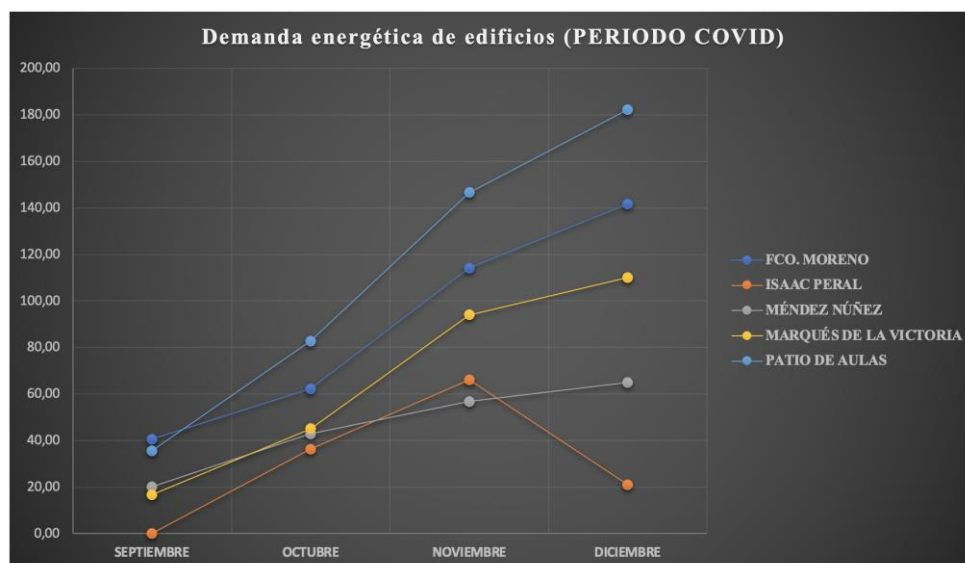


Figura 5-13 Demanda energética edificios periodo Covid (Autoría propia)

5.3 Análisis de resultados

Realizadas las simulaciones y recogidos los valores obtenidos tanto por la parte de la simulación como de la realidad se puede destacar lo siguiente:

- En la simulación, los edificios con gas natural (Figura 5-14) han seguido la tendencia que se esperaba desembocando en un aumento del consumo energético debido a los protocolos de ventilación llevados a cabo en su interior. Este aumento, se corresponde con un aumento del 52%, pasando de 226 MWh a 343 MWh para los meses de noviembre y diciembre.

SIMULACIÓN: DEMANDA GAS NATURAL (MWh)			
EDIFICIOS	PreCOVID	COVID	% Aumento
Cuartel Fco. Moreno	163	256	57%
Isaac Peral	63	87	39%
TOTAL	226	343	52%

Figura 5-14 Consumos de gas natural obtenidos con la simulación (Autoría propia)

- En la realidad, estos edificios con gas natural (Figura 5-15) también han aumentado su demanda. Este aumento ha sido del 47%, pasando de 189 MWh a 277 MWh para los meses de noviembre y diciembre.

REALIDAD: DEMANDA GAS NATURAL (MWh)			
EDIFICIOS	PreCOVID	COVID	% Aumento
Cuartel Fco. Moreno	139	219	57%
Isaac Peral	49	58	19%
TOTAL	189	277	47%

Figura 5-15 Consumos reales de gas natural (Autoría propia)

- En la simulación de los edificios con gasóleo "C" (Figura 5-16) han seguido la tendencia esperada como los de gas natural, dando lugar a un aumento del consumo energético debido a los protocolos de ventilación llevados a cabo en su interior. Este aumento, se corresponde con un aumento del 66%, pasando de 392 MWh a 649 MWh para los meses de noviembre y diciembre.

SIMULACIÓN: DEMANDA GASÓLEO "C" (MWh)			
EDIFICIOS	PreCOVID	COVID	% Aumento
Cuartel Méndez Núñez	119	122	3%
Cuartel Marqués de la Victoria	102	204	100%
Patio de Aulas	171	324	89%
TOTAL	392	649	66%

Figura 5-16 Consumos de gasóleo "C" obtenidos con la simulación (Autoría propia)

- Sin embargo, a la hora de analizar los valores reales de demanda de gasóleo "C" (Figura 5-17) se observa lo contrario. Según estos valores, se ha consumido más durante el 2019 que en 2020. Esto es algo llamativo debido a que, manteniendo unas mismas condiciones (horarios de calefacción, uso de instalaciones, alojamiento de personal, etc), el consumo ha sido menor pese a los protocolos establecidos de renovaciones de aire. La falta de tiempo, disponibilidad y la falta de conocimiento sobre una distribución exacta de la distribución real de gasóleo "C" han impedido medir y cuantificar tanto las renovaciones de aire como la temperatura en esos edificios. Por tanto, no se puede atribuir a una causa específica. Es por ello, que dicha problemática se haya propuesto como una de las líneas futuras expuestas en el presente trabajo

REALIDAD: DEMANDA GASÓLEO "C" (MWh)			
EDIFICIOS	PreCOVID	COVID	% Disminución
Cuartel Méndez Núñez	183	160	13%
Cuartel Marqués de la Victoria	169	148	13%
Patio de Aulas	222	193	13%
TOTAL	575	501	13%

Figura 5-17 Consumos reales de gasóleo "C" (Autoría propia)

5.4 Estudio económico

5.4.1 Costes de los combustibles

Para dar unas estimaciones del impacto que ha tenido el COVID19 se ha de proceder a realizar unas conversiones. Estas conversiones son necesarias ya que tanto el gas natural como el gasóleo se cuantifica su precio en m^3 .

En el caso de gas natural, se aplicará un factor de conversión ($11,63 \text{ kW}/m^3$) para pasar a kW. En el caso del gasóleo, se aplicará otro factor de conversión (PCI del gasóleo, siendo el valor de éste de $9,98 \text{ kWh/L.}$)

En lo relativo a los precios, el gas natural ronda los $0,058 \text{ €/KWh}$, llegando en ocasiones a los $0,06 \text{ €/KWh}$. Sin embargo, estos precios varían en función de la compañía en cuestión, por tanto, se hará uso del valor de $0,059 \text{ €/KWh}$.

Por otro lado, el precio del gasóleo “C” varía cada día y tiene un coste diferente en cada comunidad autónoma. Para Galicia el precio medio ronda los $0,8330 \text{ €/litro}$.

5.4.2 Estimación del consumo preCOVID y COVID

Conociendo ambos costes unitarios de combustible se puede analizar los gastos que han tenido lugar tanto en 2019 como en 2020 en los meses de noviembre y diciembre (meses con la calefacción encendida).

En primer lugar, se procede a realizar un cálculo del gasto total que ha supuesto a la ENM la incorporación de protocolos COVID19.

	CONSUMOS 2019 (MWh)			CONSUMOS 2020 (MWh)		
NOMBRE EDIFICIO	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
ISAAC PERAL	21	28	49	31	27	58
CUARTEL FRANCISCO MORENO	59	80	139	95	124	219
COCINA ALUMNOS	7	9	16	9	8	17
COCINA DOTACIÓN	3	3	5	2	2	4
RESIDENCIA SUBOFICIALES	31	35	66	27	26	52
PISCINA	98	112	210	107	103	211
LABORATORIOS CUD	10	15	26	10	14	24
RESIDENCIA OFICIALES	56	58	114	43	42	84
PABELLONES DE CARGO	73	77	150	70	65	135
	TOTAL en MWh		774	TOTAL en MWh		804
	PRECIO TOTAL		45.661,28 €	PRECIO TOTAL		47.455,47 €

Figura 5-18 Consumos reales de gas Natural de la ENM (Autoría propia)

Como se puede apreciar en la Figura 5-18, el consumo de la Escuela Naval Militar en gas natural ha aumentado y a desembocado en un mayor gasto. Este gasto ha significado un aumento de un 4%. Sin embargo, este valor no ha aumentado tanto a nivel global ya que la pandemia ha provocado un menor uso de otros edificios como las residencias de suboficiales y oficiales y laboratorios del CUD.

PERIODO	CONSUMOS (MWh)	PRECIO TOTAL
2019	868	72.471,00 €
2020	758	63.308,00 €

Figura 5-19 Consumos reales de gasóleo “C” de la ENM (Autoría propia)

En la Figura 5-19 se muestran el gasto de gasóleo “C” de la Escuela Naval Militar. Como se ha explicado anteriormente; la falta de tiempo, disponibilidad y la falta de conocimiento sobre una distribución exacta de la distribución real de gasóleo “C” han impedido medir y cuantificar tanto las

renovaciones de aire como la temperatura en esos edificios. Es por ello, que dicha problemática se haya propuesto como una de las líneas futuras expuestas en el presente trabajo.

En segundo lugar, queda indicar el gasto para las simulaciones. Es de importancia recalcar que las simulaciones llevadas a cabo son estimaciones para unos valores de renovaciones de aire por hora establecidos por normativa [1], siendo:

- Periodo **preCovid**: 1,5 ACH
- Periodo **Covid**: 6 ACH

Tras los resultados obtenidos en la simulación, se procederá a multiplicar los resultados obtenidos por factores de rendimientos de calderas acorde a cada edificio. Estos valores de rendimientos se pueden apreciar en el Anexo III: Calderas de la Escuela Naval Militar, en donde se desglosan las características de las calderas y sus rendimientos.

De esta manera, los rendimientos para cada uno de los edificios serán:

- **Cuartel Almirante Francisco Moreno**; rendimiento de la caldera del 91%.
- **Edificio Isaac Peral**; rendimiento de la caldera del 92%.
- **Cuartel "Méndez Núñez"**; rendimiento de la caldera del 85 %.
- **Cuartel "Marqués de la Victoria"**; rendimiento de la caldera del 90%.
- **Patio de Aulas**; rendimiento de la caldera del 90%.

Finalmente, tras conocer los valores de los consumos para noviembre y diciembre de los edificios, se procede a la estimación del gasto. Para ello, bastará con multiplicar, en las unidades correspondientes, las cantidades de gas natural como de gasóleo "C" por sus equivalencias en euros. Véase en la Figura 5-20 y la Figura 5-21.

VALORES DE LA SIMULACIÓN EN KWH DE 2019				
Edificio	Consumo Noviembre	Consumo Diciembre	Total	Precio Total
Cuartel Almirante Francisco Moreno	49349	58741	108090	6.377 €
Edificio Isaac Peral	3478	23000	26478	1.562 €
Cuartel Méndez Núñez	46096	54868	100963	8.427 €
Cuartel Marqués de la Victoria	39123	52839	91962	7.676 €
Patio de Aulas	6786	87178	93964	7.843 €

Figura 5-20 Gasto total 2019 según la simulación de Gas natural y Gasóleo "C" (Autoría propia)

VALORES DE LA SIMULACIÓN EN KWH DE 2020				
Edificio	Consumo Noviembre	Consumo Diciembre	Total	Precio Total
Cuartel Almirante Francisco Moreno	103913	128956	232869	13.739 €
Edificio Isaac Peral	60803	19348	80150	4.729 €
Cuartel Méndez Núñez	48340	55174	103513	8.640 €
Cuartel Marqués de la Victoria	84645	99000	183645	15.328 €
Patio de Aulas	131940	163980	295920	24.700 €

Figura 5-21 Gasto total 2020 según la simulación de Gas natural y Gasóleo "C" (Autoría propia)

La Figura 5-20 y la Figura 5-21 muestran la conversión a euros de los consumos obtenido fruto de la simulación.

Se puede concluir que el uso de protocolos dentro de todos los espacios cerrados ha supuesto un aumento del gasto en términos de calefacción dentro de la simulación.

5.5 Propuesta de actuación

Establecer unos criterios para encuadrar una situación ideal es algo complejo debido a las numerosas relaciones existentes entre los elementos. Sin embargo, haré uso de la ley de Pareto para darle inicio a esta valoración.

La ley de Pareto describe la distribución desigual y el desequilibrio entre el trabajo y el rendimiento. Establece que el 80% de las consecuencias están motivadas por el 20% de las causas.

De esta manera, podremos decir que el 80% de los aumentos de los gastos vienen debido un 20% de los edificios. Estos serán, por tanto, los que mayor consumo tengan.

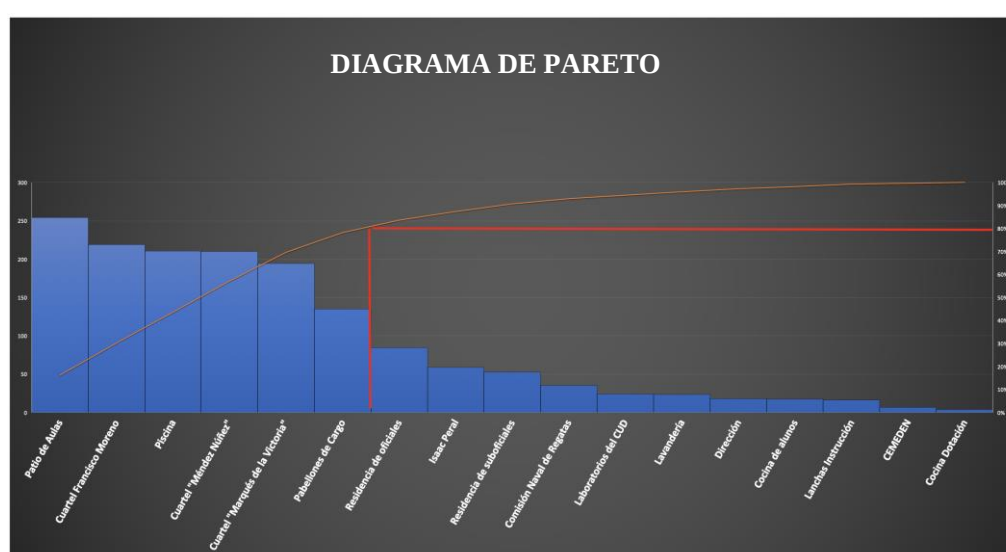


Figura 5-22 Diagrama de Pareto (Autoría propia)

Como se puede observar en la Figura 5-22, los edificios de dónde proviene el 80% del consumo total son:

- Patio de Aulas (Gasóleo "C")
- Cuartel Almirante Francisco Moreno (Gas natural)
- Piscina (Gas natural)
- Cuartel Méndez Núñez (Gasóleo "C")
- Cuartel Marqués de la Victoria (Gasóleo "C")
- Pabellones de cargo (Gas natural)

Entre los edificios mencionados descartaremos la piscina y pabellones de cargo. El descarte de ambos se debe que se requieren valores experimentales para, primero, analizar las envolventes térmicas de esos dos espacios y, posteriormente, unos parámetros de condiciones de contorno para poder llevarlos a la simulación.

Por otro lado, nos centraremos exclusivamente en la personalización de los parámetros para el Patio de Aulas, cuartel Almirante Francisco Moreno, cuartel Méndez Núñez y cuartel Marqués de la Victoria debido a que las simulaciones realizadas en el presente proyecto.

5.5.1 Reducción de las ACH

Tal y como se ha podido apreciar en la Figura 5-13, al seleccionar la opción de ACH 6, los consumos de calefacción adquieren valores muy elevados.

Por tanto, se propone la opción de sustituir este valor por el valor de ACH 4. La elección de este valor se debe a que la normativa [1] indica que con ese valor se consigue una sustitución del aire superior al 95%.

Para la realización de los cálculos, se ha seguido el mismo procedimiento llevado a cabo anteriormente. Se ha realizado una nueva simulación, cambiando ese valor de 6 ACH por el de 4 ACH, de los edificios seleccionados obteniendo las demandas de calefacción para los distintos meses. Posteriormente, se ha pasado a una plantilla Excel para el tratamiento de datos. En la plantilla, se ha incorporado los datos de la simulación y han sido multiplicados por los coeficientes de rendimientos acordes a cada edificio.

Finalmente, se ha calculado el gasto multiplicando, en las unidades correspondientes, tanto las cantidades de gas natural como de gasóleo “C” por sus equivalencias en euros.

VALORES DE LA SIMULACIÓN EN KWH DE 2020				
Edificio	Consumo Noviembre	Consumo Diciembre	Total	Precio Total
Cuartel Almirante Francisco Moreno	77860	96624	174484	10.295 €
Cuartel Méndez Núñez	3714	4239	7952	6.624 €
Cuartel Marqués de la Victoria	6503	7606	14108	11.752 €
Patio de Aulas	10136	12598	22734	18.937 €

Figura 5-23 Gasto 2020 según la simulación para ACH 4 (Autoría propia)

Realizando la simulación y extrayendo los valores numéricos se concluye que esta modificación supone un ahorro de un 23% respecto al escenario planteado para 6 ACH. Este 23% significa ahorrar cerca de unos 14.798€ para los meses de noviembre y diciembre, en términos de calefacción.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

Una vez finalizado todo el trabajo de estudio y análisis sobre el impacto que ha generado el COVID19 es necesario establecer las conclusiones a las que se han llegado a lo largo de la realización de este proyecto.

Se ha comprobado la idoneidad para los fines del trabajo de la metodología y software empleados, aunque existen ciertas limitaciones o dificultades a la hora de importar los datos generados de las geometrías por Sketcup a Trnsys debido a que este último no identifica correctamente paredes adyacentes y/o distintas geometrías. Debido a esto, para la realización de las simulaciones se ha tenido que recurrir a geometrías más básicas. Las circunstancias que durante los meses de realización del TFG debido al impacto del COVID han afectado a los alumnos en la ENM también han dificultado y retrasado la disponibilidad en tiempo y forma del software específico que se ha utilizado.

La imposibilidad de disponer/ realizar mediciones en las instalaciones objeto de estudio ha obligado a que las simulaciones en los contextos preCOVID y COVID se circunscriban a valores normativos, considerando a estos efectos el número de renovaciones de aire recomendadas [1] a 1,5 ACH (preCOVID) y 6 ACH (periodo COVID), demostrándose un incremento del número de renovaciones proporciona un aumento en las demandas de calefacción, así como disminución de la temperatura en la estancia considerada.

Se ha propuesto (asimismo en consideraciones normativas) como una reducción desde 6 ACH a 4 ACH permite lograr unos valores de renovaciones de aire suficientemente válidos, permitiendo además una reducción significativa del coste económico asociado.

Por otro lado, a la vista de los valores reales de consumo proporcionados por la ENM de gas natural y gasóleo “C” durante los periodos preCOVID (2019) y COVID (2020) se evidencia que el gasto de gas natural aumentó como consecuencia de los protocolos COVID, provocando un aumento en el gasto de 1.794 €, lo que se traduce de un aumento del 4%.

Hay que tener en cuenta que el análisis de todos estos datos está condicionado además por las variaciones que ha habido en el uso de los edificios por la, en especial en edificios como las residencias de suboficiales y oficiales, y laboratorios del CUD.

En el caso del gasóleo “C”, el hecho de disponer únicamente de los consumos de forma global en todos los edificios que utilizan este combustible (y no desagregada por edificio) no permite un análisis en la profundidad deseada. Se aprecia una disminución global del consumo en 2020 respecto a 2019 en este combustible, pero no se pueden establecer conclusiones más precisas por los motivos expuestos.

6.2 Líneas futuras

Durante la realización de este trabajo, se ha centrado el foco de atención sobre aquellos edificios que suponen un gasto elevado en la demanda de calefacción.

- Añadir en la medida de lo posible, valores experimentales de variables determinantes como temperaturas en los distintos espacios, así como métodos de cuantificación del caudal de aire (y por tanto renovaciones de aire reales), de modo que pueda aplicarse la metodología seguida en este TFG con valores reales y no simulaciones en base a normativa, como se ha hecho.
- Ampliar el periodo de estudio de modo que permita obtener unos datos más cercanos a la realidad y cuantificar la incidencia de la pandemia de un modo más fiable.
- Obtener la desagregación de los datos de consumo totales de gasóleo “C” de toda la ENM (con los que se ha trabajado en este TFG) para imputar qué parte corresponde a cada edificio y de esta manera analizar el impacto que la pandemia sin una aproximación por volúmenes respecto al total.
- Se propone analizar el resto de edificios con el fin de aproximar, aún más, el valor proporcionado por el presente trabajo.
- Dado el elevado consumo que tiene lugar en la piscina de la Escuela Naval Militar, por su singularidad y necesidades específicas debido a su tipología, se recomienda su tratamiento de forma específica.

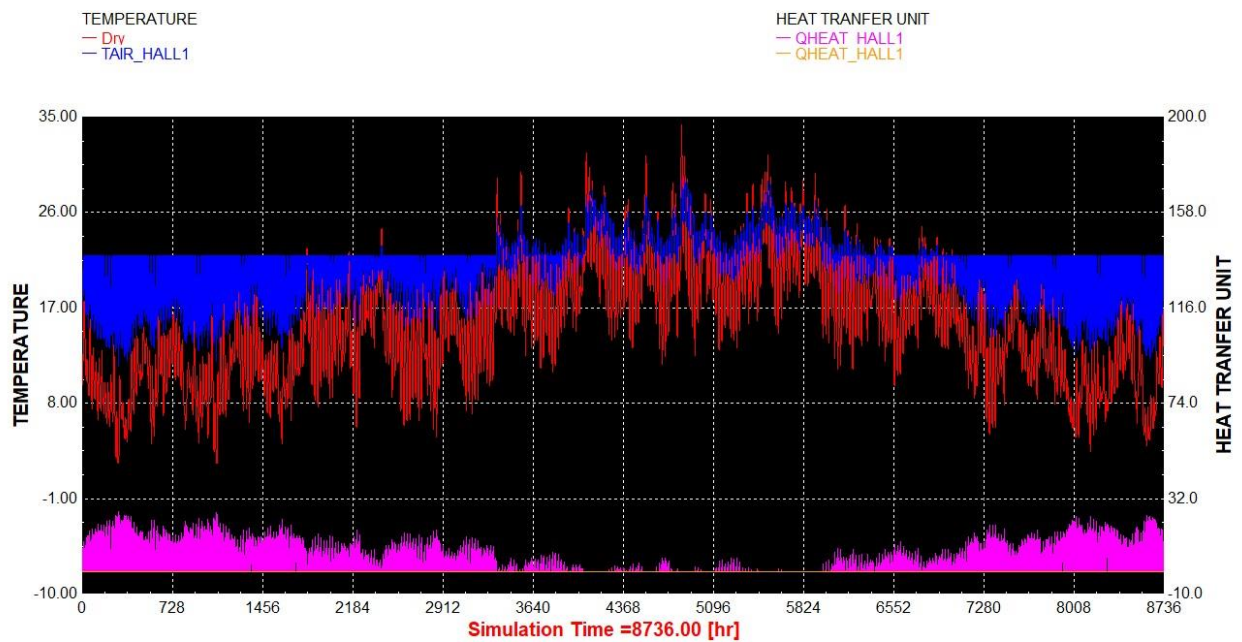
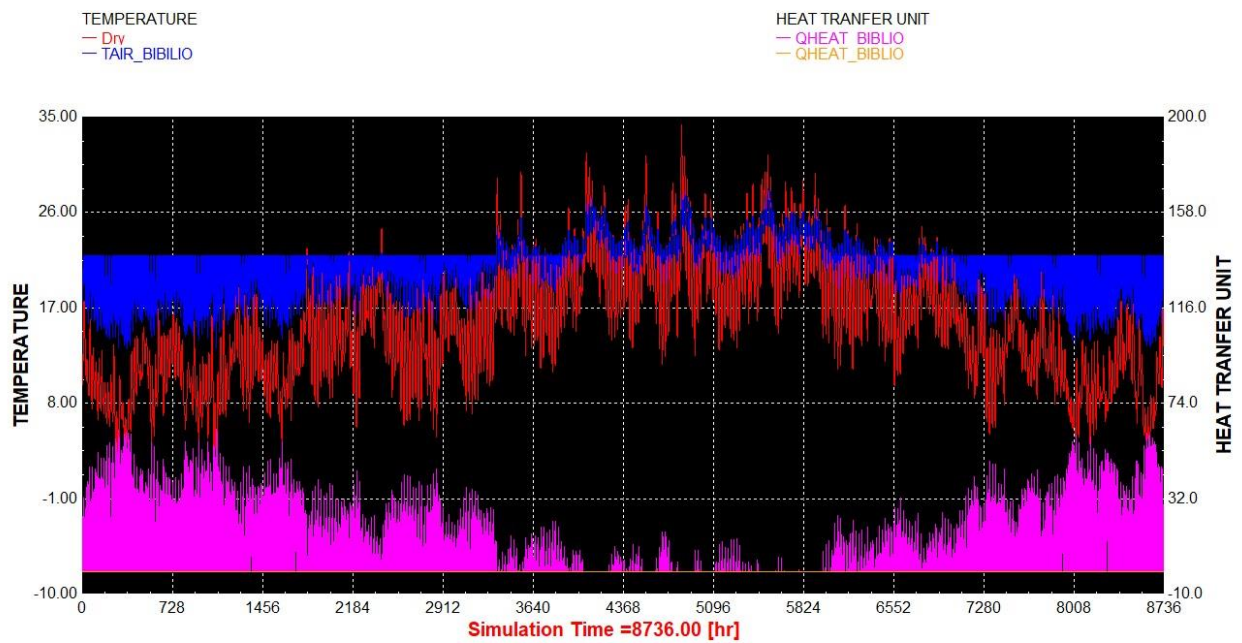
7 BIBLIOGRAFÍA

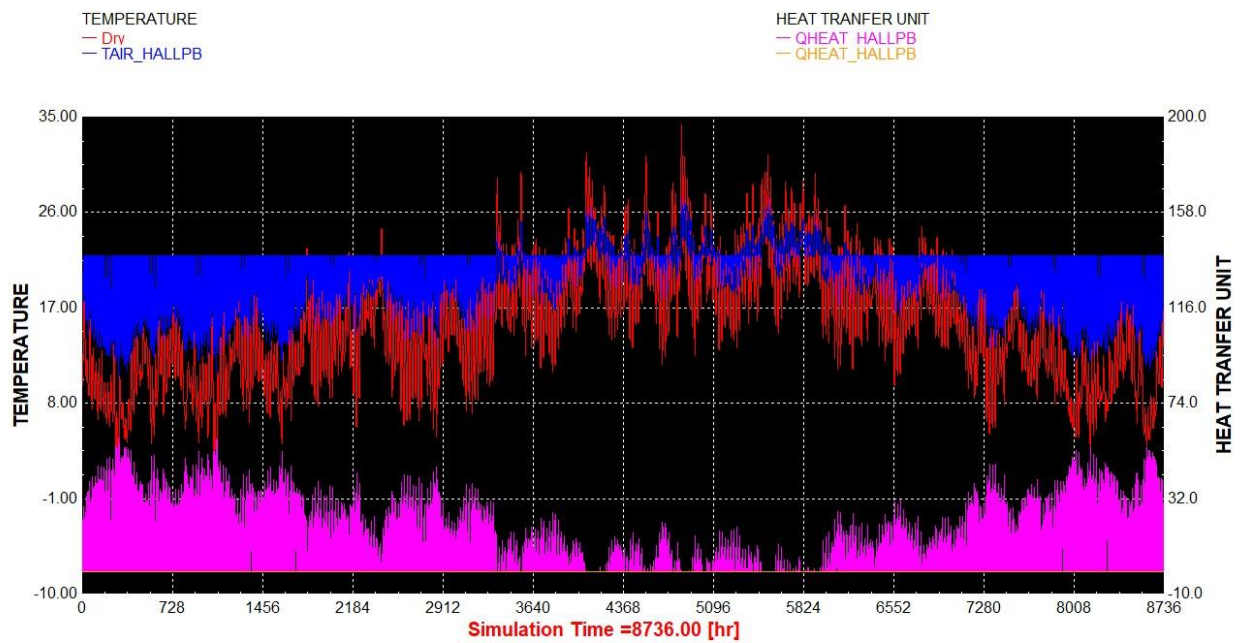
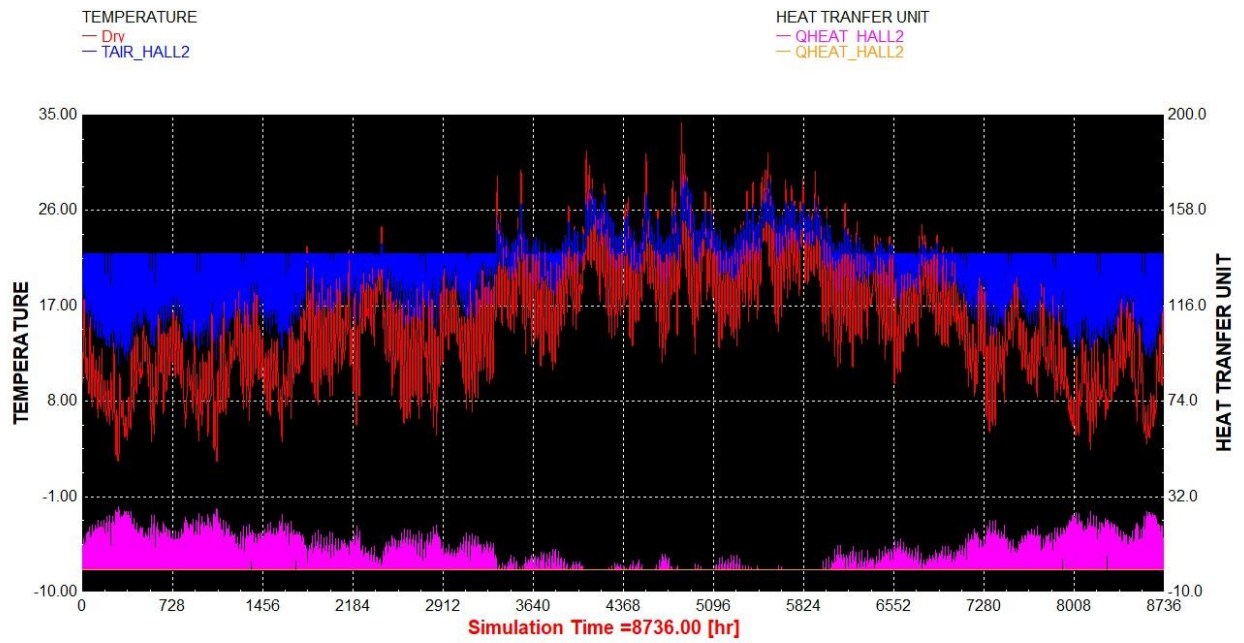
- [1] Guía para ventilación en aulas, «ciencia.gob.es,» 6 Noviembre 2020. [En línea].
- [2] Armada, «armada.defensa,» armada. [En línea].
- [3] Xinhua, «tves.gob,» [En línea].
- [4] E. G. Pita, Air conditioning. Principles and Systems., 1998.
- [5] Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios, «idae,» 2008. [En línea].
- [6] R. D. 1027/2007, «boe.es,» 29 AGOSTO 2007. [En línea].
- [7] R. D. 314/2006, «Boe.es,» 10 Marzo 2006. [En línea].
- [8] 5-step guide to checking ventilation rates in classrooms, «schools.forhealth,» Agosto 2020. [En línea].
- [9] E. D. d. R. Oleaga, *Estudio de alternativas de climatización en el cuartel Francisco Moreno*, 2015.
- [10] L. Miranda, «logos-marcas.com,» [En línea].
- [11] Sketchup, «Sketchup,» [En línea].
- [12] Aiguasol, «aiguasol,» [En línea].
- [13] Energy, «energy.gov,» [En línea].
- [14] Buildinggreen, «buildinggreen,» [En línea].
- [15] Pretoria, «solarleading,» [En línea].
- [16] R. M. Tomás, *Análisis de la influencia de la envolvente en la demanda térmica y propuestas de mejora del Cuartel Francisco Moreno mediante simulación con Trnsys.*, 2016.
- [17] Ecoeficientes, «ecoeiciente.es,» [En línea].
- [18] M. F.-B. Casado, *Análisis del sistema de climatización del Centro Universitario de la Defensa*, 2016.

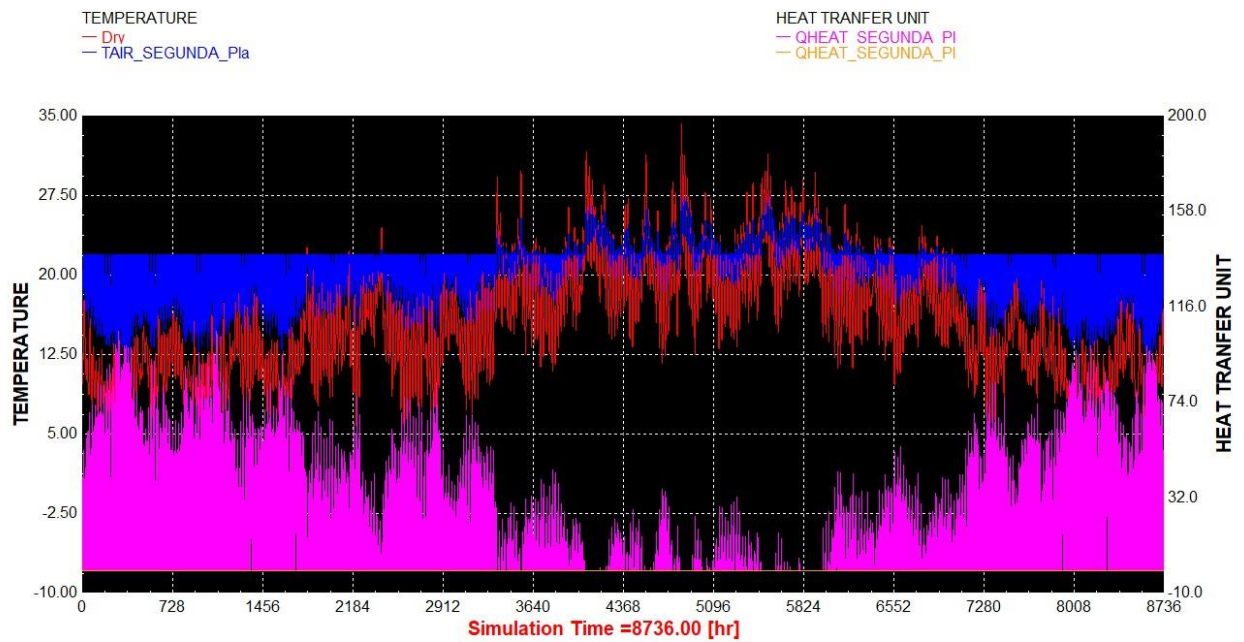
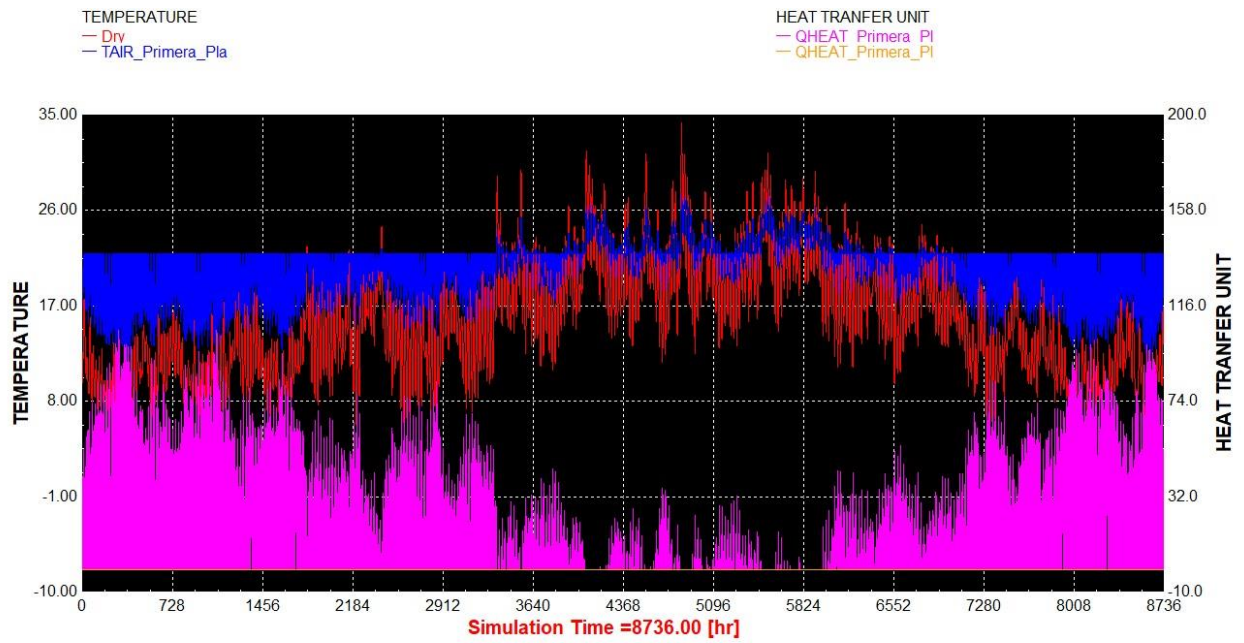
- [19] G. R. Quesada, *Estudio de un sistema de climatización basado en bomba de calor hidrotérmica en el edificio Isaac Peral de la ENM*, 2016.
- [20] Á. S.-F. Guitart, *Optimización energética del edificio Isaac Peral: simulación y propuestas de mejora*, 2019.
- [21] S. G. Zamar, *Análisis de las posibles estrategias de control de un sistema híbrido de climatización*, 2019.
- [22] M. R. Gesteiro, *Simulación de un sistema de climatización VRV en un edificio de aulas de la Escuela Naval Militar*, 2020.
- [23] Wikipedia, «SketchUp,» 2020. [En línea].
- [24] Wikipedia, «TRNSys,» 2021. [En línea].
- [25] H. A. Ramírez, *Análisis del consumo energético y del confort en el cuartel “Almirante Francisco Moreno” utilizando herramientas de simulación dinámica*, 2020.
- [26] M. T. C. Vilches, *La simulación energética como herramienta de predicción, normativa y de investigación en proyectos de arquitectura eficientes*.
- [27] Moreno Alimacaña, Marco Alberto, *Desarrollo, calibración, ajuste y validación de un modelo de simulación energética de una vivienda tradicional valenciana mediante el uso de TRNSYS 17*.
- [28] F. M. Bouyón, *Análisis de la estratificación de temperatura en oficinas*.
- [29] P. D. Vázquez, *Influencia de las variables meteorológicas en las simulaciones térmicas de buques. El Patrullero Tabarca como caso de estudio..*
- [30] Z. P. Guerrero, *Diagnosis energética de un conjunto de edificios de la upc. Relación entre la cubierta y el consumo real..*
- [31] J. J. M. Alcalá, *Análisis mediante TRNSYS de los sistemas de energía solar de consumo único con intercambiador externo*.
- [32] J. M. G. S. Miguel, *Metodología y aplicación práctica de simulación dinámica de instalaciones frigoríficas*.

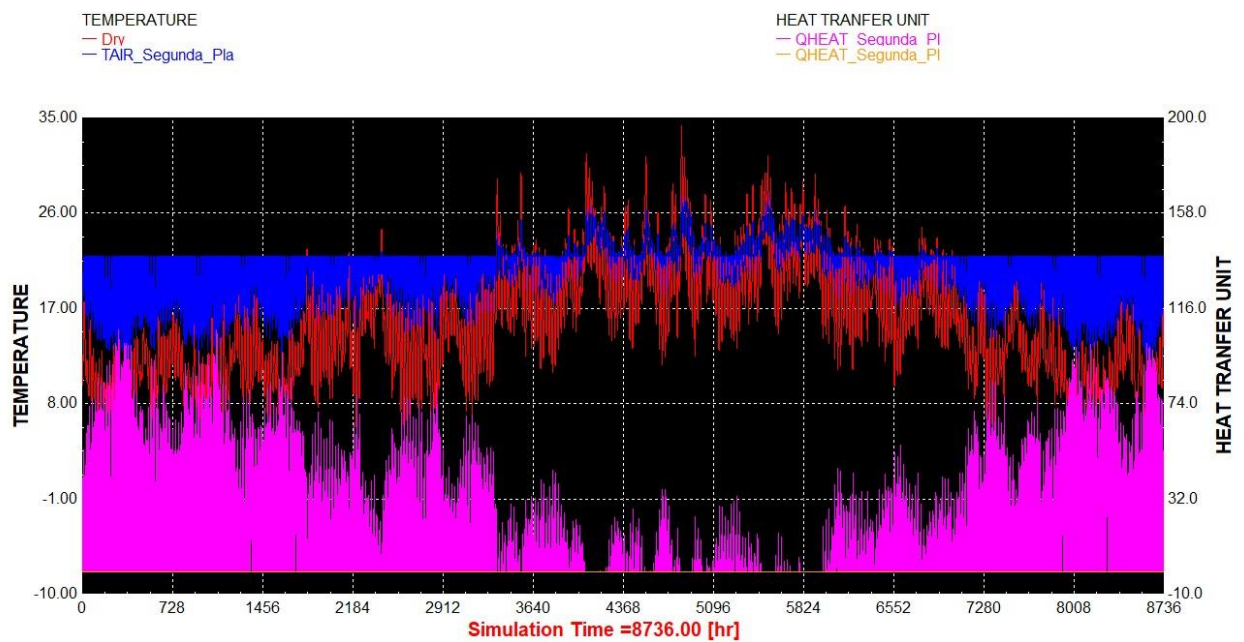
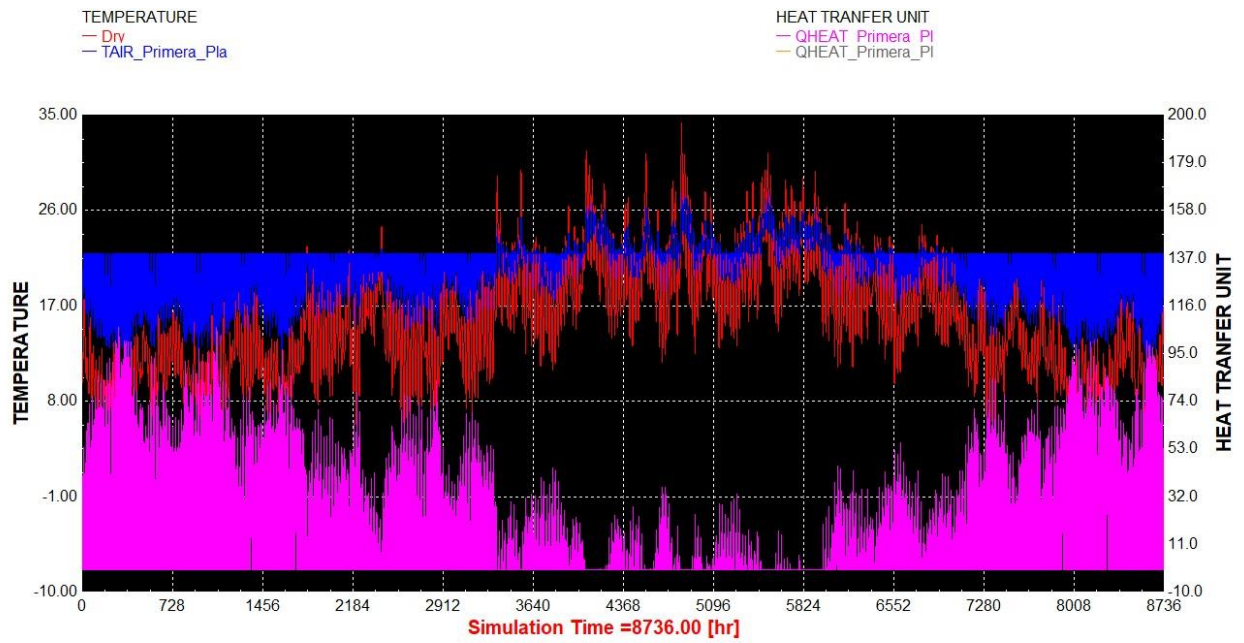
ANEXO I: GRÁFICAS DE RESULTADOS

Cuartel Almirante Francisco Moreno preCOVID

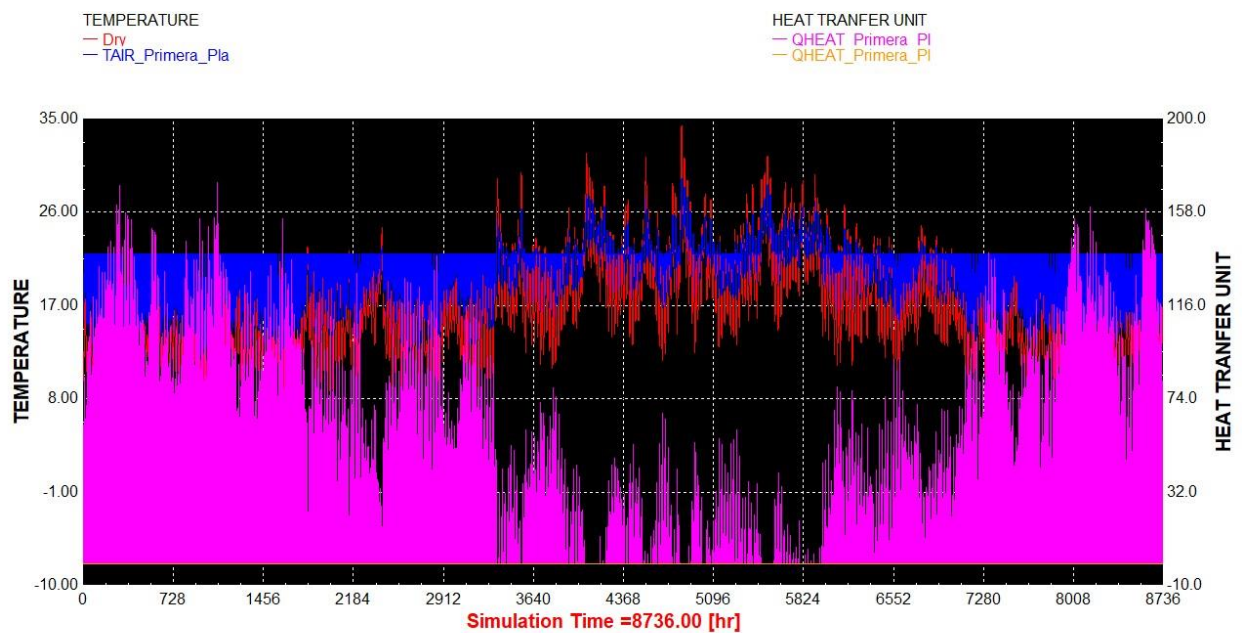
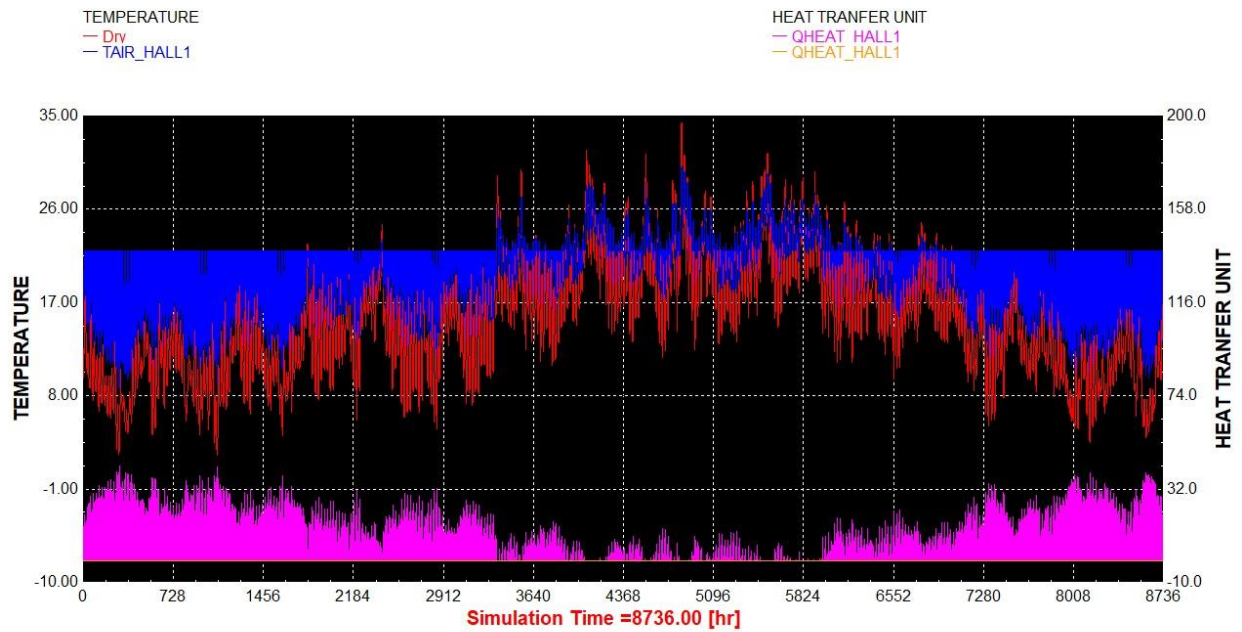


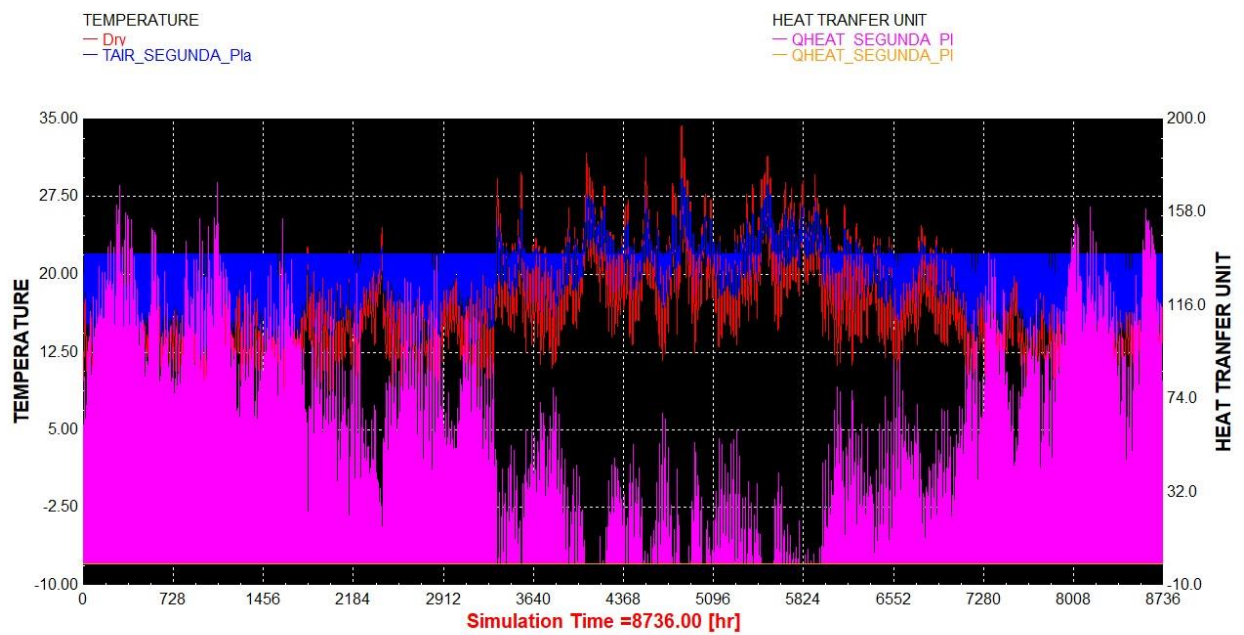
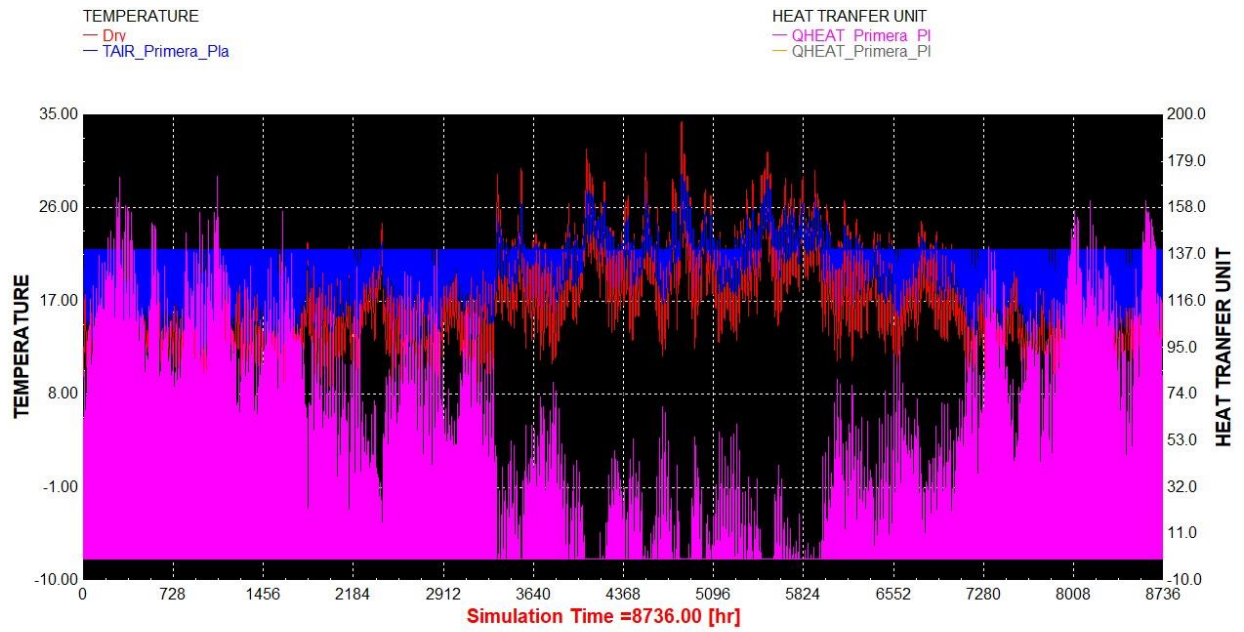


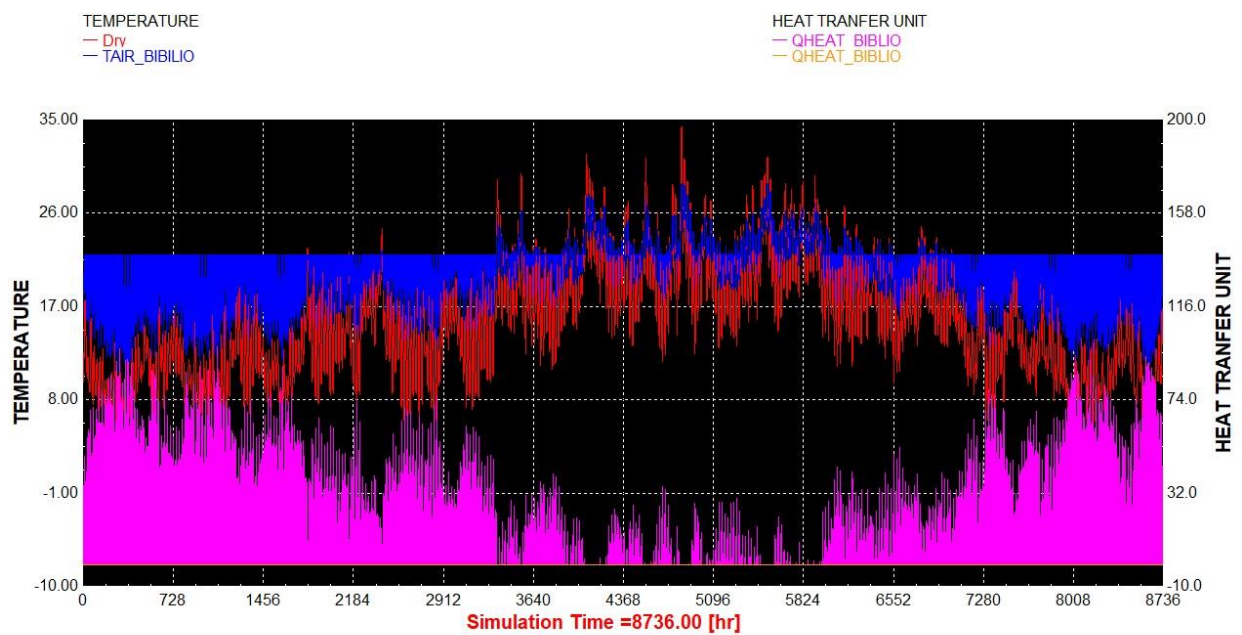
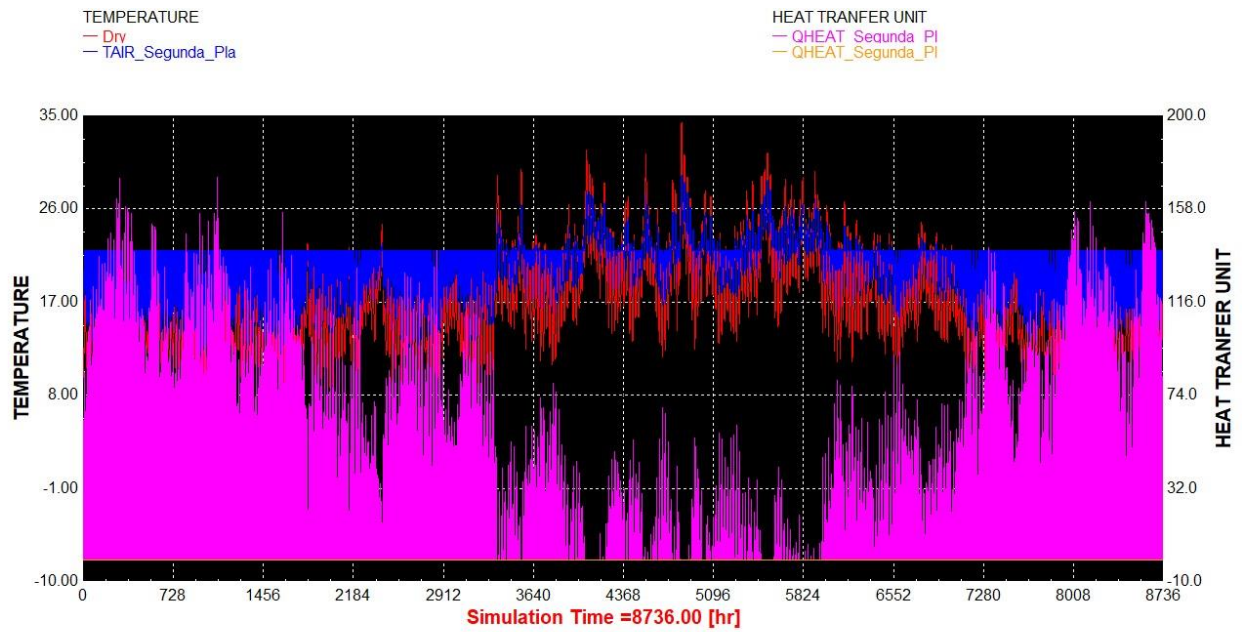


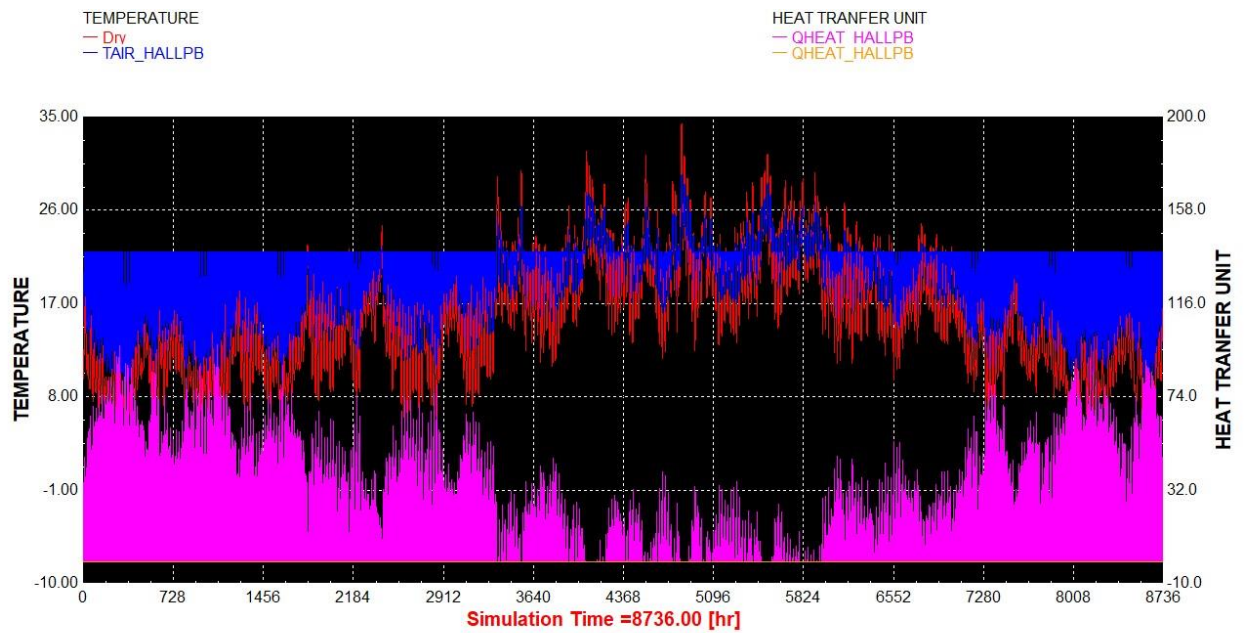
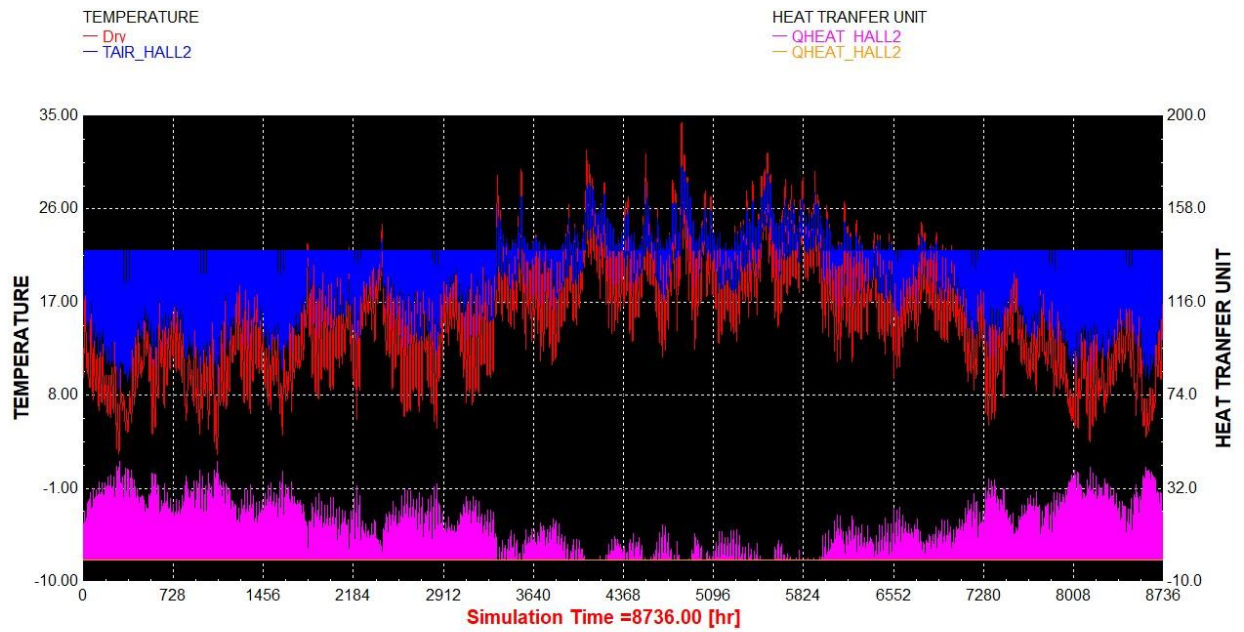


Cuartel Almirante Francisco Moreno COVID

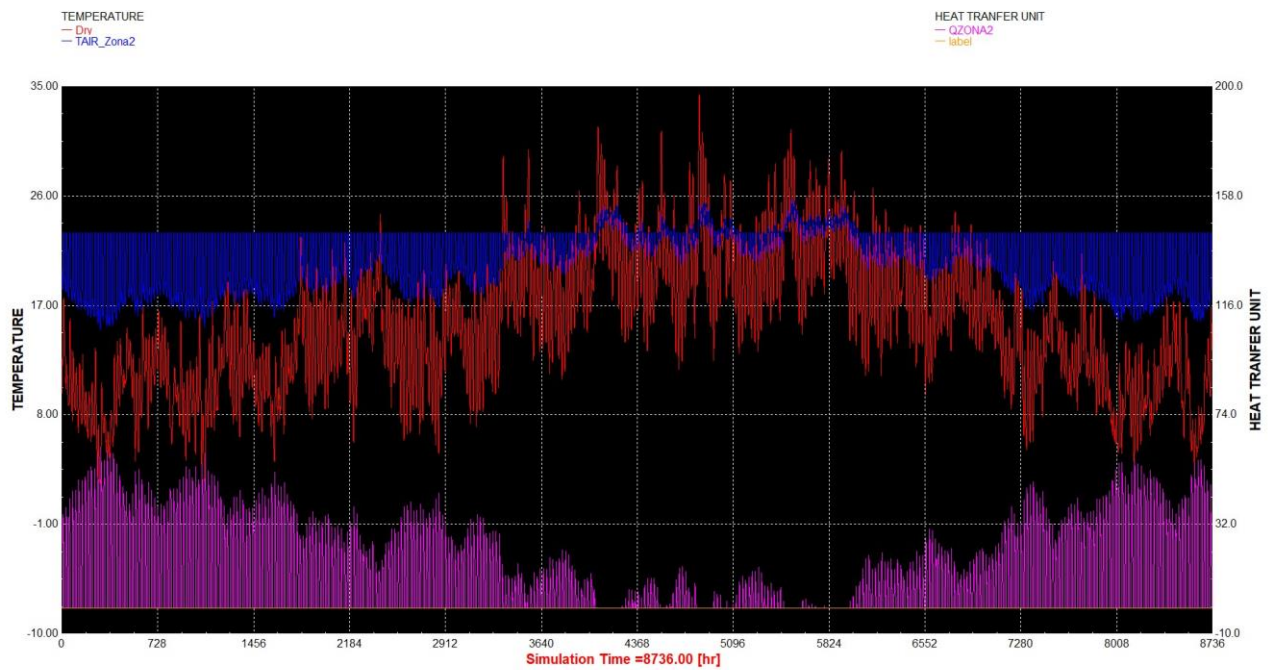
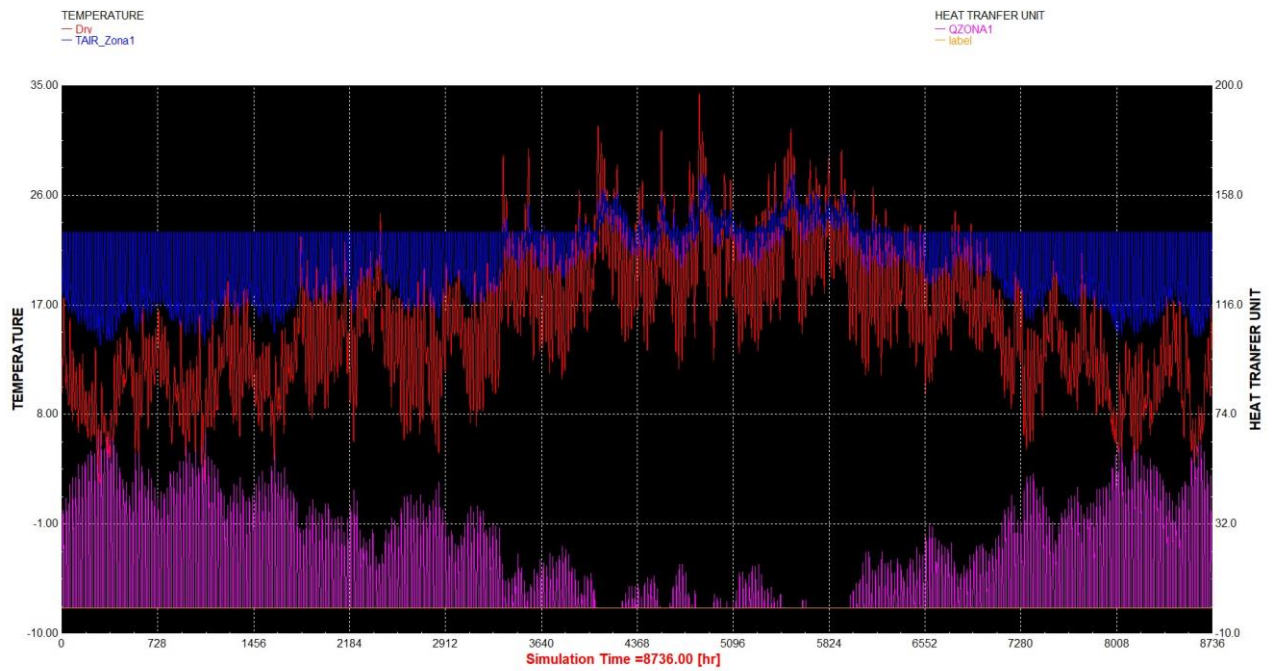


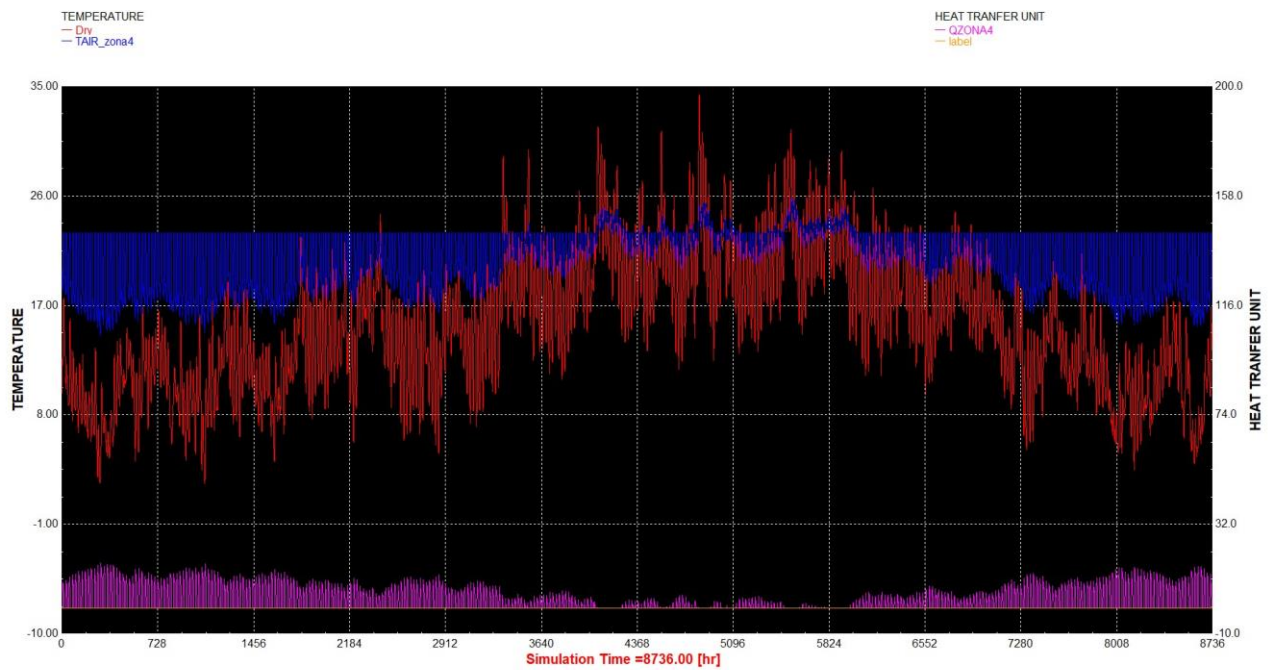
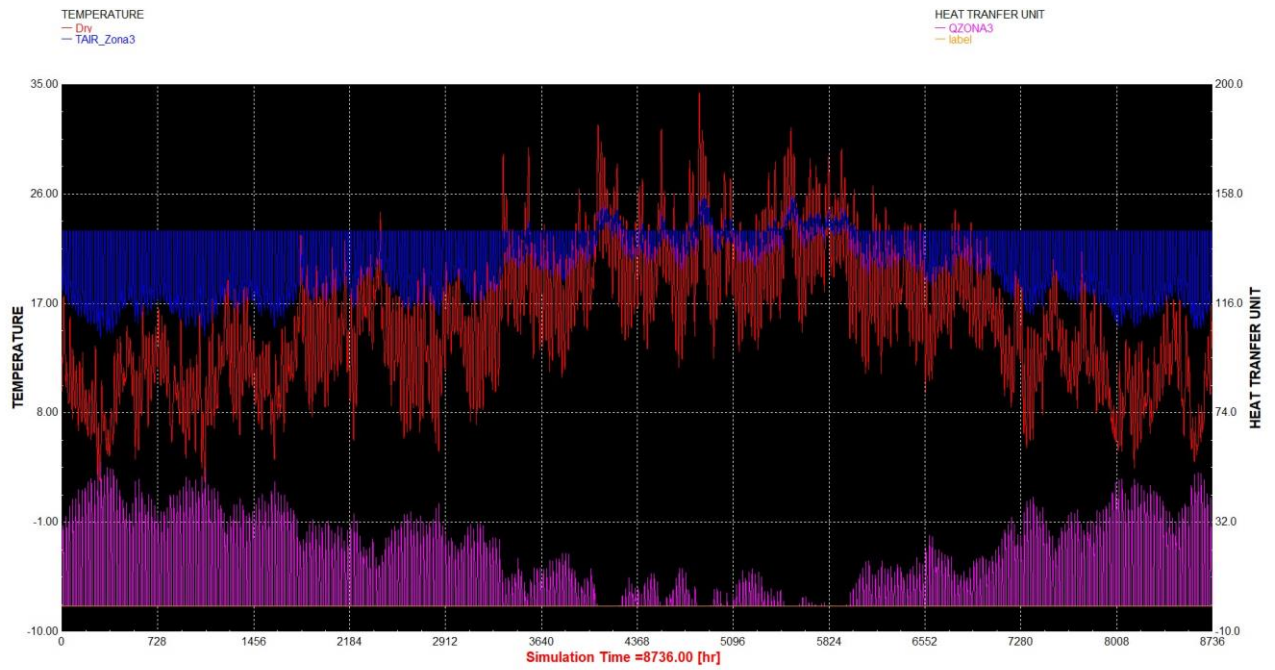


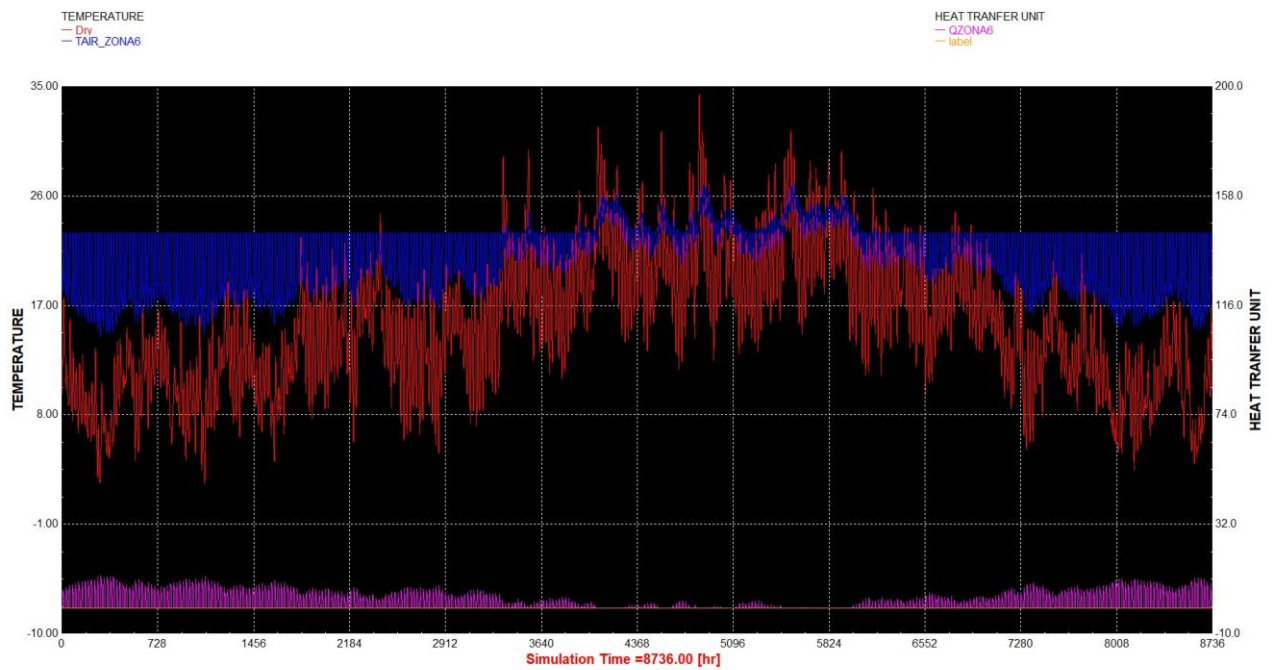
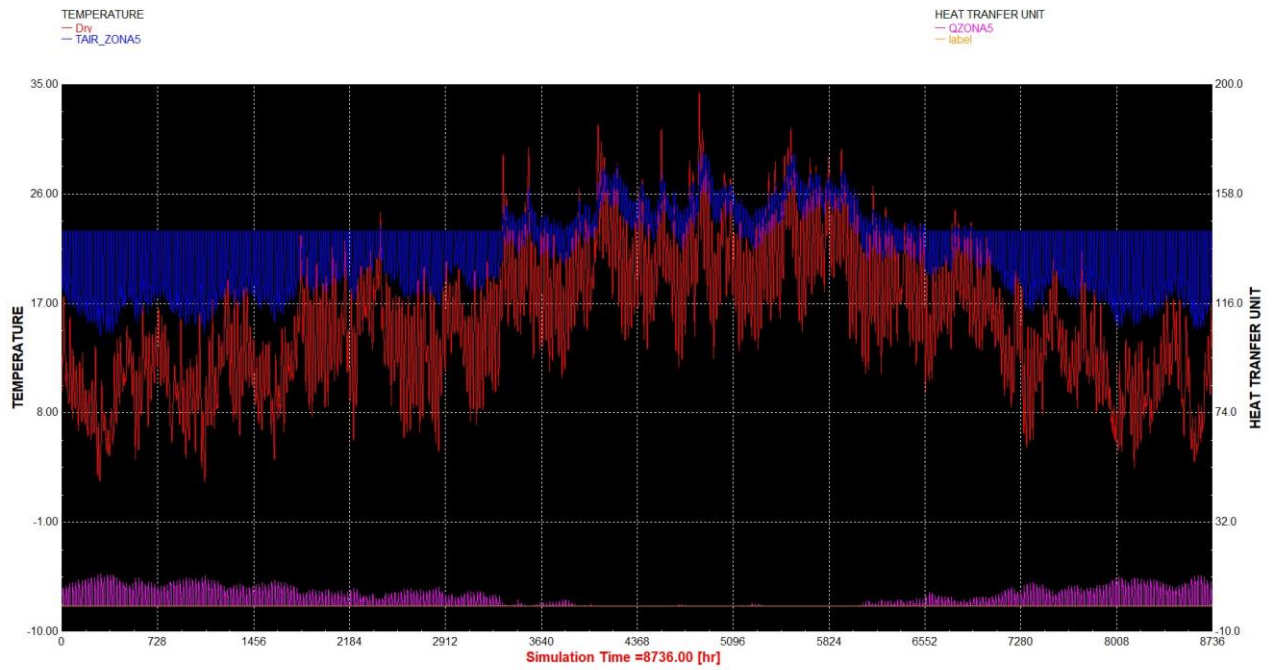


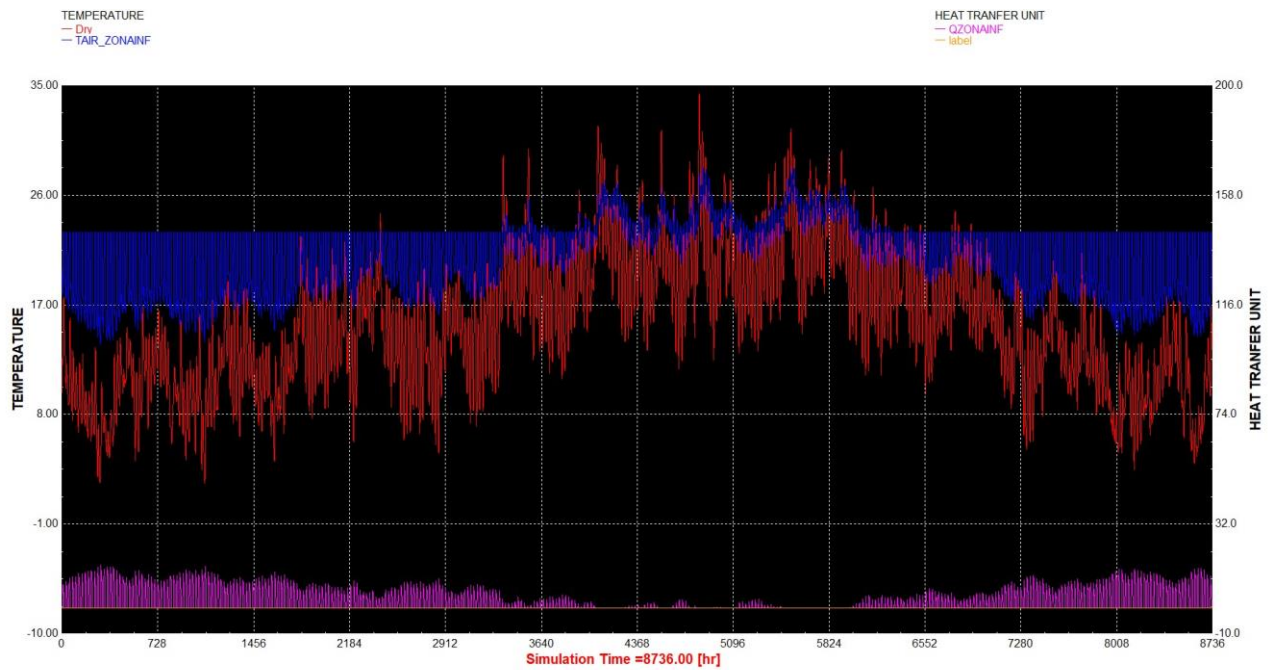
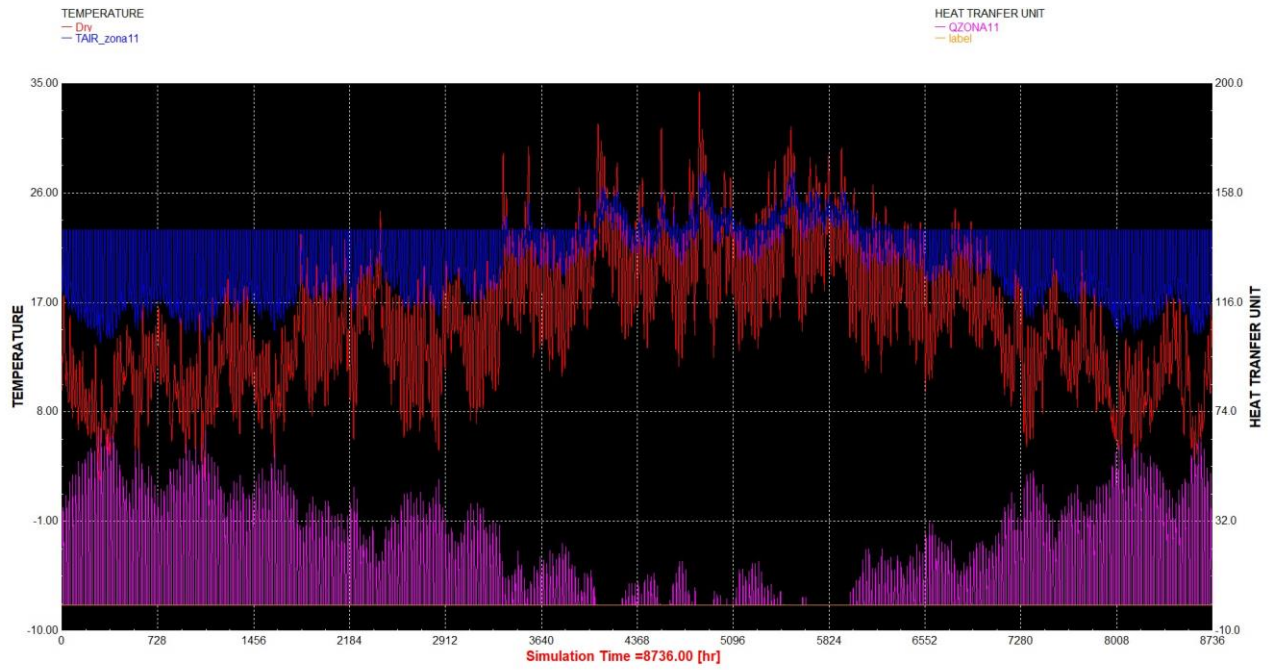


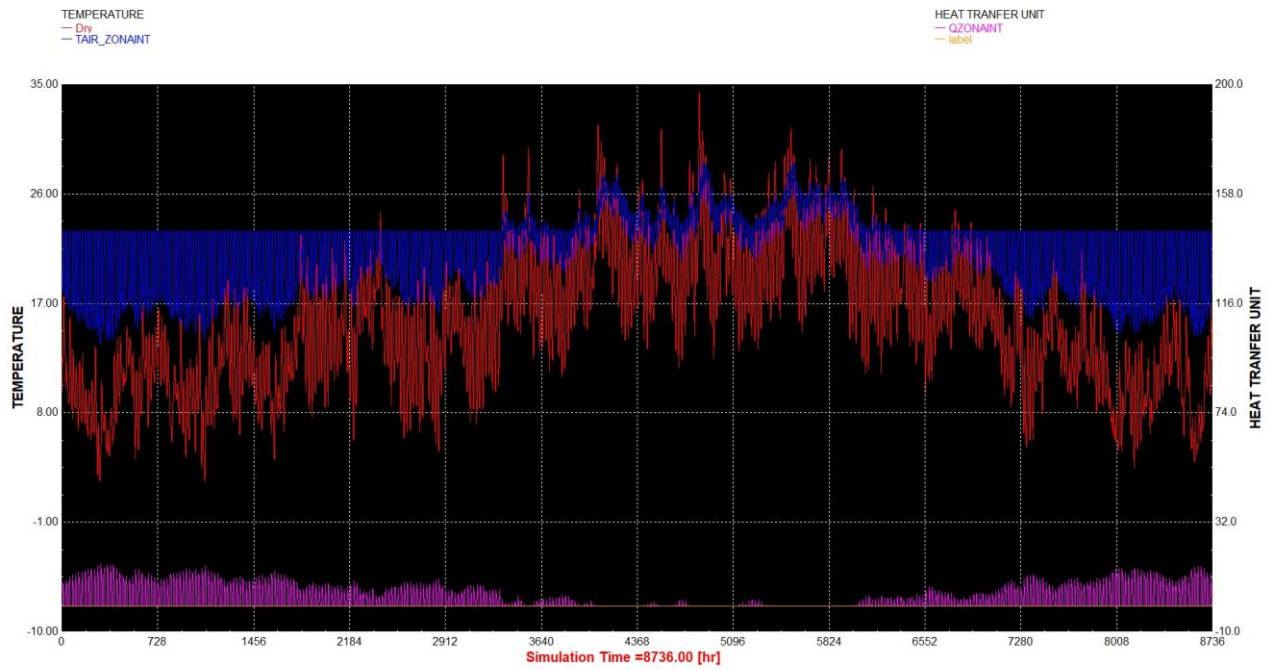
Patio de Aulas preCOVID



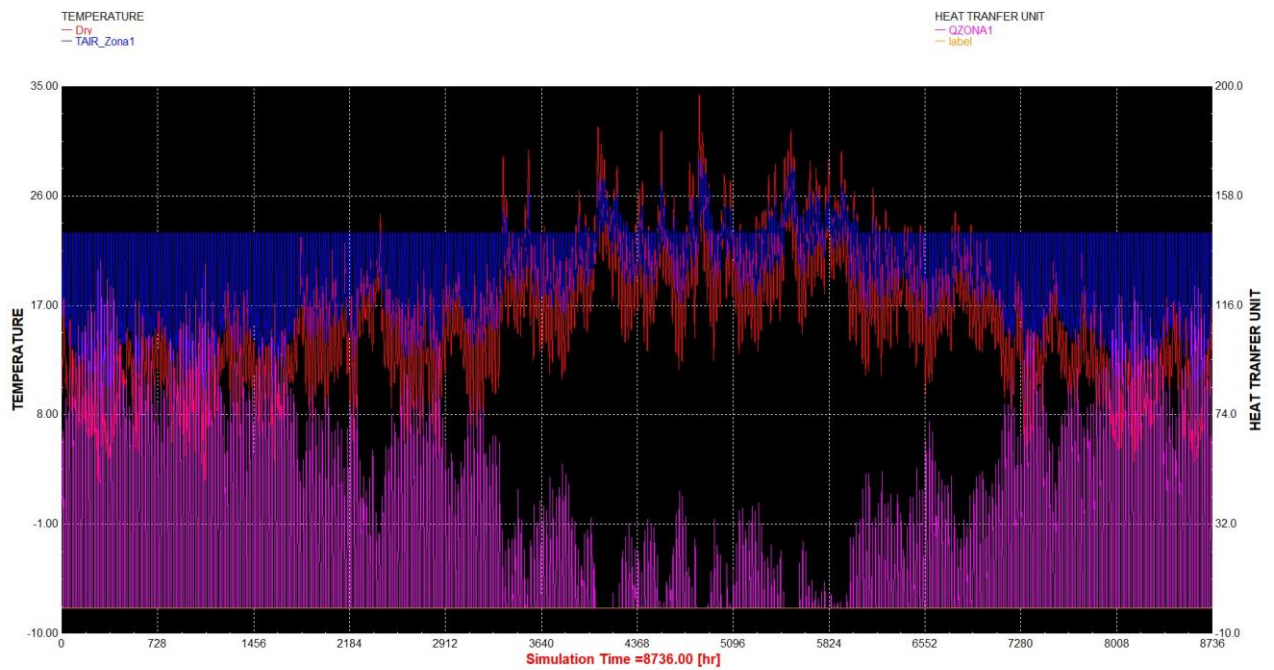


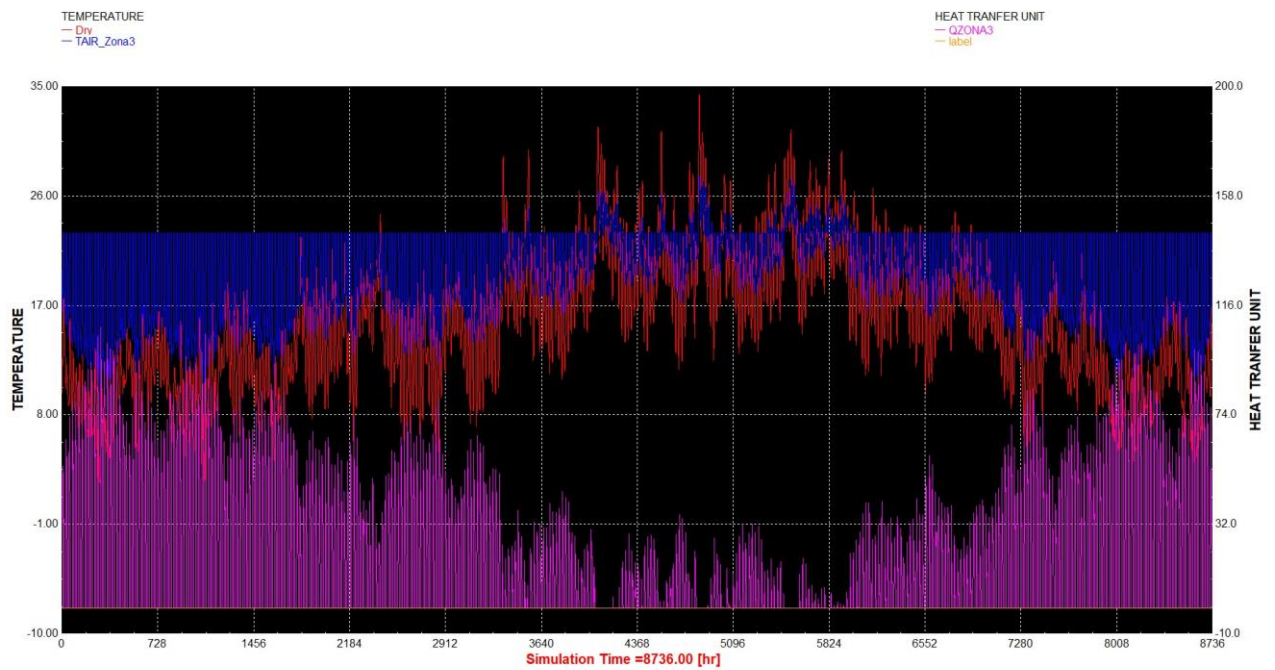
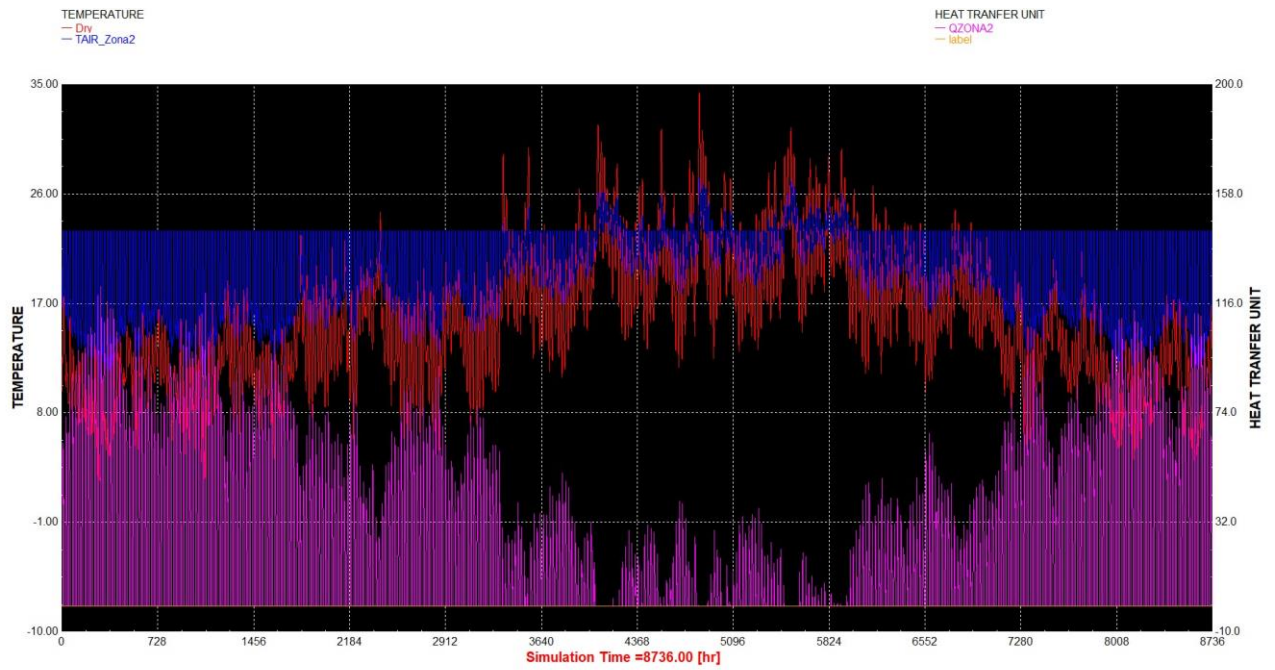


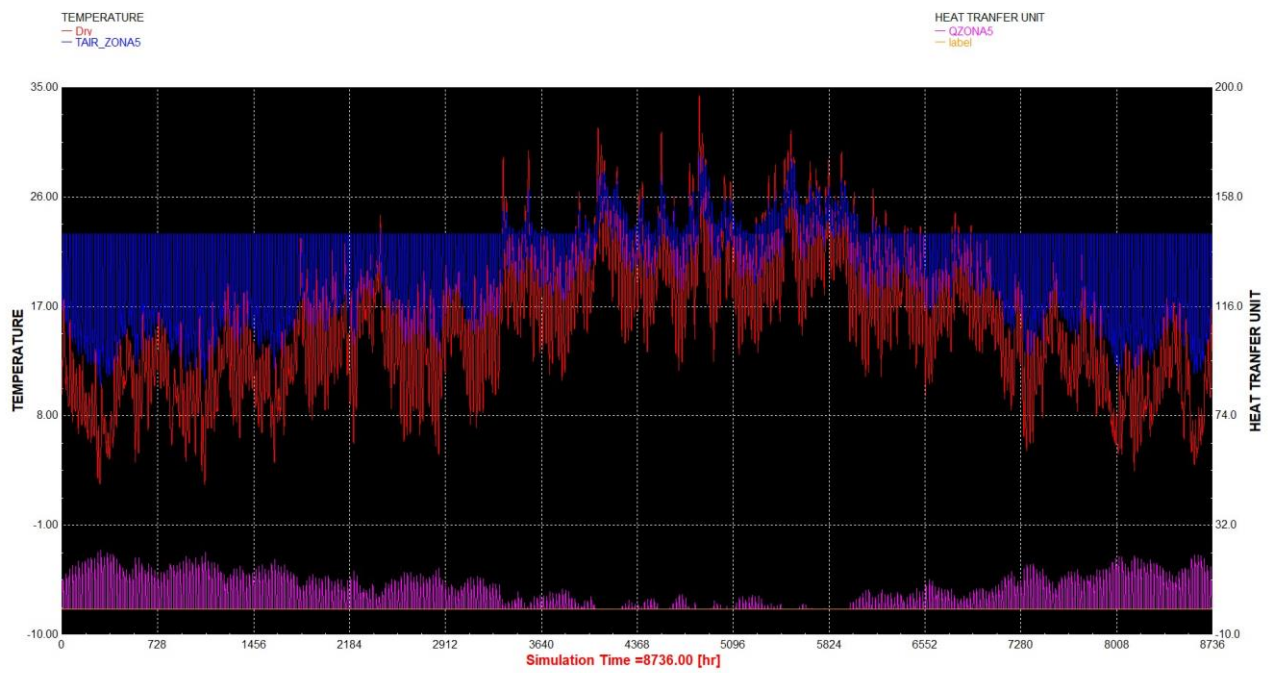
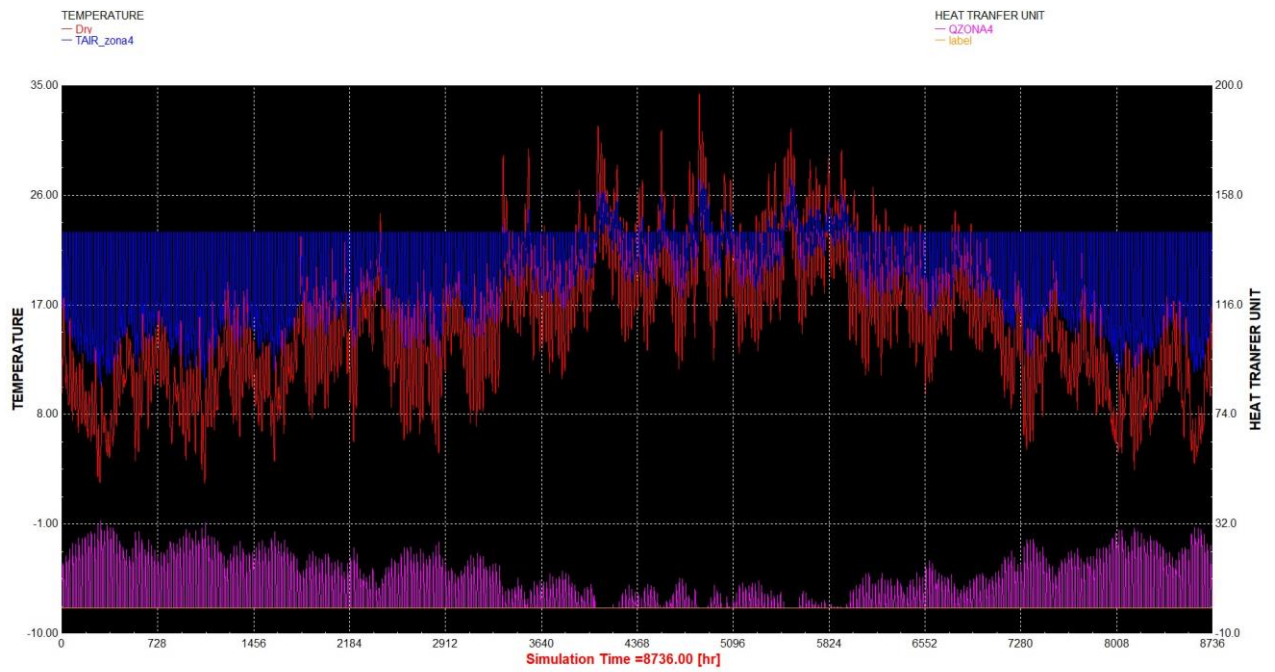


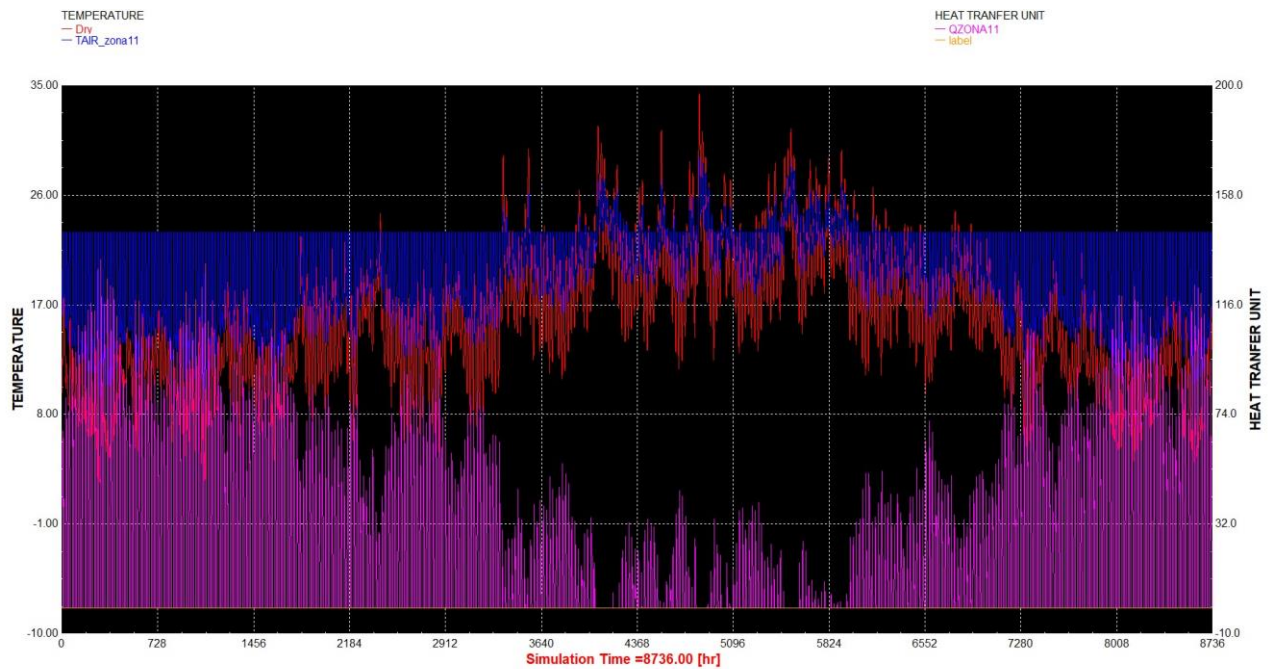
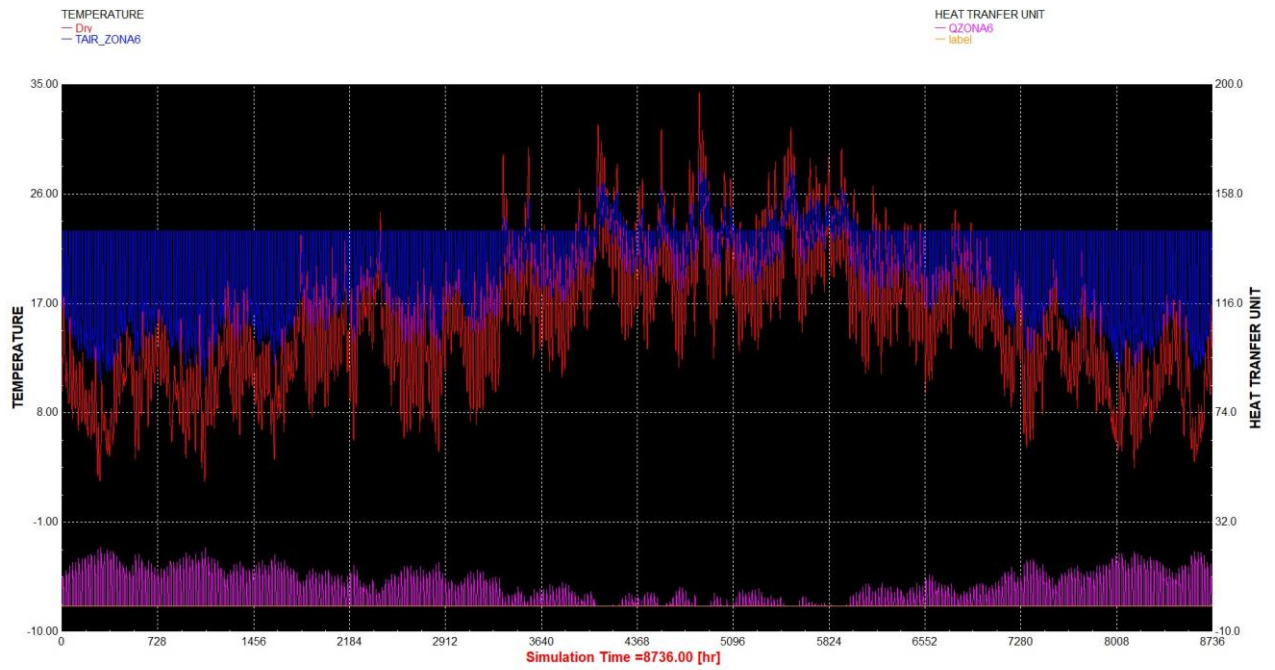


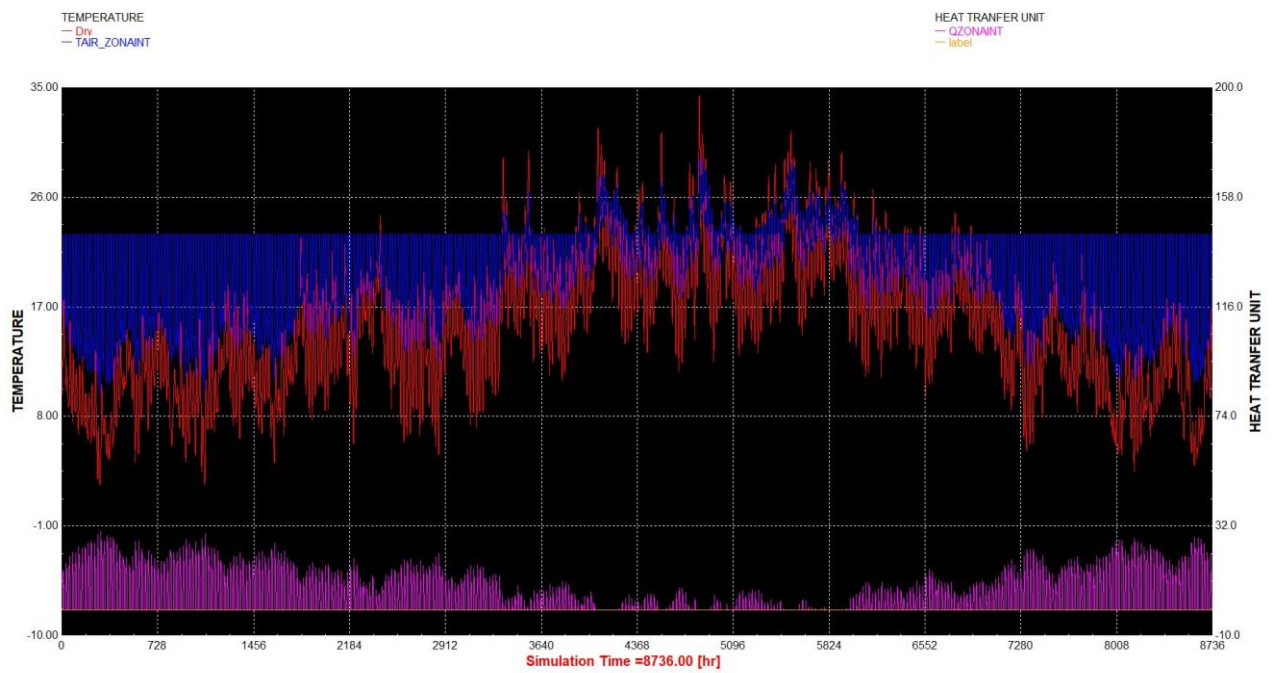
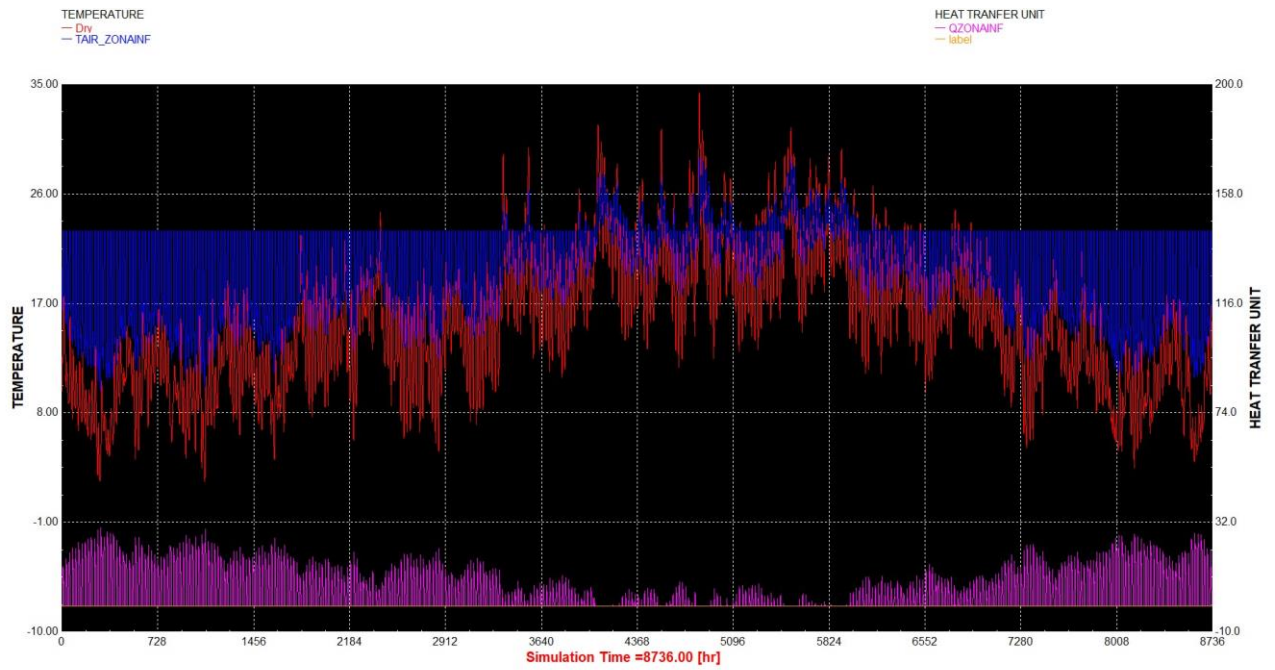
Patio de Aulas COVID

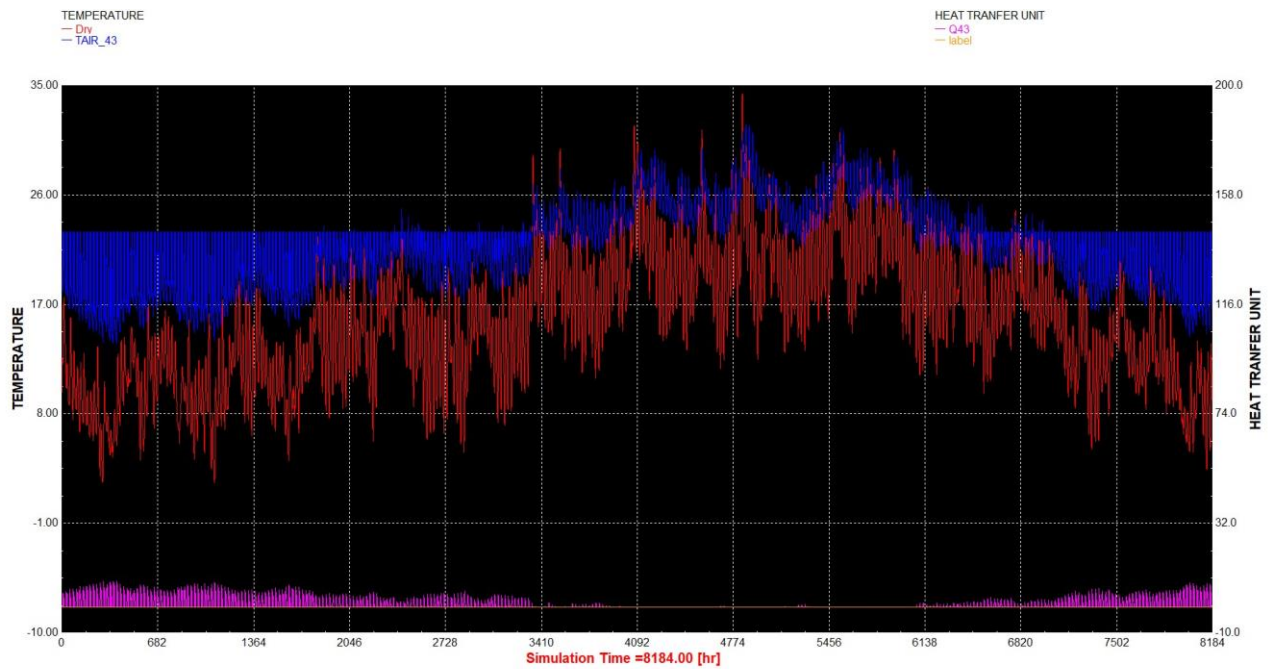
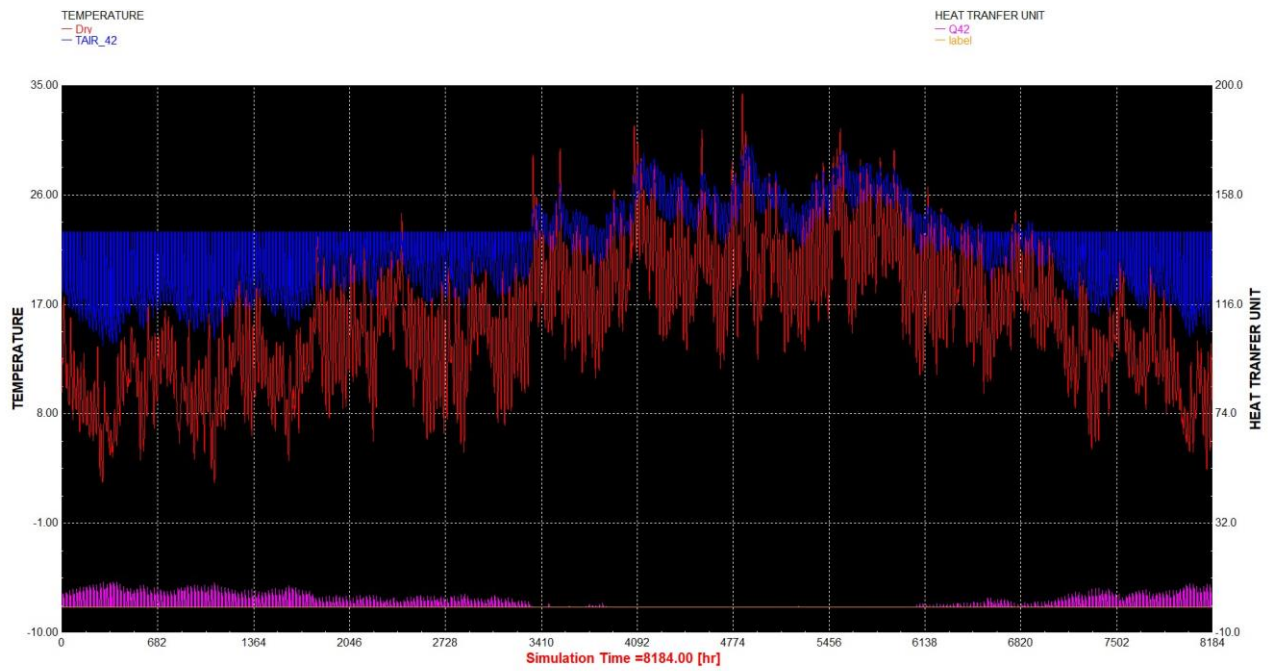


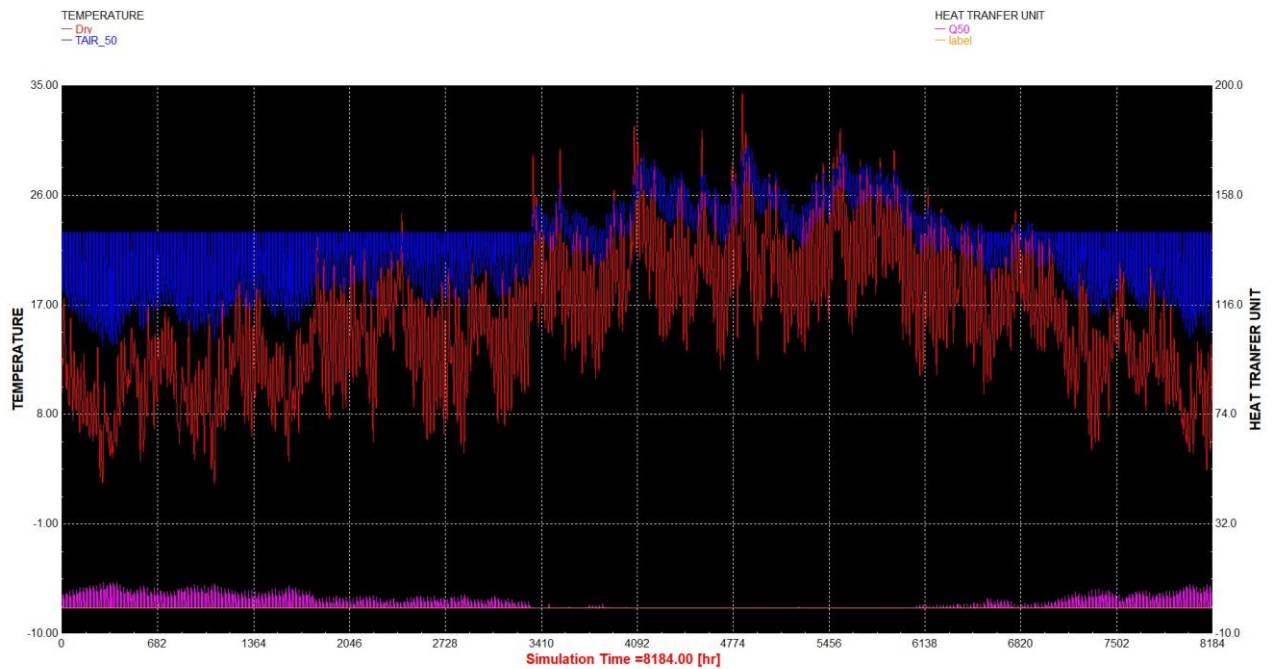
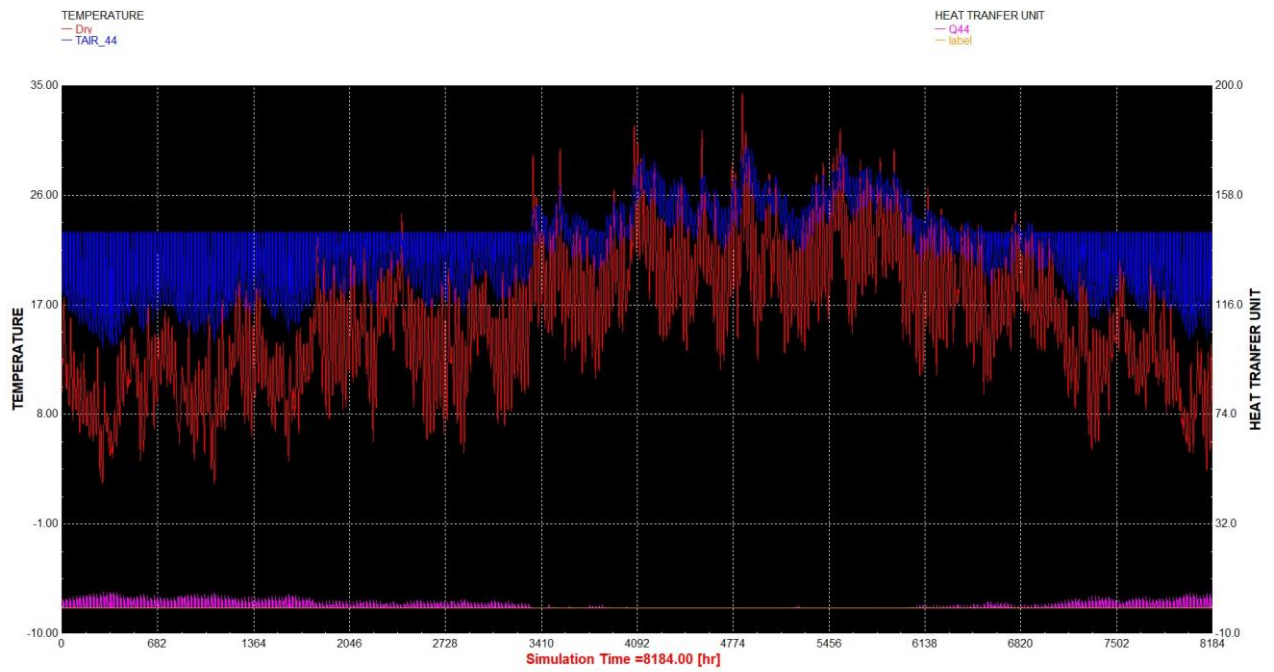


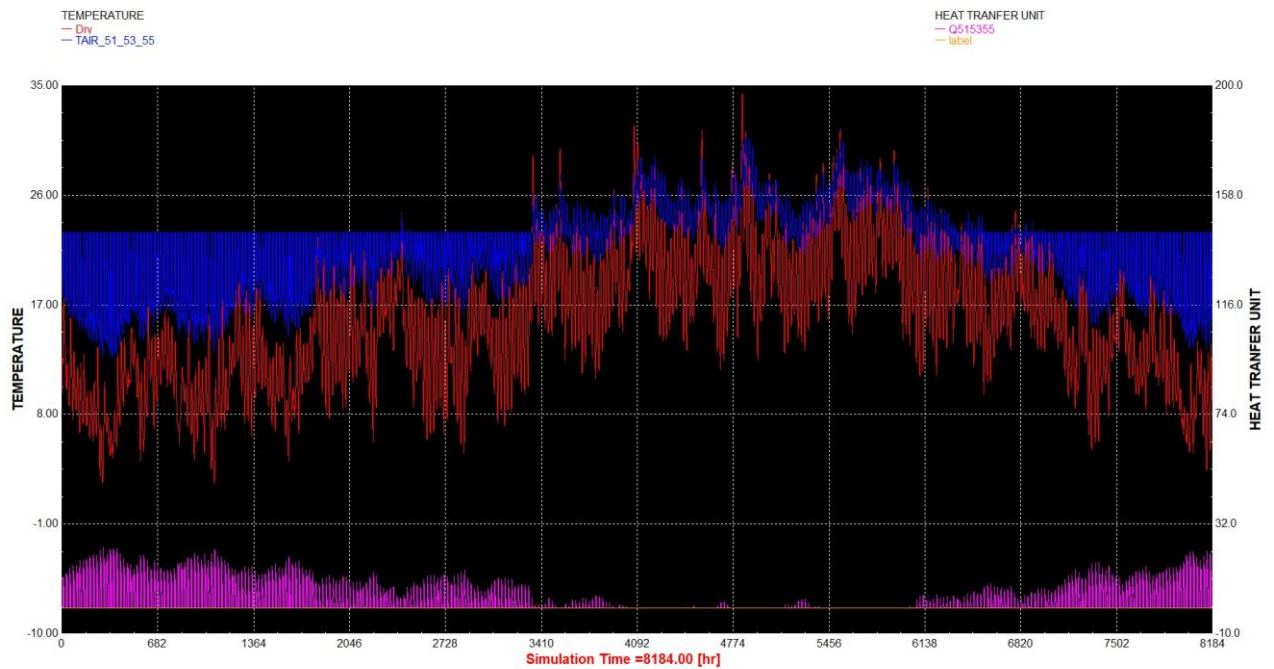
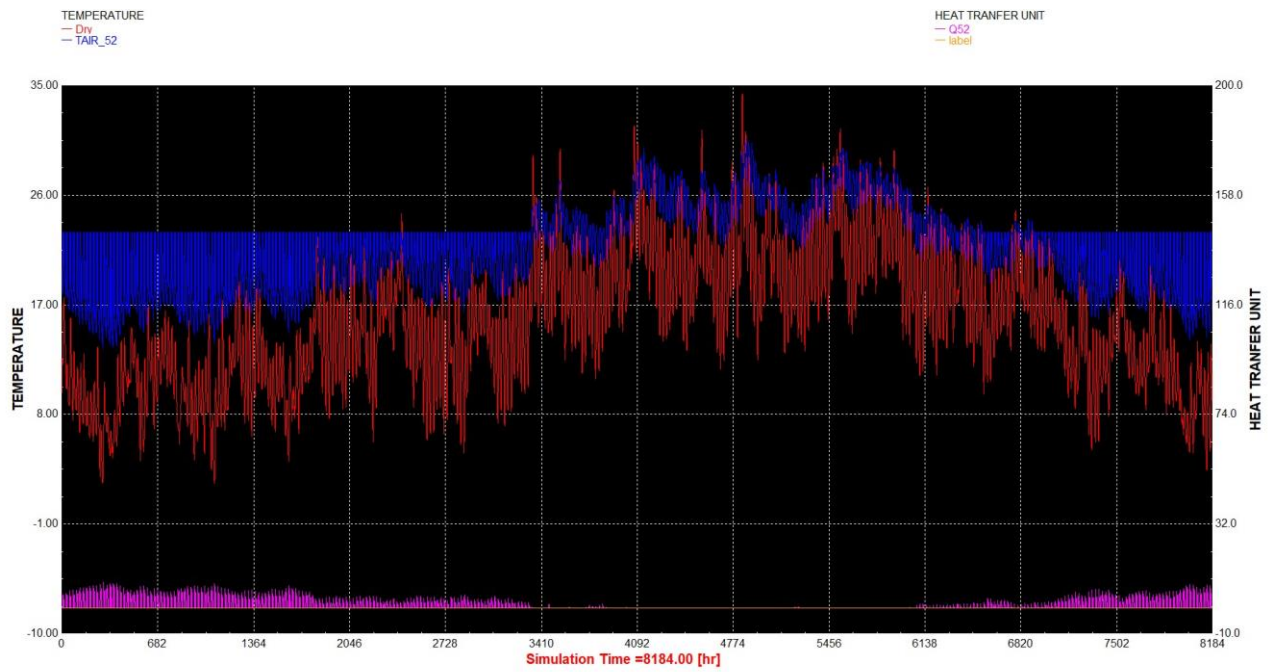


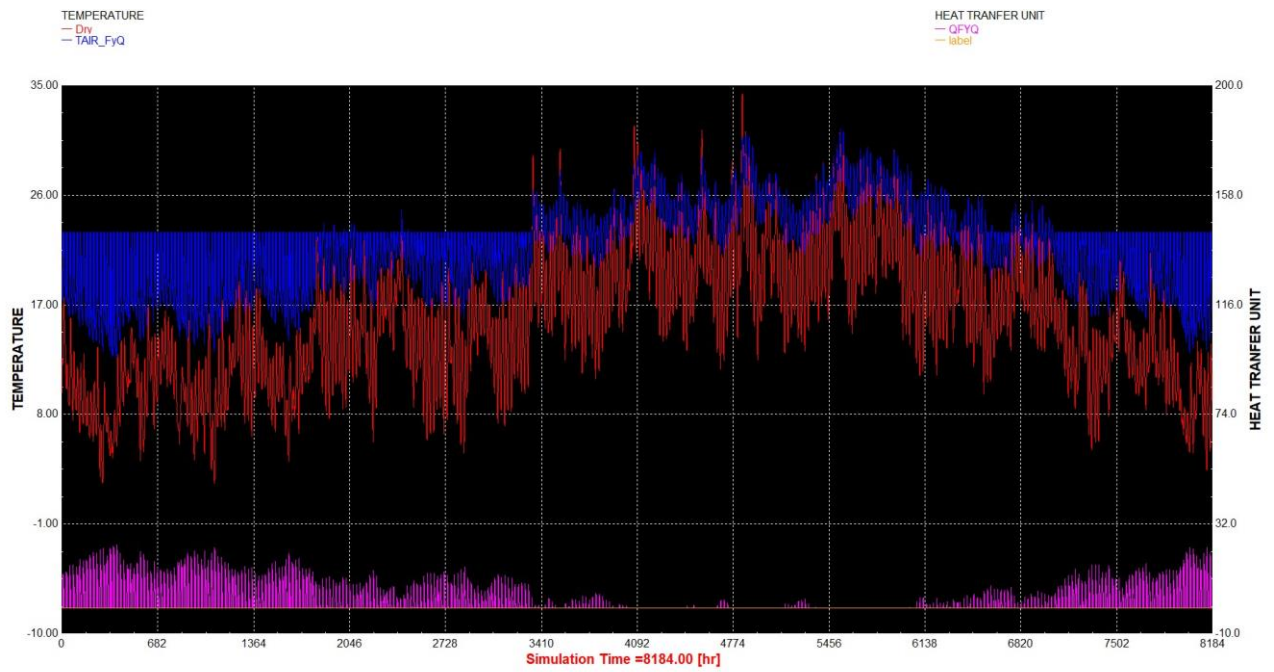




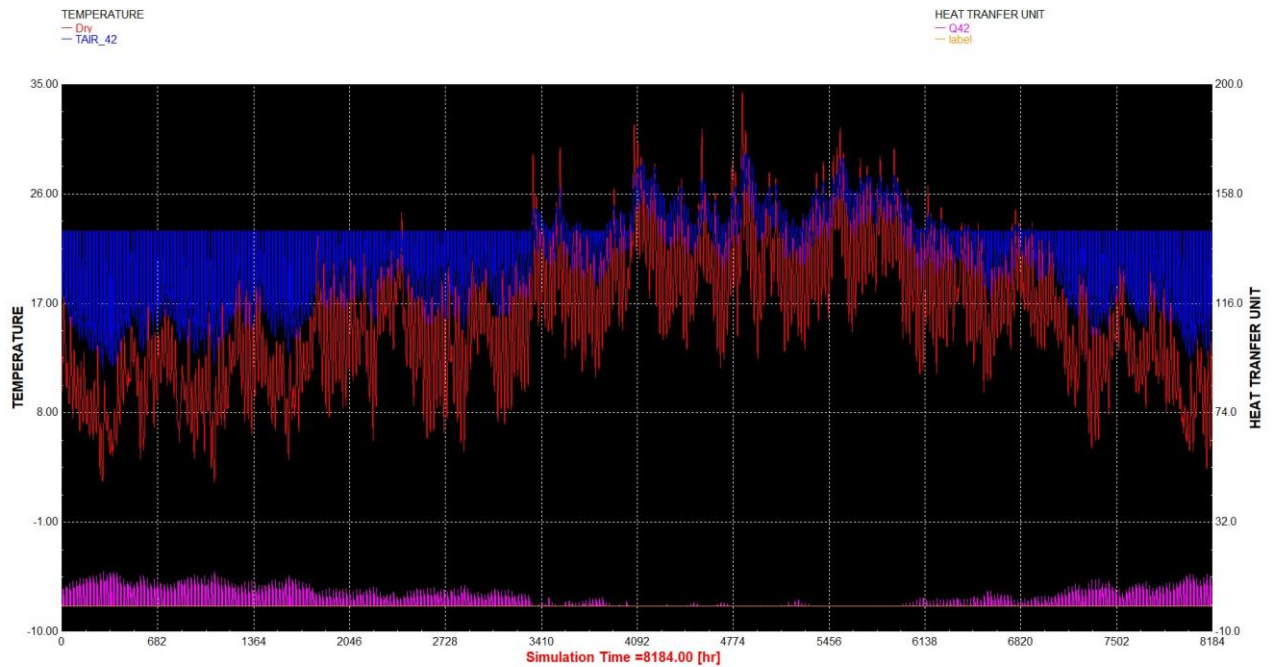
Isaac Peral preCOVID

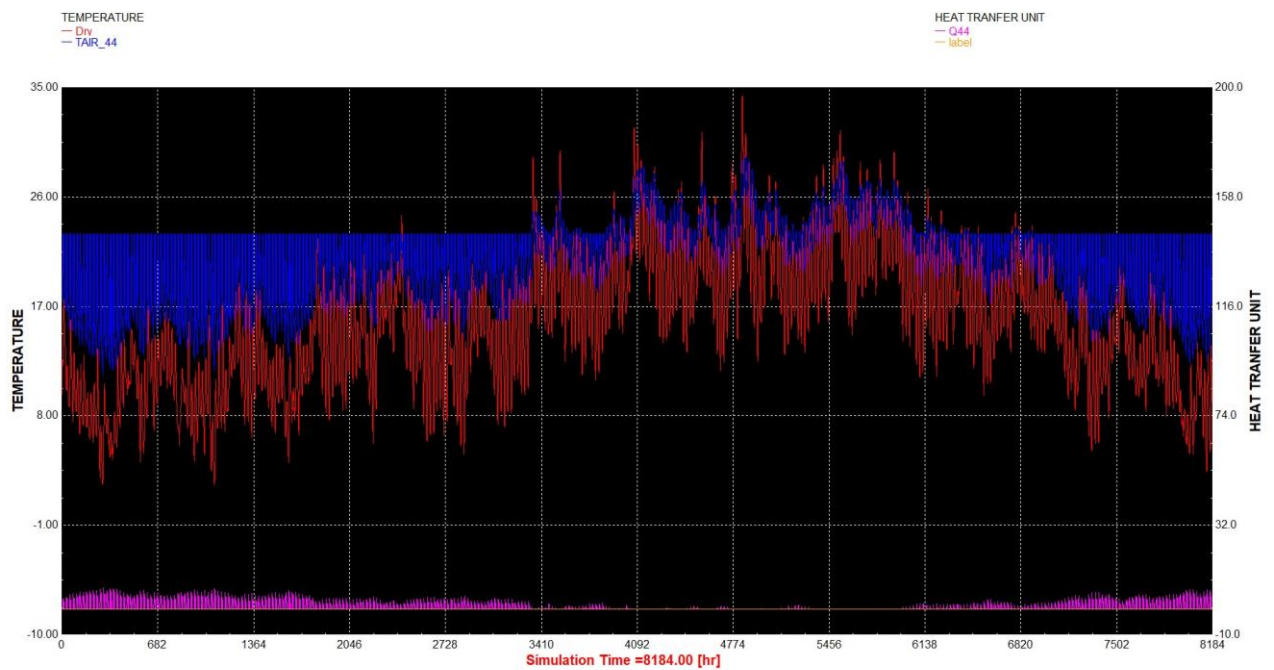
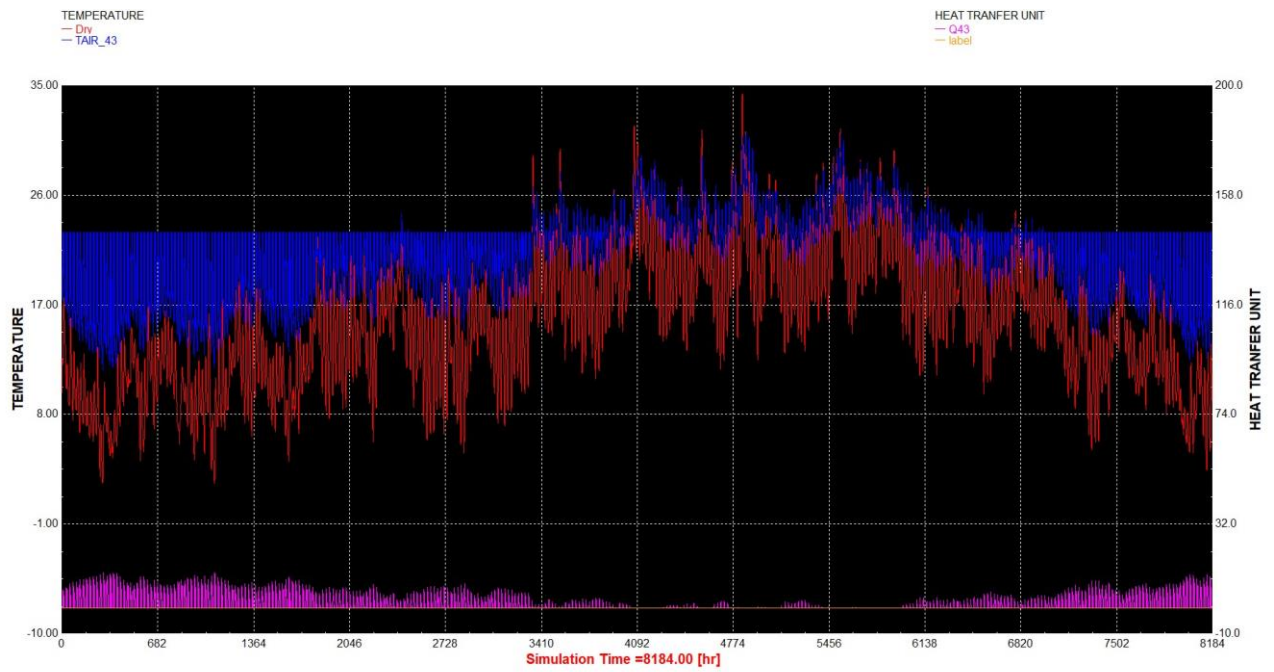


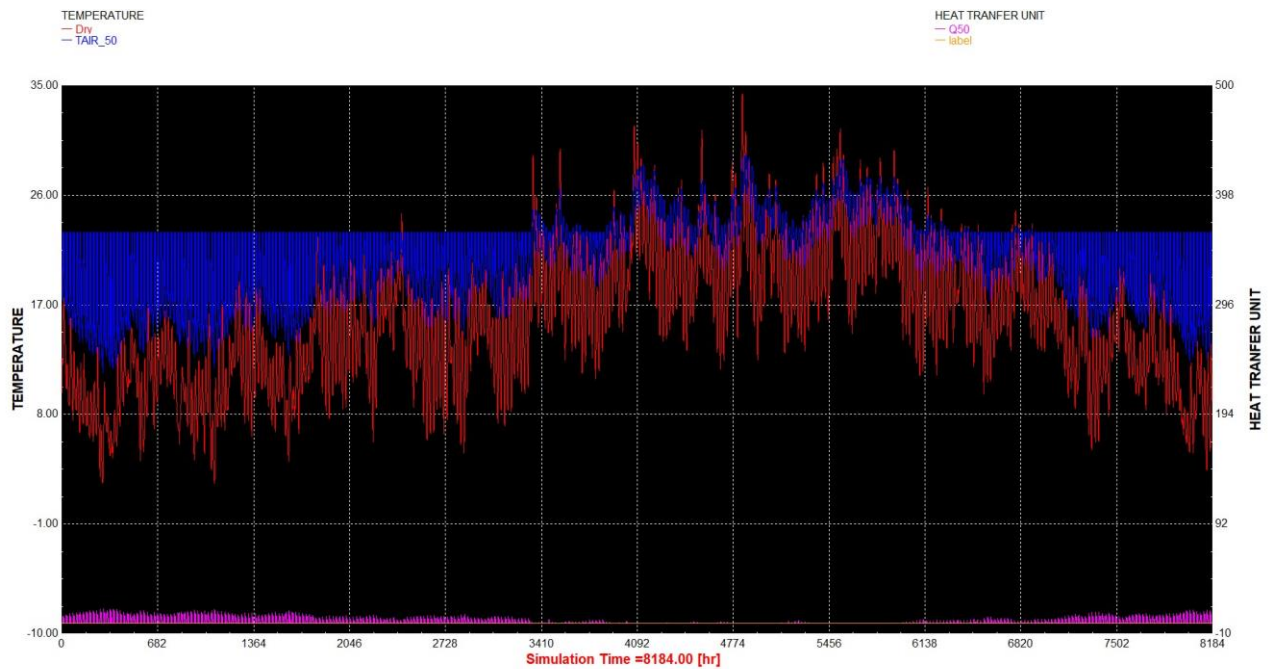
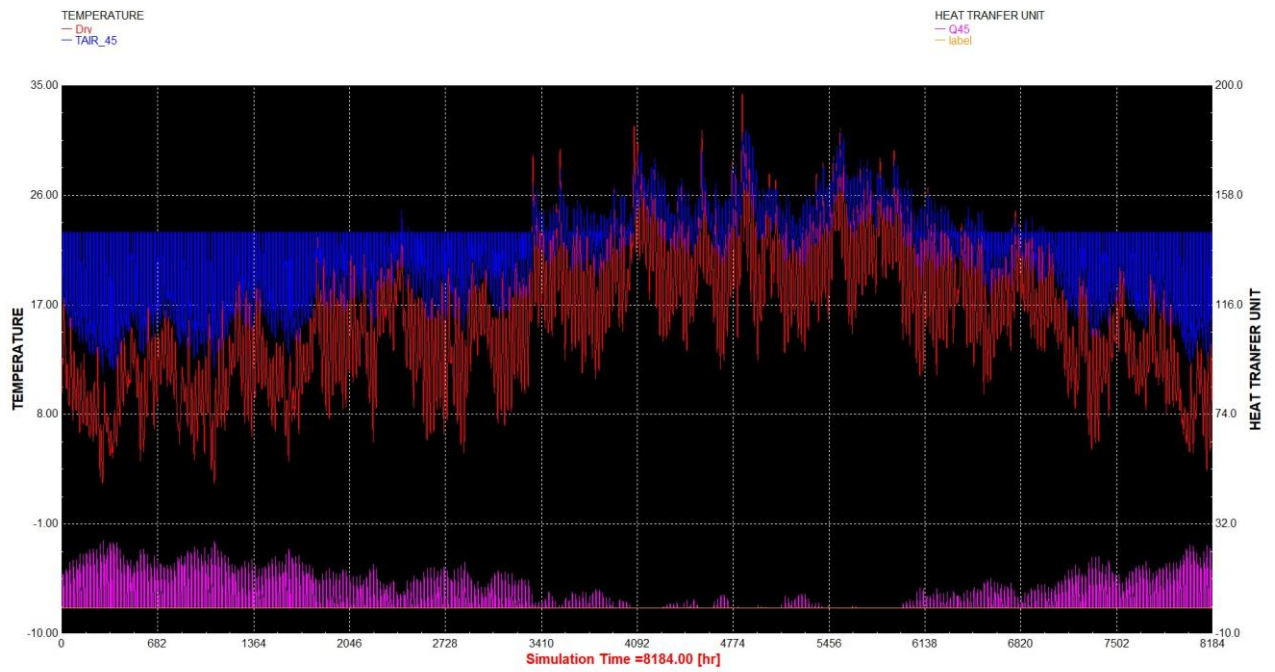


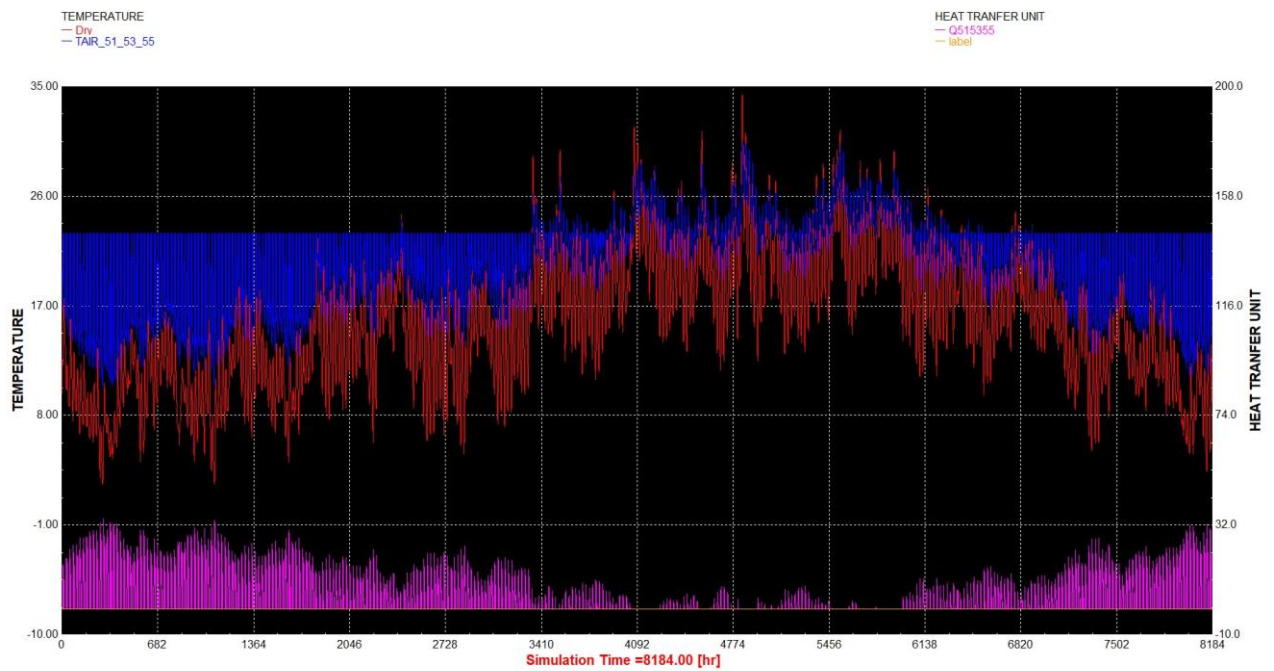
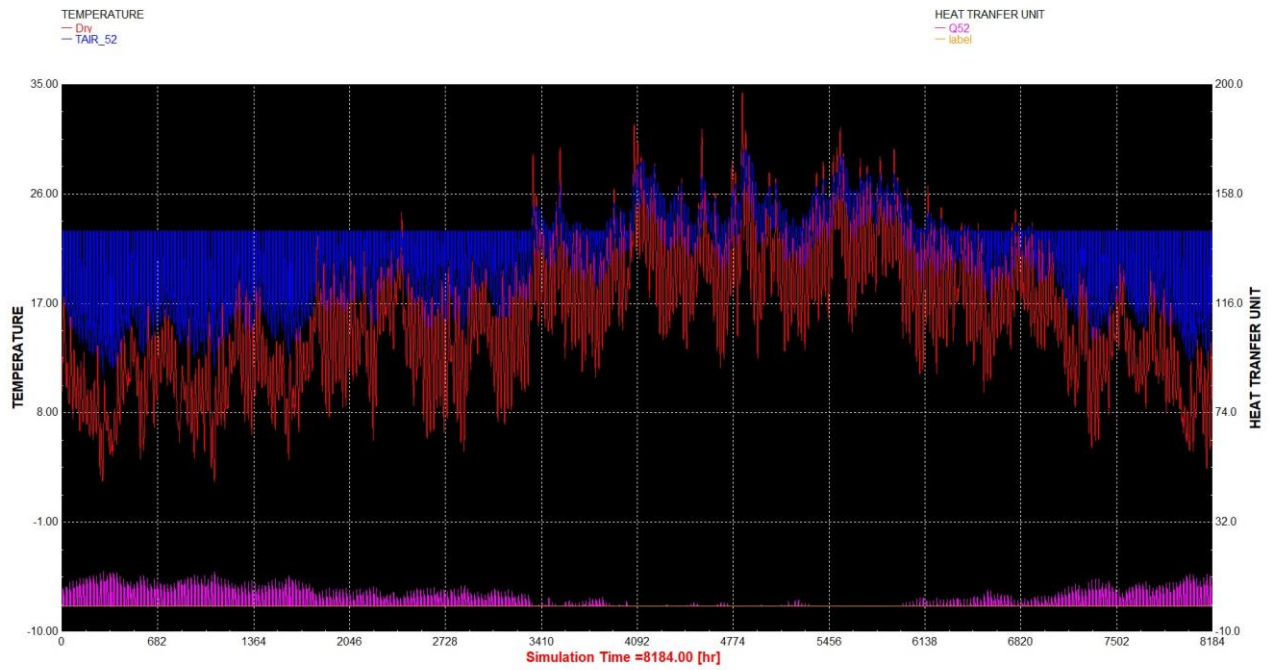


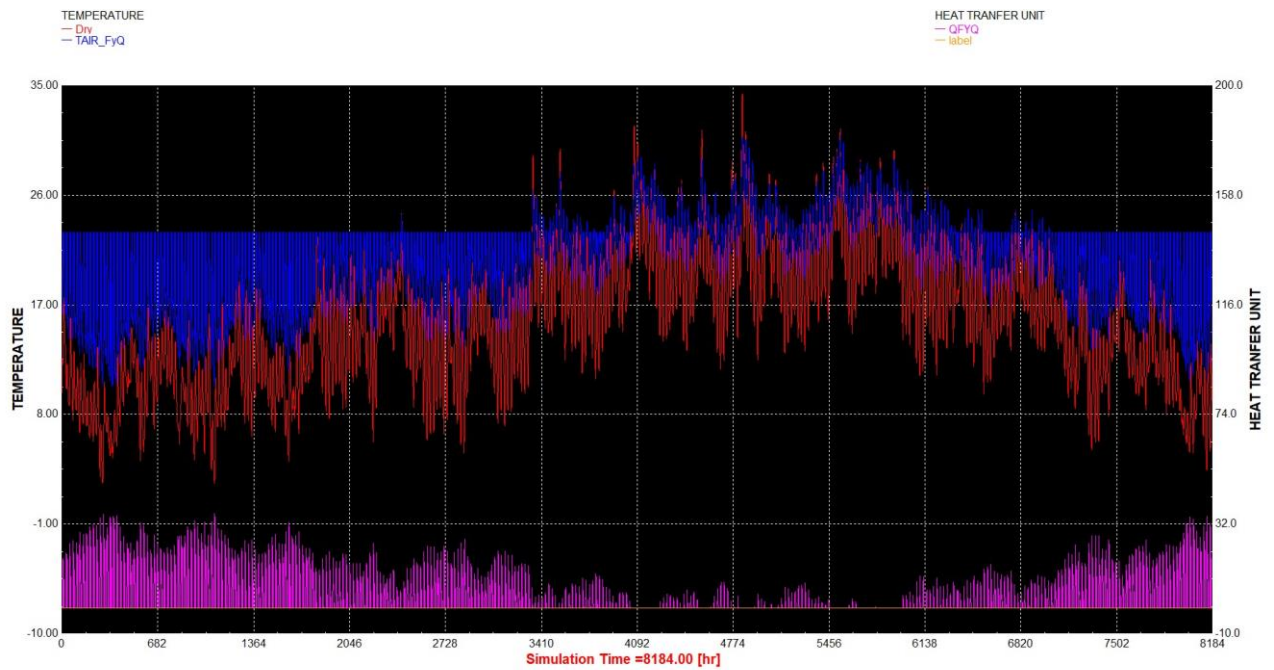
Isaac Peral COVID



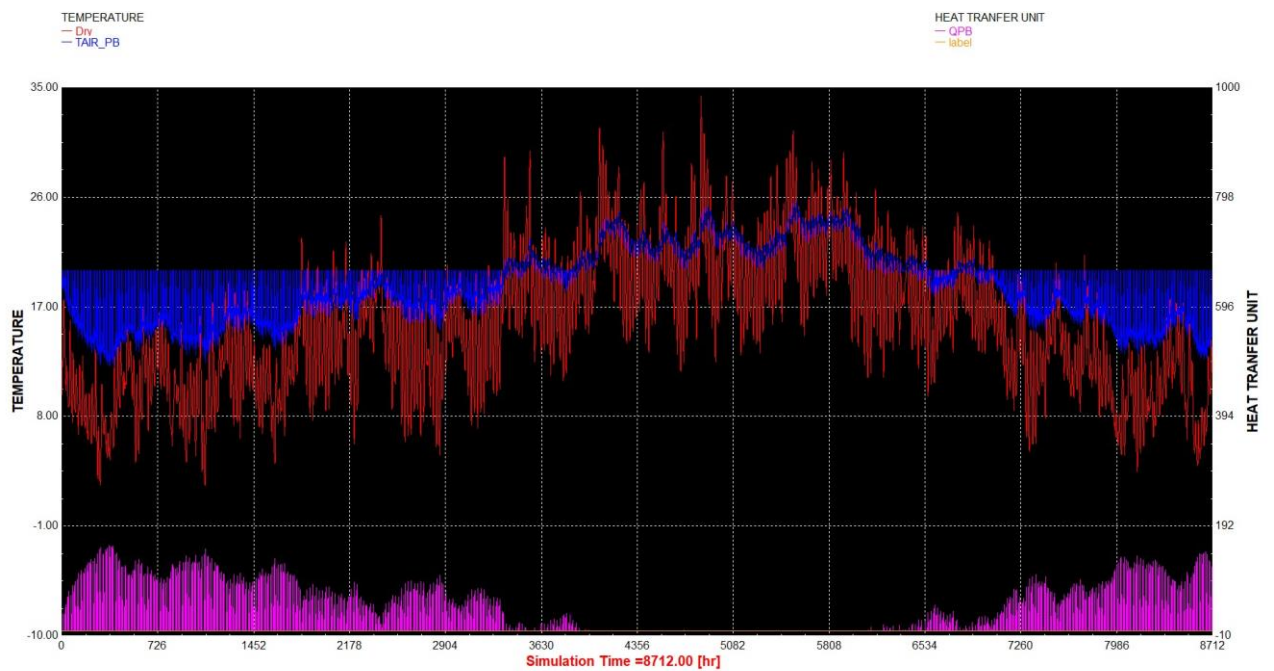


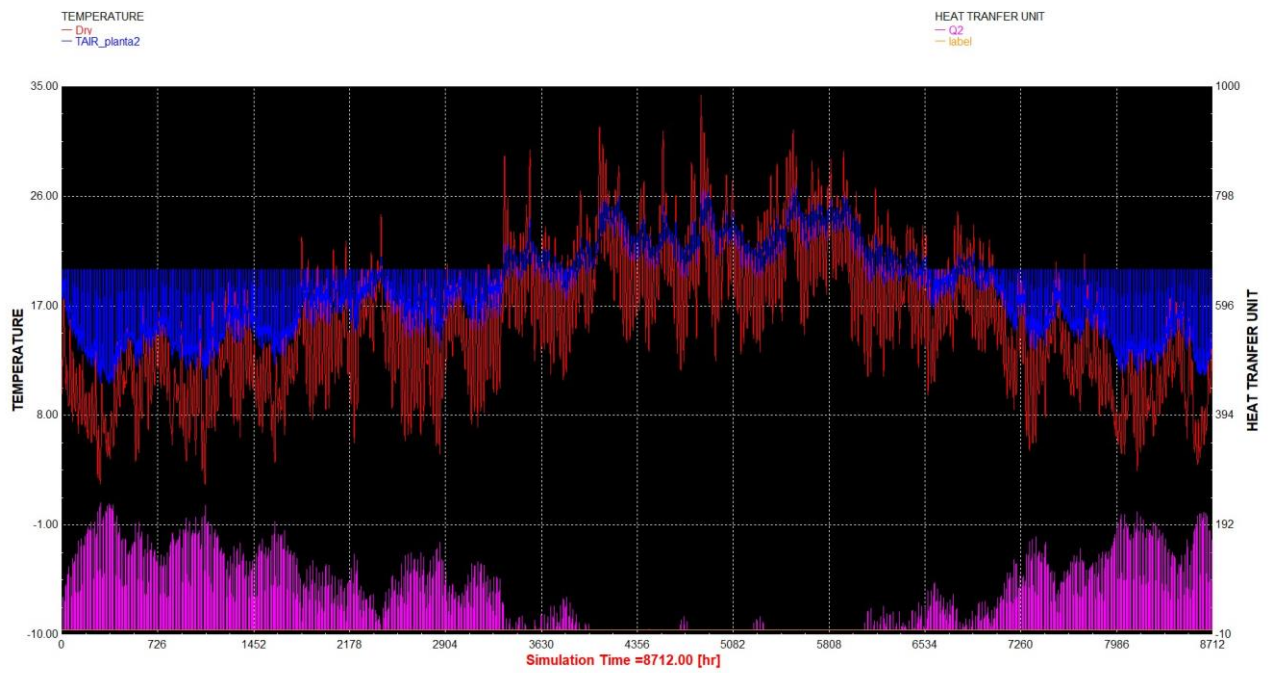
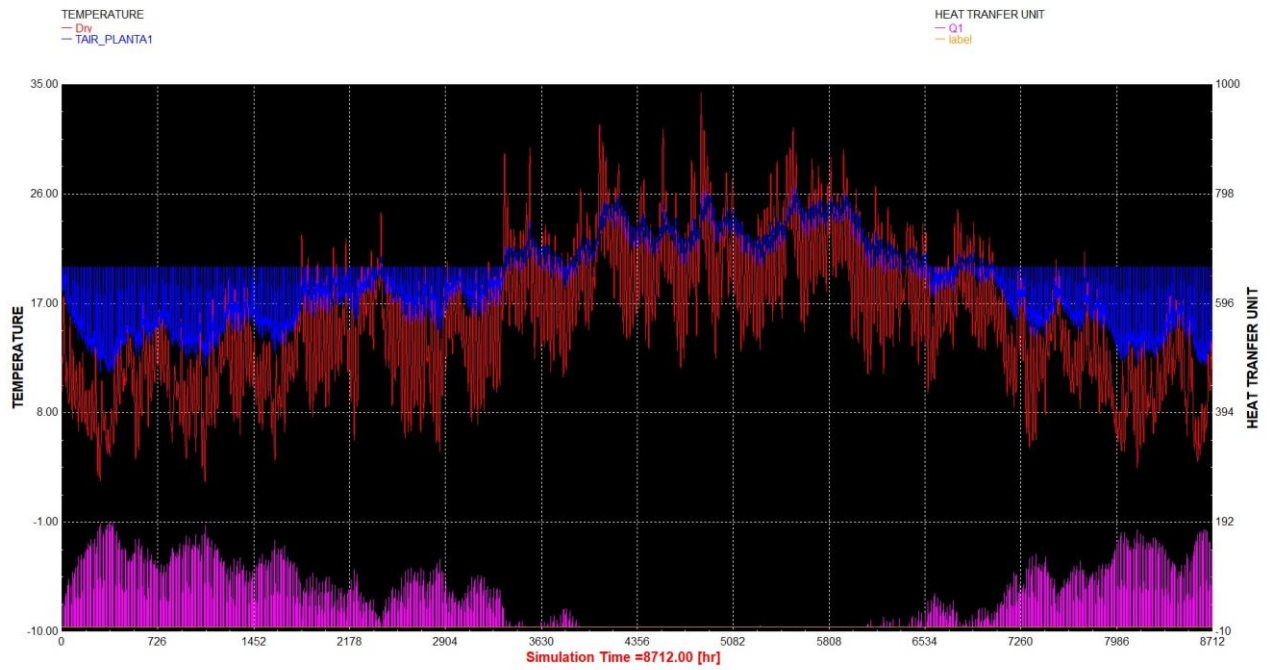




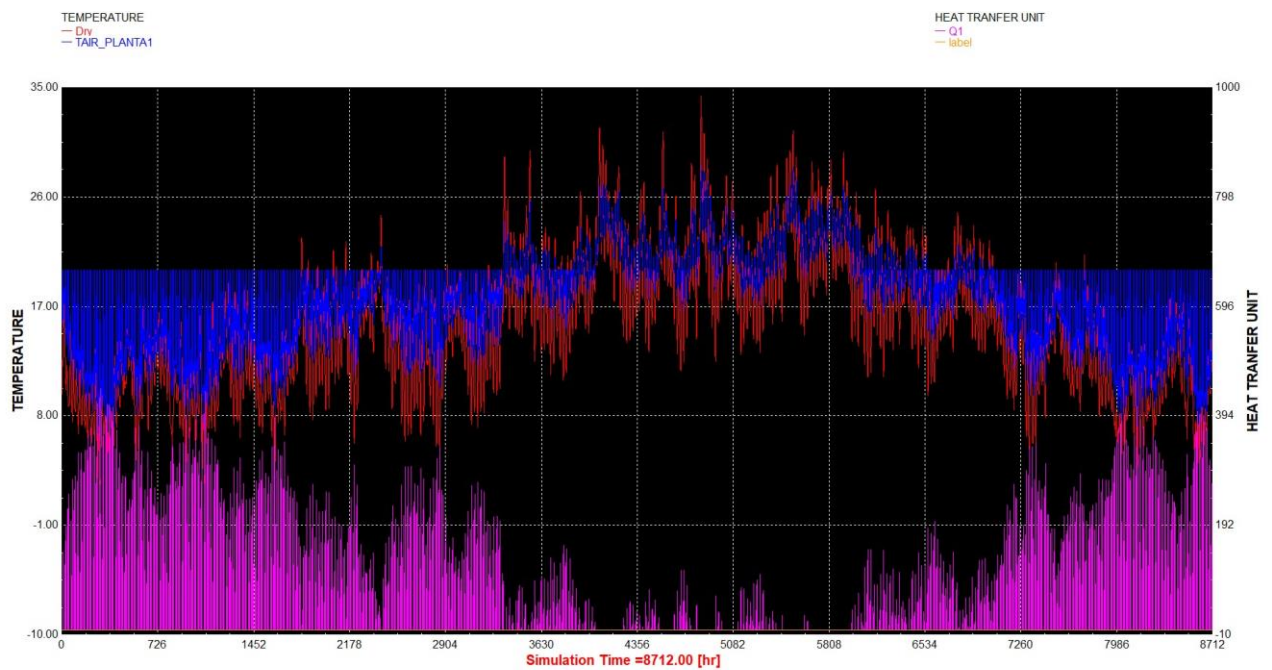
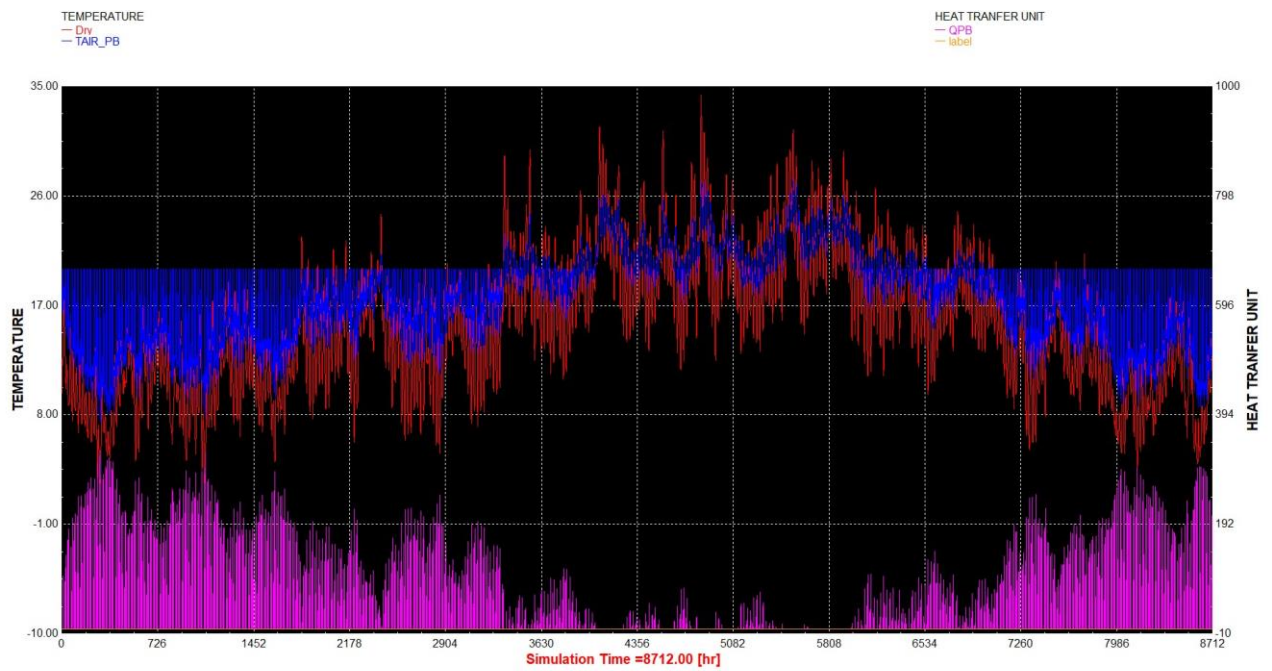


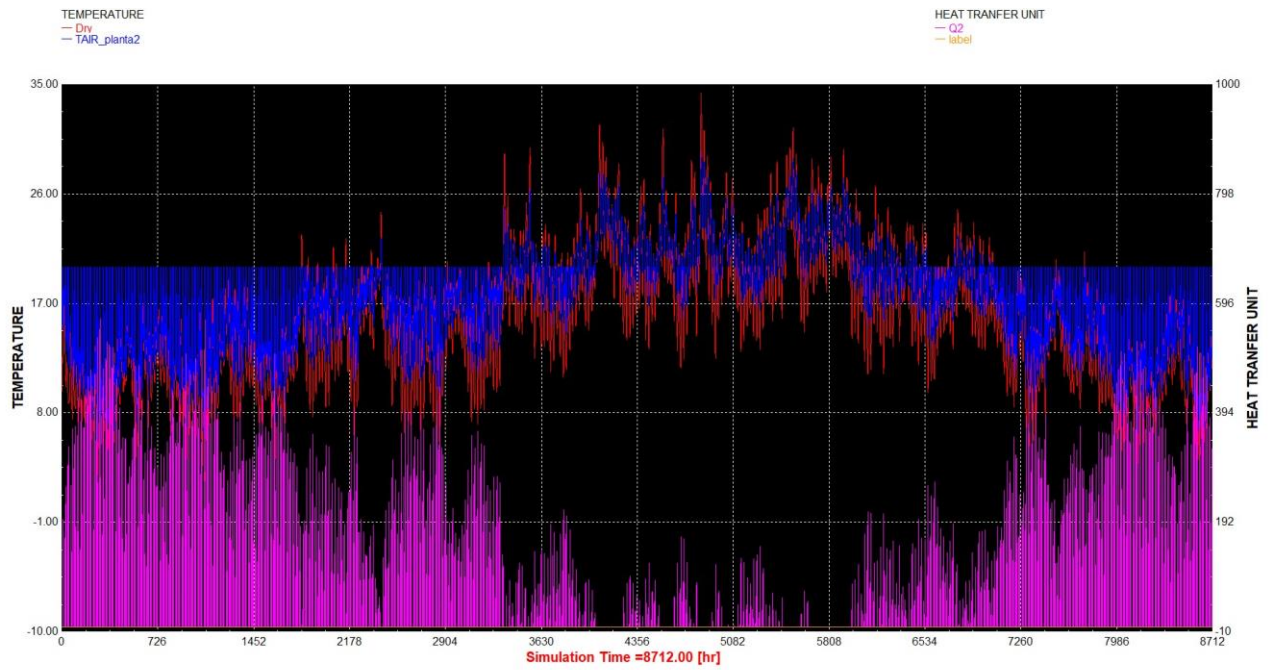
Cuartel Marqués de la Victoria preCOVID



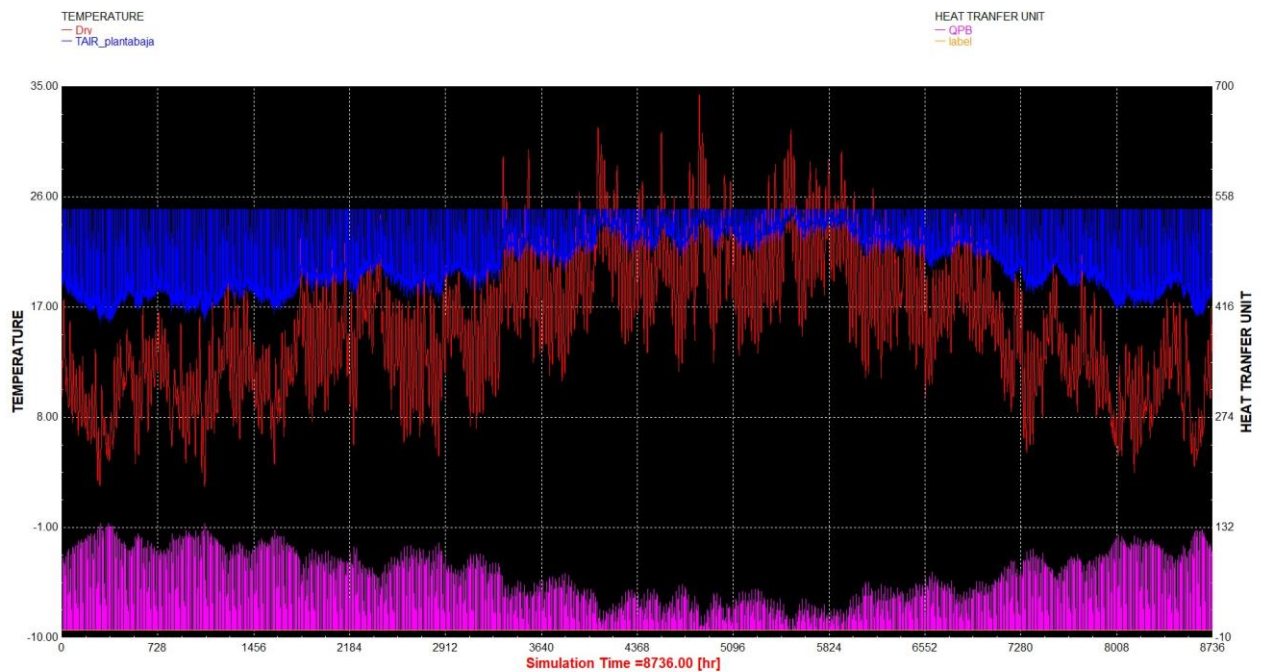


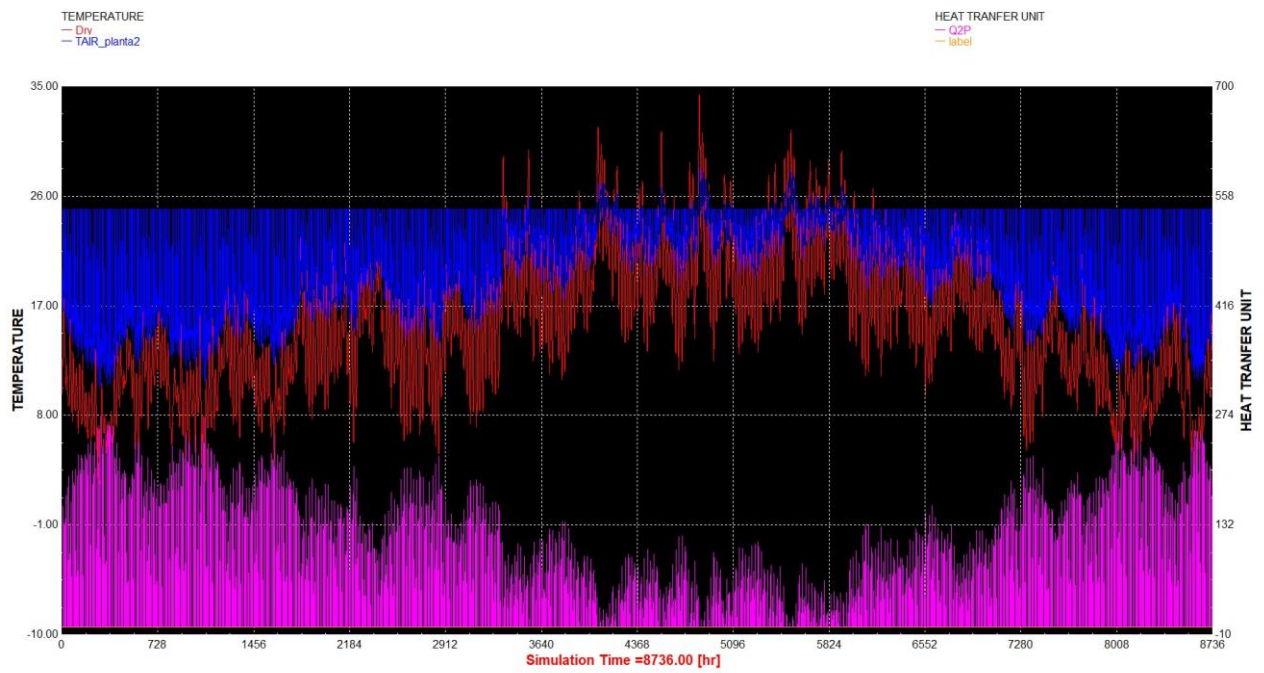
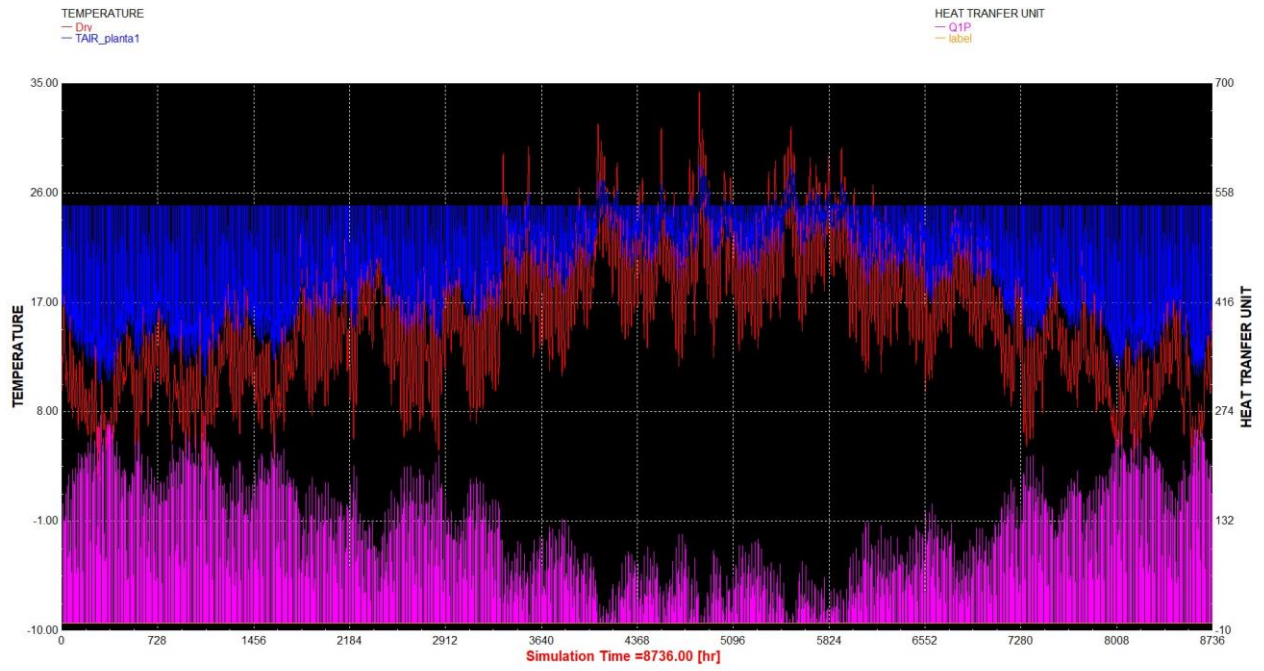
Cuartel Marqués de la Victoria COVID



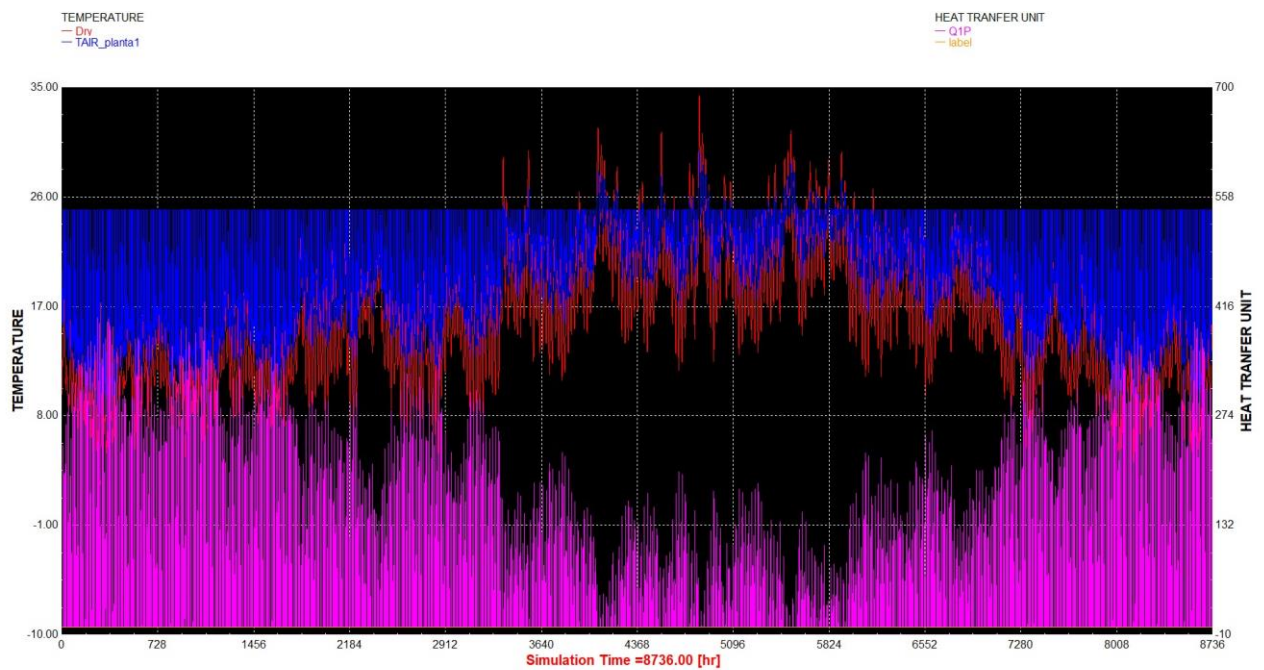
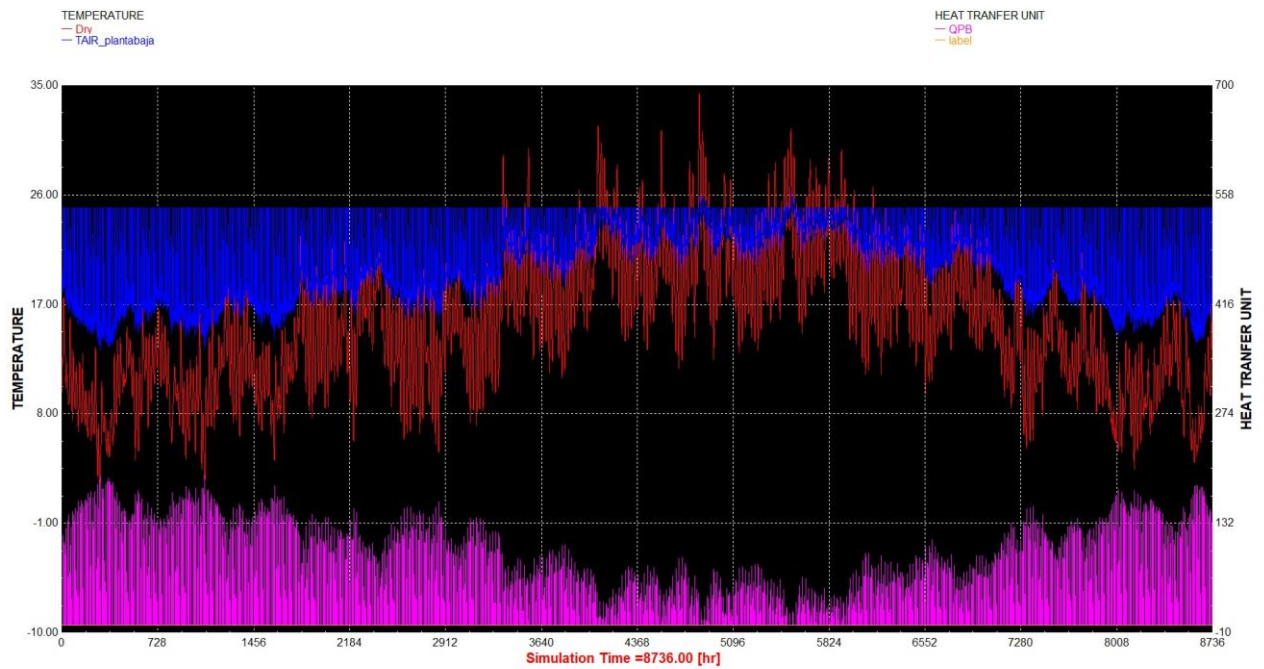


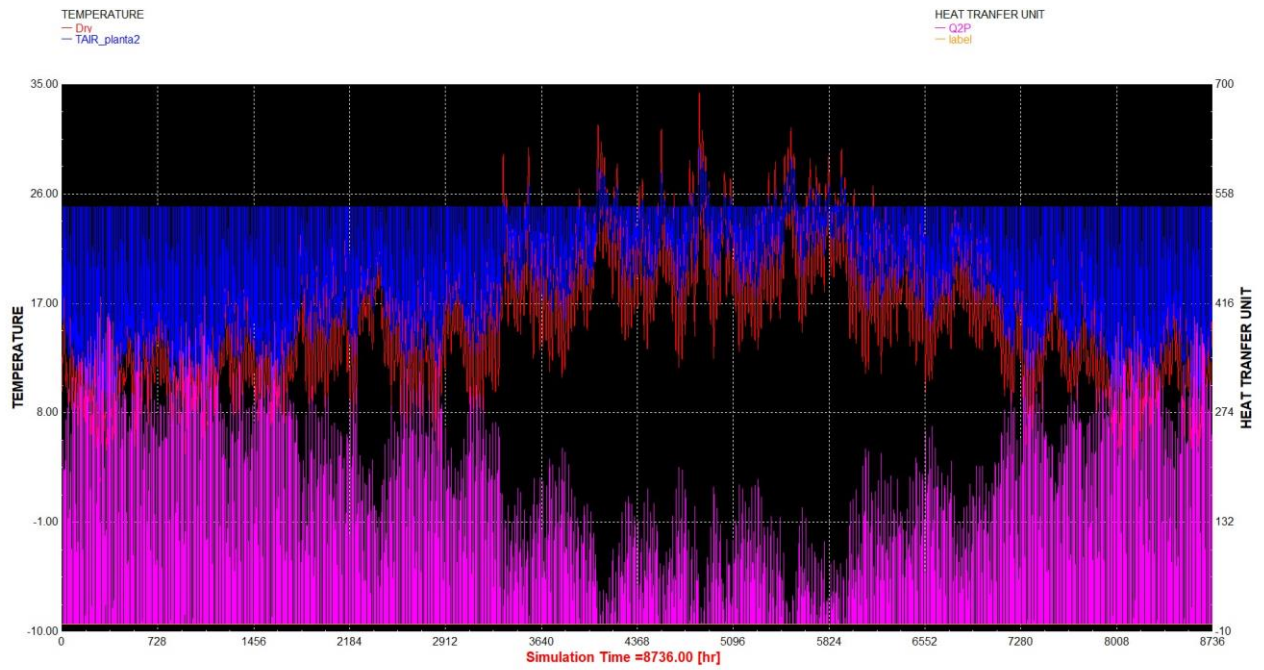
Cuartel Méndez Núñez preCOVID





Cuartel Méndez Núñez COVID





ANEXO II: HORARIO PARA DD. Y CC. ALUMNOS 2020-2021

HORARIO

Para DD. y CC. Alumnos

Días Laborables		Modificación viernes con Leyes Penales	
06:15	Diana. Estudio para 11º, 12º, 3º y 5º. Desayuno para 1º, 2º y 4º.	12:00	Alto clase.
06:45	Finaliza desayuno para 1º, 2º y 4º.	12:15	Formación Patio de Aulas. Revista de Policía.
06:55	Desayuno para 11º, 12º, 3º y 5º. Gimnasia para 1º, 2º y 4º.	12:20	Lectura de Leyes Penales.
07:00	Comienza peluquería por ranchos. Regreso de DD y CCAA externos. Arranchado de camas.	13:10	Finalización acto de Leyes Penales.
07:25	Finaliza desayuno 11º, 12º, 3º y 5º. Comienza estudio para 11º, 12º, 3º y 5º	Sábados	
07:30	Consulta médica.	08:15	Levantarse entrantes de guardia. Desayuno para personal guardia 07:45 Misa voluntaria. Regreso de DD y CCAA externos. entrante. Regreso de francos.
07:40	Finaliza estudio 11º, 12º, 3º y 5º. Finaliza gimnasia para 1º, 2º y 4º	08:45	Diana. Aseo personal. Arranchado de camaretas. Fin desayuno para personal guardia entrante. Desayuno para 1º, 2º y 4º.
07:45	Relevo de la guardia.	08:50	Asamblea.
07:55	Revista de policía.	09:00	Relevo de la guardia.
08:15	1º clase.	09:05	Desayuno personal franco.
09:05	Alto clase.	09:15	Finaliza desayuno para 1º, 2º y 4º.
09:10	2º clase.	09:25	Desayuno para 11º, 12º, 3º y 5º
10:00	Alto clase. Bocadillo.	09:30	1ª hora Estudio voluntario sábado. Salida de francos.
10:15	3º clase.	09:55	Finaliza desayuno 11º, 12º, 3º y 5º Cierre Comedor. Arranchado camas.
11:05	Alto clase.	10:30	Salida de francos. Alto 1ª hora Estudio voluntario sábado. Comienza 2ª Estudio voluntario sábado.
11:10	4º clase.	11:30	Salida de francos. Alto 2ª hora Estudio voluntario sábado. Comienza 3ª hora Estudio voluntario sábado.
12:00	Alto clase.	12:30	Alto 3ª hora Estudio voluntario sábado. Comienza 4ª hora Estudio voluntario sábado.
12:05	5ª clase.	12:45	Salida de francos.
12:55	Alto clase.	13:30	Salida de francos. Alto 4ª hora Estudio voluntario
13:00	6ª clase.	14:10	Primera comida para 1º, 2º y 4º.
13:50	Alto clase.	14:45	Finaliza comida para 1º, 2º y 4º.
14:00	Gimnasia para 11º, 12º, 3º y 5º.	15:05	Primera comida para 11º, 12º, 3º y 5º
14:10	Primera comida para 1º, 2º y 4º.	15:40	Finaliza comida 11º, 12º, 3º y 5º. Cierre autoservicio. Siesta voluntaria
14:45	Finaliza gimnasia para 11º, 12º, 3º y 5º. Finaliza primera comida para 1º, 2º y 4º.	16:00	Salida de francos.
15:05	Primera comida para 11º, 12º, 3º y 5º	17:00	Alto siesta. Arranchado de camas. Salida de francos.
15:40	Finaliza comida 11º, 12º, 3º y 5º	18:00	Salida de francos.
16:10	7ª clase.	19:00	Salida de francos.
16:55	Alto clase.	20:00	Salida de francos.
17:00	8ª clase.	20:15	Abre autoservicio. Comienza el reparto de la cena para 1º, 2º y 4º.
17:45	Alto clase.	20:45	Finaliza el reparto de la cena para 1º, 2º y 4º.
17:50	9ª clase.	21:00	Comienza el reparto de la cena para 11º, 12º, 3º y 5º.
18:35	Alto clase. Descanso.	21:30	Finaliza el reparto de la cena para 11º, 12º, 3º y 5º. Cierre autoservicio. Acostarse (voluntario). Salida de francos.
18:45	Lectura de la orden. Oración	21:40	Cierre Comedor.
19:00	Estudio voluntario. Misa voluntaria. Salida de francos de paseo OAAA, GGMM y Aspirantes.	22:30	Salida de francos.
20:15	Abre autoservicio. Comienza el reparto de la cena para 1º, 2º y 4º.	23:00	Salida de francos.
20:45	Finaliza el reparto de la cena para 1º, 2º y 4º.	23:59	Se cierra el casino de alumnos.
20:50	Estudio obligatorio para Aspirantes (excepto distinguidos de 2º curso).	01:30	Regreso de DD. y CC. Aspirantes francos de paseo. Acostarse.
21:00	Comienza el reparto de la cena para 11º, 12º, 3º y 5º	02:00	Regreso de DD. y CC. Aspirantes distinguidos francos de paseo.
21:30	Alto estudio voluntario. Finaliza el reparto de la cena para 11º, 12º, 3º y 5º. Cierre autoservicio. Salida de francos de paseo.	Domingo y Días Festivos	
22:10	Finaliza estudio obligatorio. Acostarse.	Se seguirá régimen de sábado con las siguientes modificaciones.	
22:15	Silencio.	20:00	Misa voluntaria. Salida de francos.
23:00	Regreso de francos DD. y CC. Aspirantes.	23:30	Regreso de DD. y CC. Aspirantes francos de paseo. Acostarse. Se cierra el Casino de Alumnos.
01:00	Regreso de francos DD. y CC. GG.MM.	23:59	Regreso de francos de DD. y CC. Aspirantes distinguidos.
01:30	Alto estudio voluntario expresamente autorizado.	01:00	Regreso de francos DD. y CC. GG.MM.
Modificación Jueves para Alumnos CIM		Viéperas Días Festivos	
06:15	Diana. Aseo personal. Arranchado Cuarteles. Estudio para 11º, 12º, 3º y 5º Desayuno para 1º, 2º y 4º.	Se sigue régimen de sábado a partir del cese de actividades.	
06:45	Finaliza desayuno para 1º, 2º y 4º.		
06:55	Desayuno para 11º, 12º, 3º y 5º. Gimnasia para 1º, 2º y 4º.		
07:00	Comienza peluquería por ranchos. Regreso de DD y CCAA externos. Arranchado de camas.		
07:25	Finaliza desayuno 11º, 12º, 3º y 5º. Comienza estudio para 11º, 12º, 3º y 5º		
07:30	Consulta médica.		
07:40	Finaliza estudio 11º, 12º, 3º y 5º. Finaliza gimnasia para 1º, 2º y 4º.		
07:45	Relevo de la guardia.		
08:00	Revista de policía.		
08:15	1ª clase.		
09:05	Alto clase.		
09:10	2ª clase.		
10:00	Alto clase. Bocadillo.		
10:15	3ª clase.		
11:05	Alto clase.		
11:10	4ª clase.		
12:00	Alto clase.		
12:05	Recogida de armamento y equipos. Revista.		
12:25	Formación y novedades. Salida hacia zona de ejercicios.		
19:15	Fin de salida prácticas de campo.		
Modificación Viernes			
12:05	Actividades de Régimen Interior / Estudio.		
13:50	Finaliza Actividades de Régimen Interior / Finaliza estudio.		
14:00	Gimnasia para 11º, 12º, 3º y 5º.		
14:10	Primera comida para 1º, 2º y 4º.		
14:45	Finaliza gimnasia para 11º, 12º, 3º y 5º. Finaliza primera comida para 1º, 2º y 4º.		
15:05	Primera comida para 11º, 12º, 3º y 5º.		
15:40	Finaliza comida 11º, 12º, 3º y 5º.		
16:10	7ª clase.		
16:55	Alto clase.		
17:00	8ª clase.		
17:45	Alto clase.		
17:50	1ª hora Estudio voluntario.		
18:10	Salida de francos de paseo, internos con permiso de pernocta y externos. A continuación, régimen de sábado, excepto para alumnos con estudio de refuerzo tutorizado (según corresponda)		
19:10	Alto 1ª hora Estudio voluntario. Comienza 2ª hora Estudio voluntario.		
20:30	Alto 2ª hora Estudio voluntario.		



ANEXO III: CALDERAS DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR

Cuartel Almirante Francisco Moreno

El cuartel Almirante Francisco Moreno cuenta con la caldera ROCA BT/450 que usa como suministro el gas natural. Son dos grupos térmicos generadores de calor presurizados de combustión con inversión de llama de rendimiento útil superior al 91 % y Tª máxima de trabajo de 100 °C.

Fueron instalados en el año 2005, con quemadores BAXI TECNO 50 de potencia máxima de 500.000 kcal/h. La potencia útil de cada grupo es de 458.000 kcal/h (532 KW). En la sala de calderas del cuartel se encuentran dos acumuladores de ACS de 3.000 L cada uno, además de un contador de energía consumida.

Para la producción de ACS el equipo dispone de un circuito de agua cerrado que calienta el agua hasta 60 °C por medio de dos intercambiadores de calor. Éste agua se almacena en los dos acumuladores disponibles. Cuando se precise su uso, el ACS es impulsada hasta los grifos desde estos acumuladores.



Modelo Modelo	Potencia útil Potencia útil		Rendi- miento útil Rendi- miento útil	Sobre presión cámara comb. Sobre pressão câmara combustão	Pérdida presión circ. agua Perda pressão circ. água	Peso aprox. Peso aprox.	Cap. agua Cap. água	Quemador / Queimador				Nº Bombas trasiego y modelo Nº Bombas trasiego y modelo
								Gasóleo / Gasoleo		Gas /Gás		
	kcal/h x 1000	kW						%	mbar	Δt=15°C mbar	kg	
BT 140	137	160	91,2	1,4	23,2	340	173	CRONO 20-L2*	-	CRONO 20-G2	-	2 MYL 30-0
BT 180	184	214	91,2	1,7	35,7	435	220	TECNO 28-L	-	TECNO 28-G	TECNO 28-GM	2 MYL 30-0
BT 270	271	315	91,3	2,5	44,6	600	295	TECNO 38-L	-	TECNO 38-G	TECNO 38-GM	2 MYL 40
BT 360	366	425	91,5	3,3	62,5	775	422	TECNO 50-L	TECNO 50-LM**	TECNO 50-G	TECNO 50-GM	2 PC 1045
BT 450	458	532	91,8	4	78,6	980	522	TECNO 50-L*	TECNO 50-LM**	TECNO 70-G	TECNO 70-GM	2 PC 1055
BT 540	550	639	92	4,7	92,9	1160	660	TECNO 70-L*	TECNO 70-LM**	TECNO 70-G*	TECNO 70-GM*	2 PC 1055
BT 630	642	747	92,2	4,4	112,5	1320	730	TECNO 70-L*	TECNO 70-LM**	TECNO 70-G*	TECNO 70-GM*	2 PC 1065

Edificio Isaac Peral

El edificio Isaac Peral cuenta con la caldera FÉRROLI PREXTHERM 400 que usa como suministro el Gas natural. Esta caldera tiene un rendimiento de 92% y que trabaja a una Tª máxima de 100 °C. La Potencia nominal Útil es de 340.000 kcal/h.

La caldera fue instalada en el año 2009, en sustitución de una caldera de gasóleo “C” que llevaba instalada en el edificio desde el año 1971. Cuenta con un quemador SUN M50 2P/M de 550.000 kW/h.



Cuartel Marqués de la Victoria

El cuartel Marqués de la Victoria cuenta con las calderas ROCA/CPA-500 y ROCA L200-10 que usan como suministro el gasóleo “C”. La caldera CPA de gasóleo C es un generador de calor presurizado de combustión con inversión de llama de rendimiento superior al 90%.

Fue instalada en la ENM en el año 2007 reemplazando a su predecesora, una caldera ROCA L-100 empleada para calefacción, instalada en 1971. La actual se emplea para calentar el agua del circuito de calefacción exclusivamente. Alimenta tanto al cuartel Marqués de la Victoria como al Casino de Alumnos Almirante Bonifaz.

La caldera tiene una Potencia útil de 500.000 kcal/h (581,4 kW), y una capacidad de 503 L de agua. El quemador que emplea es un LAMBORGHINI G20. Junto con la segunda caldera instalada para servir a este cuartel, comparte dos depósitos de ACS de capacidad de 12.000 L en total (6.000 L cada uno).

Modelo	Potencia útil		% Rendimiento (1) útil con carga		Sobrepresión cámara combustión mm.c.a.	Pérdida presión circuito agua $\Delta t=15^{\circ}\text{C}$ mm.c.a.	Peso aprox. kg	Capac. agua litros
	kcal/h	kW	100%	30%				
CPA 50	50.000	58,1	91,0	91,7	4	80	250	115
CPA 70	70.000	81,4	91,1	92,0	4	105	285	130
CPA 100	100.000	116,3	91,4	92,0	8	135	330	150
CPA 130	130.000	151,2	91,4	92,3	12	120	385	170
CPA 160	160.000	186,0	91,7	92,2	16	165	425	180
CPA 200	200.000	232,6	92,0	92,8	20	210	465	195
CPA 250	250.000	290,7	92,0	93,0	25	190	588	272
CPA 300	300.000	348,8	92,1	93,1	28	250	645	297
CPA 350	340.000	395,3	92,3	93,0	32	330	695	311
CPA 400	400.000	465,1	92,2	93,2	35	260	835	453
CPA 500	500.000	581,4	92,4	93,2	41	350	940	503
CPA 600	600.000	697,7	92,3	93,1	46	270	1.180	689
CPA 700	685.000	796,5	92,4	93,4	50	350	1.295	726
CPA 800	800.000	930,2	92,4	93,4	58	320	1.460	966
CPA 900	900.000	1.046,5	92,5	93,5	60	400	1.610	1.005
CPA 1100	1.100.000	1.279,1	92,5	93,5	68	510	1.790	1.106
CPA 1300	1.300.000	1.511,6	92,4	93,6	72	420	2.235	1.640
CPA 1500	1.500.000	1.744,2	92,5	93,5	78	540	2.466	1.739

(1) = Temperatura media del agua 70 °C al 100 y de 50 °C al 30%.

Esta caldera de gasóleo C se emplea en la actualidad para producir ACS para el cuartel y para el Casino de Alumnos Almirante Bonifaz. Tiene una potencia de 112.660 kcal/h y emplea un quemador LAMBORGHINI G75.



Cuartel Méndez Núñez y Residencia de Oficiales

Tanto la Residencia de Oficiales, como el cuartel de marinería, tienen dos calderas de gas natural y dos de gasóleo “C”, respectivamente. Las calderas son las YGNIS IBÉRICA ENM-312 de 384.300 kcal/h instaladas en el año 1993. Una de ellas se emplea en el circuito de calefacción del cuartel y otra para la producción de ACS. El quemador que emplean son de la marca JOANNES modelo GP 45/2, y en la sala de calderas existe un acumulador de 10.000 L.



Patio de Aulas

El Patio de Aulas cuenta con la caldera ROCA/CPA-500 que usan como suministro el gasóleo “C”. Fue instalada en el año 2000 y es el mismo modelo de caldera que el instalado en el año 2007 para el cuartel Marqués de la Victoria. La caldera cuenta con un quemador TECNO-L de ROCA.

En la sala de calderas todavía se conserva la primera caldera instalada en la Escuela Naval Militar, en 1943. Ésta fue fabricada por la compañía “Roca Radiadores S.A.”, primer nombre de la empresa que hoy se conoce simplemente por Roca.

