



Un mundo sostenible no será posible sin ustedes
Nosotros les ayudamos



Financiado por
la Unión Europea



Estudio de Medición y Verificación del desempeño energético - Edificio Palacio Municipal Camilo Aldao

Agencia Francesa de Desarrollo – RAMCC – Municipalidad de Camilo Aldao

17/12/2024

Referencia	TR20IN007_Euroclima+_Municipalidad de Camilo Aldao_Informe M&V del desempeño_V.2	
Distribución	TERAO, AFD, RAMCC, Municipalidad de Camilo Aldao	
Versión - Fecha	V.2	17/12/2024
Redactado por	Giovana PINHEIRO, Andrés MENESES	
Validado por	Giovana PINHEIRO, Andrés MENESES	
Histórico de las versiones	NA	



Índice

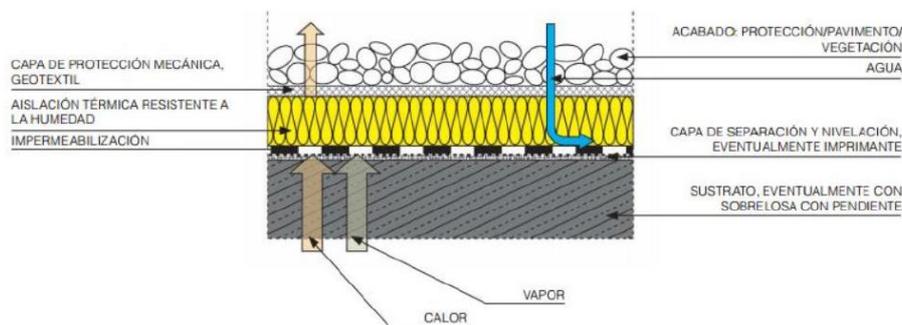
1.	Resumen ejecutivo	4
1.1.	Descripción de la obras y cronograma	4
1.2.	Revisión del desempeño energético	4
1.3.	Impacto económico	5
1.4.	Impacto ambiental	5
2.	Introducción	6
2.1.	Contexto	6
2.2.	Objetivos del documento	7
3.	Resumen Auditoría Energética 06/2022	8
4.	Medida de Eficiencia Energética	12
4.1.	Descripción de la obras y cronograma	12
4.2.	Análisis de variables dependientes e independientes	12
4.3.	Mediciones realizadas y parámetros recopilados.	14
4.4.	Opción de M&V seleccionada	14
4.5.	Definición de la línea base	14
5.	Revisión del desempeño del confort.....	15
5.1.	Metodología	15
6.	Revisión del desempeño energético	20
6.1.	Consumo energético global	20
6.2.	Impacto económico	21
6.3.	Impacto ambiental	21
7.	Anexos.....	22
7.1.	Graficas de Confort Caso base y caso mejorado	22
8.	Présentation de TERA0	24

1. Resumen ejecutivo

1.1. Descripción de la obras y cronograma

Tres estrategias de eficiencia energética fueron propuestas por la auditoría energética desarrollada: intervenciones para mejorar el desempeño de los muros, de las carpinterías y de la cubierta. Por cuestiones financieras, una sola estrategia pondría ser implementada y el aislamiento de la cubierta fue elegido. Pasaran de una cubierta sin aislamiento a 8 cm de poliestireno expandido.

Ante la necesidad de aislar térmicamente la cubierta del edificio, se propone como mejor recurso, el sistema de techo invertido aislante en la totalidad de su superficie de losa. Se colocan placas de poliestireno expandido (EPS) de 20Kg/m3 de densidad de 80 mm de espesor sobre la aislación hidráulica de la cubierta. Por encima de ellas, se dispone una membrana geotextil de 80 a 120 gramos que actúa como capa filtrante y evita que crezca eventualmente algún vegetal. Sobre esta última, se agregan 60 mm de arcilla expandida.



Las obras para implementación de “techo invertido” han tenido duración de 1 mes (en noviembre de 2023).

Fuente: CAMILO ALDAO – INFORME EJECUTIVO Proyecto EUROCLIMA+ – MEMORIA DESCRIPTIVA

1.2. Revisión del desempeño energético

Consumo de electricidad (kWh)		
Mes	2023	2024
Enero	1 370	880
Febrero	1 281	1 813
Marzo	1 250	608
Abril	733	359
Mayo	812	361
Junio	791	120
Julio	549	292
Agosto	483	378
Septiembre	765	1352
Octubre	1208	
Noviembre	1000	
Diciembre	671	
Promedio mensual	909	685
Consumo anual	10 913	8 217

Consumo de gas				
Mes	m³		kWh*	
	2023	2024	2023	2024
Mayo	65	2594	65	2594
Junio	3438	2292	3438	2292
Julio	5156	3751	5156	3751
Agosto	3038	3394	3038	3394
Septiembre	3178	1200	3178	1200
Promedio mensual	2975	2646	2975	2646
Consumo anual	14875	13231	14875	13231

* Para estimar el consumo de gas natural en kWh, se utilizó un factor de conversión de 10,81 kWh/m³. Este valor se deriva de un poder calorífico del gas estimado de 9.300 kcal/m³, considerando que 1 kcal equivale a 0,00116222 kWh.

Las simulaciones energéticas muestran que las obras realizadas permiten alcanzar un ahorro del 24% en calefacción y del 12% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 083 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 4 339 kWh. El valor restante de 7 744 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 7% en invierno y un 31% en verano.

1.3. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 11 458 814 ARS, equivalentes a 12 908 USD, lo que representa un costo de 43 USD/m².

Para el análisis económico, utilizamos los precios promedio de energía reportados por la Secretaría de Energía de la Nación y el Ministerio de Economía. El precio del kWh de gas natural es de 0,012 USD/kWh y el del kWh eléctrico es de 0,15 USD/kWh.

Según el comunicado del Ministerio de Economía, y considerando las tendencias de incremento del precio de la energía, se estima un aumento conservador del 8% anual.

Con estas proyecciones, el ahorro durante el primer año sería de aproximadamente 816 USD/año, o 2,7 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de los 9 años.

1.4. Impacto ambiental

Para estimar el impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂ equivalente), se utilizaron los valores de conversión reportados por la Secretaría de Energía para el año 2023: 0,4293 kgCO₂/kWh para electricidad y 0,1803 kgCO₂/kWh para gas natural.

Gracias a las estrategias implementadas, en el primer año se lograron evitar 2 632 kgCO₂/año, lo que equivale a 8,8 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 26 317 kgCO₂.

En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 3 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ absorbido por un árbol maduro al año.



2. Introducción

2.1. Contexto

El presente documento realizado por TERAQ, en nombre de SETEC-TERAQ, para la **Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)** tiene como beneficiario final el **proyecto Euroclima+** de '**Edificios Municipales Energéticamente Sostenibles - EMES**' y el **Municipio de Camilo Aldao**.

El proyecto EMES es financiado con fondos del Programa Euroclima+ de la Unión Europea, implementado por la **Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)** en Argentina y ejecutado por la **Universidad Nacional de La Plata (UNLP)** como entidad responsable del proyecto, en colaboración con la **Red Argentina de Municipios contra el Cambio Climático (RAMCC)** y el **Centro Climático de Copenhague (CCC UNEP;** antes Centro de Copenhague de Eficiencia Energética C2E2 - DTU).

La misión está dividida entre diferentes fases:

- **Fase de Auditorías Energéticas:** hasta enero de 2024 se han realizado 49 estudios de auditoría energética, de los cuales 47 fueron ejecutados por el **Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS)** de la **Universidad Nacional de La Plata (UNLP)** y 2 por TERAQ. Estos estudios han permitido:
 - ✓ Elaborar un diagnóstico de la situación actual de la eficiencia energética en los sitios seleccionados, correspondientes a 17 municipios distribuidos en 8 provincias;
 - ✓ Definir un portafolio de proyectos de eficiencia energética;
 - ✓ Llevar a cabo obras de renovación energética, interviniendo 4 edificios, mientras que las obras en otros 4 están en desarrollo;
- **Fase de Obras:** como citado previamente, la implementación de las acciones propuestas en auditoría.
- **Fase de Medición & Verificación:** seguimiento de las obras y mediciones de los ahorros energéticos.

Los **objetivos** específicos de esta fase son:

- Hacer un **seguimiento de los consumos** posterior a la auditoría energética;
- Realizar un análisis del **impacto energético/económico/ambiental** de las renovaciones realizadas;
- Utilizar las obras finalizadas como **proyectos modelo** y mostrar con mediciones & verificaciones concretas la **efectividad de las acciones propuestas** en auditoría energética.

2.2. Objetivos del documento

El **Palacio Municipal de Camilo Aldao** se benefició de un estudio de auditoría energética en junio de 2022 en el marco de la fase inicial del **programa Euroclima+**. En noviembre de 2023 se pusieron en práctica algunas de las acciones propuestas en conclusión de la auditoría energética con el objetivo de buscar mejoras en el confort de los ocupantes además de ahorros energéticos, económicos y ambientales.

Actualmente, para dar continuidad al proyecto con la fase de medición y verificación, **TERAO** realizó una visita para conocer las evoluciones que ha tenido el edificio en cuanto a su uso, sus equipos, su envolvente y más que todo sus consumos. En esta visita, más que tomar conocimiento de las obras efectuadas, **TERAO** pudo recolectar datos de temperatura y humedad para dar más precisión a su análisis. Se han realizado también reuniones virtuales y presenciales para recolección de informaciones, datos y documentos.

El propósito del reporte actual es de:

- Recordar las **conclusiones de la auditoría energética** con el resumen ejecutivo;
- **Presentar las evoluciones** que hayan sido observadas **en el edificio** desde la auditoría energética;
- Hacer un **análisis de los consumos**;
- **Demostrar los ahorros energéticos, económicos y ambientales** logrados por medio del método IPMVP de medición y verificación y así **comprobar la efectividad de las propuestas de las auditorías energéticas**.

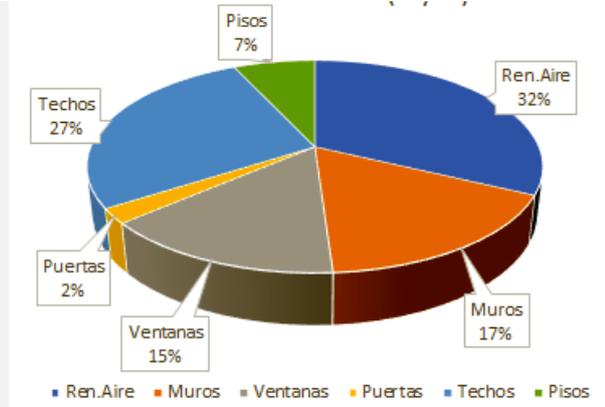
3. Resumen Auditoría Energética 06/2022

De la auditoria energética desarrollada por el Laboratorio de Arquitectura y Habitat Sustentable (LAYHS) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) se extrae lo siguiente:

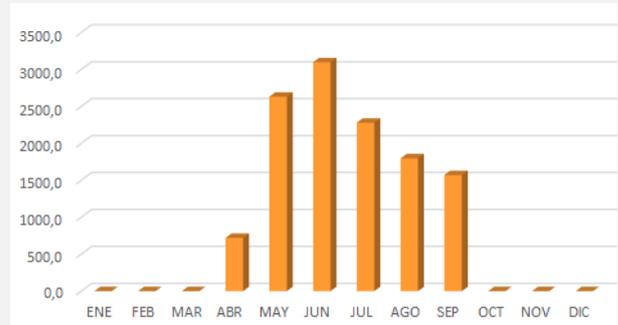
Datos administrativos	El edificio
<p>Dirección: calle Belgrano 901 de Camilo Aldao Fecha de construcción: meados del siglo XIX Tipo: Oficina Superficie: 297 m² Obras y renovaciones más relevantes: no hay detalles de las intervenciones, pero es constatado que el edificio ha sufrido numerosas renovaciones encontrándose en buen estado</p>	
Características Bioclimáticas	Equipos técnicos
<p>Contexto térmico: Clima templado cálido en Zona IIa (IRAM 11603).</p> <p>Comportamiento térmico: El edificio es de construcción convencional típico en la región y de baja eficiencia energética. El personal manifiesta que es muy caliente en los meses de verano y regular en los meses de invierno. A pesar de contar con sistema de climatización.</p> <p>Envolvente: Está materializado con muros de ladrillos macizos de 30cm, revocados en ambas caras, techo de losa de H°A° con contrapiso de pendiente membrana hidráulica y terminación de ladrillos. Las carpinterías de ventanas y puertas son amplias de perfiles de aluminio con un vidrio de seguridad de 3+3mm de espesor sin protección adicional. Los solados son mixtos de cerámicas esmaltadas sobre contrapiso de hormigón pobre o baldosas calcáreas. El edificio contaba con protecciones solares en las ventanas y lamentablemente en la rehabilitación se eliminaron y en la actualidad se generan sobrecalentamientos.</p>	<p>Iluminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posee buena iluminación natural. - El sistema de alumbrado interior es tipo LED de reciente rehabilitación. <p>Energía renovable:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posee un generador solar fotovoltaico de 6,90 kWp conectado a red urbana mediante un inversor de corriente trifásico y un medidor de doble vía. Este permite reducir la demanda anual unos 4844 kWh/año de los 15000 kWh/año, interanuales. <p>Sistema de climatización y calefacción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos de aire acondicionado frío/calor, ubicados en los ambientes principales. - Dos estufas convectoras de 5000 kcal.

Invierno – Análisis, propuesta mejorada y conclusiones

Pérdidas térmicas discriminadas situación original



Demanda de energía en calefacción en kWh/mes calculado para TBcal= 20°C, situación original



Demanda anual energía eléctrica en calefacción, situación original

ASPECTOS DIMENSIONALES	
Superficie habitable	297,05 m2
Volumen habitable	831,74 m3
Índice Compacidad Co	0,58 adim
Factor de forma f	0,62 adim
Factor de exposición Fe	0,97 adim
Altura media de locales	2,80 m
Superficie envolvente	501,52 m2
Superficie protegida	41,16 m2

Demanda calefacción (kWh/año)	DAcal (kWh/m2)
12105,42	41,69

Del diagnóstico surge que el edificio tiene un Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas Gcal (IRAM 11604) de 2,18 W/m3K y un Coeficiente de pérdidas unitarias 4,13 W/m2 que resulta en una Demanda anual energía eléctrica en calefacción de 12105,42 kWh/año y 41,69 kWh/m2año, para una temperatura base de calefacción de 20°C.

Propuesta mejorada

- Aislamiento en muros tipo EIFS (External Insulation Finish System) con 4/5 cm de EPS de 30kg/m3 y base coat reforzado con doble malla Fibra Vidrio 10x10 de 110g/m2 hasta 1,5 m de altura.

- En cubiertas implementar la solución “techo invertido” colocando una capa de 8 cm de EPS de 30kg/m3 sobre la losa recubierto con un geotextil ligero y 6 cm de arcilla expandida. A fin de lograr un K= 0.14 W/m2K.

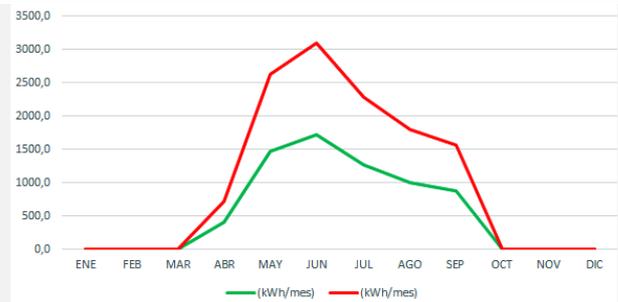
- La intervención más costosa es en vidriados, sea en aislamiento, como en **protección solar**. Una variante costosa es el cambio de todas las aberturas o al menos hojas móviles que permitan usar DVH y algo menos costoso, agregar un nuevo vidrio pegado con sellador y un perfil S de aluminio. En los vidriados fijos reemplazarlos por DVH.

Demanda anual energía eléctrica en calefacción, propuesta mejorada

Demanda anual calef (kWh)	DAcal (kWh/m2)
6734,71	23,20

La implementación de las mejoras en muros, techos y vidriados permitirá reducir la demanda de energía en calefacción en un 44.37%. El edificio tendrá un Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas Gcal (IRAM 11604) de 1.21 W/m3K y un Coeficiente de pérdidas unitarias 1.43 W/m2 que resulta en una Demanda anual energía eléctrica en calefacción de 6734,71 kWh/año y 23,2 kWh/m2año, para una temperatura base de calefacción de 20°C. Los valores son en energía secundaria y no contemplan la eficiencia energética de equipos climatización.

Comparación entre consumo mensual de la versión original y mejorada

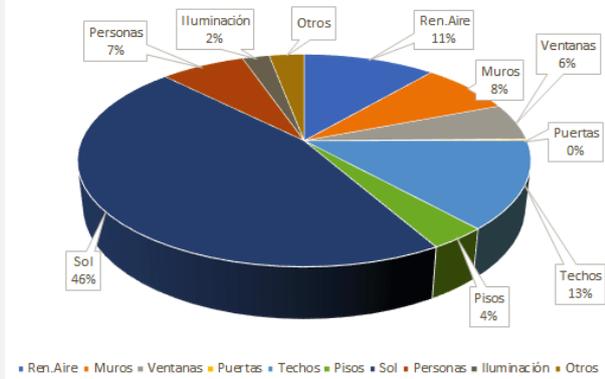


Cabe remarcar que es un diagnóstico simplificado en régimen estacionario que no contempla ocupación (personas, iluminación y equipos) y el aporte solar, que reducirían la demanda de energía.

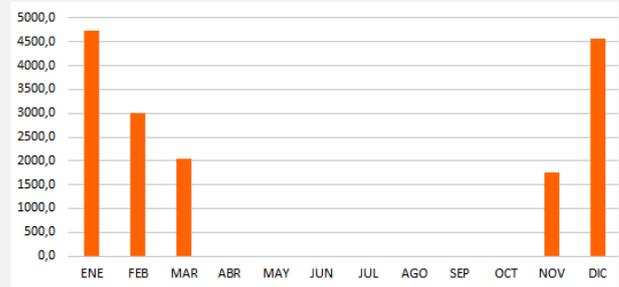


Verano – Análisis, propuesta mejorada y conclusiones

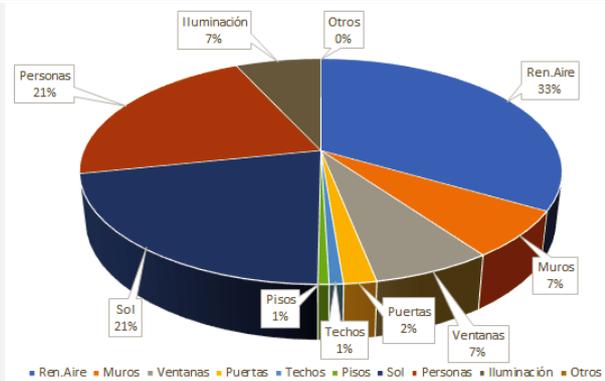
Aportes térmicos discriminados situación original



Variación mensual de la demanda de energía en refrigeración, situación original



Aportes térmicos discriminados, situación mejorada



Propuesta mejorada

Se mantienen las mejoras propuestas para el invierno solo agregando una protección solar en las aberturas que lo requieran. Las que dan al norte y Oeste son las más afectadas y requerirían DVH con vidrio exterior templado coloreado en su masa y cortinas exteriores accionadas eléctricamente por un accionador automático que sense la radiación solar. Se busca que los vidriados tengan un FES = 0.18 (IRAM 11659-1).

Comparación entre la demanda de energía en refrigeración mensual del edificio original/mejorado



La figura muestra la importante reducción del aporte solar relativo, con las mejoras propuestas lo mismo que en muros, techos y ventanas. No se consideraron las mejoras en pisos y puertas lo mismo que en renovaciones de aire dado el tipo de función edilicia y costos de intervención.

Así la propuesta mejorada implica una reducción del 61,73% en la demanda de energía eléctrica en refrigeración sin considerar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado.

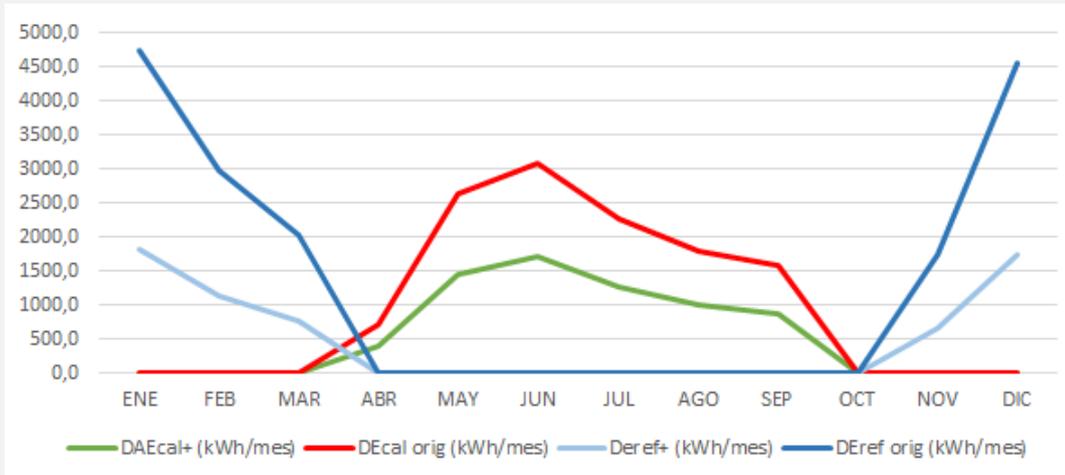


Conclusión

La figura a modo de conclusión muestra que la **reducción total anual de energía en climatización y calefacción con las medidas de mejora propuestas podría ser de unos 45,72%** para mantener el edificio en una temperatura constante de 20°C a lo largo de 8hs de lunes a viernes todo el año. Reduciendo de los 97,15 kWh/m2año a 44,42 kWh/m2año.

Comparación anual caso «Palacio Municipal» en Camilo Aldao, Córdoba

Mes	0 DMEcal (Wh/mes)	DAEcal+ (kWh/mes)	DEcal orig (kWh/mes)	DMEref (Wh/mes)	Deref+ (kWh/mes)	Deref orig (kWh/mes)
ENE	0,0	0,0	0,0	1816275,7	1816,3	4746,1
FEB	0,0	0,0	0,0	1145983,5	1146,0	2994,6
MAR	0,0	0,0	0,0	778403,9	778,4	2034,0
ABR	401578,5	401,6	721,8	0,0	0,0	0,0
MAY	1464580,4	1464,6	2632,5	0,0	0,0	0,0
JUN	1724425,3	1724,4	3099,6	0,0	0,0	0,0
JUL	1269303,0	1269,3	2281,5	0,0	0,0	0,0
AGO	1000796,6	1000,8	1798,9	0,0	0,0	0,0
SEP	874023,8	874,0	1571,0	0,0	0,0	0,0
OCT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV	0,0	0,0	0,0	670292,2	670,3	1751,5
DIC	0,0	0,0	0,0	1751408,8	1751,4	4576,6
ANUAL	6734707,5	6734,7	12105,4	6162364,1	6162,4	16102,8
Reducción demanda EE		44,37 %			61,73 %	
Total climatización anual sin mejoras			28208,24 kWh/año			97,15 kWh/m2año
Total climatización anual con mejoras			12897,07 kWh/año			44,42 kWh/m2año
			45,72 %			



4. Medida de Eficiencia Energética

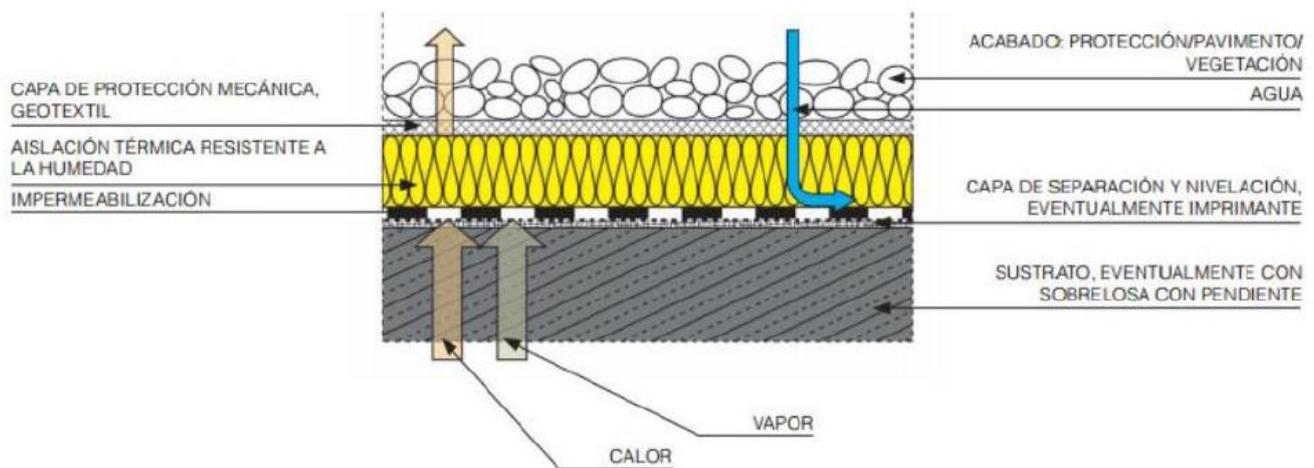
Tres estrategias de eficiencia energética fueron propuestas por la auditoría energética desarrollada: intervenciones para mejorar el desempeño de los muros, de las carpinterías y de la cubierta. Por cuestiones financieras, una sola estrategia pondría ser implementada y el aislamiento de la cubierta fue elegido. Pasaran de una cubierta sin aislamiento a 8 cm de poliestireno expandido.

4.1. Descripción de la obras y cronograma

Del *INFORME EJECUTIVO Proyecto EUROCLIMA+ – MEMORIA DESCRIPTIVA* se extrae lo siguiente:

Ante la necesidad de aislar térmicamente la cubierta del edificio, se propone como mejor recurso, el sistema de techo invertido aislante en la totalidad de su superficie de losa. Para evitar el recalentamiento de la masa y prolongar la vida útil de la cubierta existente, el aislante térmico se coloca en la parte superior, protegiendo mejor la aislación hidrófuga.

Se colocan placas de poliestireno expandido (EPS) de 20Kg/m³ de densidad de 80 mm de espesor sobre la aislación hidráulica de la cubierta. Por encima de ellas, se dispone una membrana geotextil de 80 a 120 gramos que actúa como capa filtrante y evita que crezca eventualmente algún vegetal. Sobre esta última, se agregan 60 mm de arcilla expandida.



Se utilizarán las placas termodrenantes para techos invertidos (Tipo Neotech Roof de ESTISOL o similar) que son las que aseguran el drenaje del agua de lluvia. Se apoyarán sobre la membrana hidrofuga existente.

Para poder permitir contener el granulado de arcilla expandida hasta los límites de la cubierta y evitar su caída, los mismos deben tener una altura igual o mayor que los 15 cm que ocupan éstas más las placas termodrenantes. Por lo tanto, se han levantado los sectores de borde necesarios que se encuentren por debajo de ese nivel.

Las obras para implementación de “techo invertido” han tenido duración de 1 mes (en noviembre de 2023).

4.2. Análisis de variables dependientes e independientes

Las principales variables que afectan el desempeño de un edificio son: elementos constructivos de la envolvente (muros, pisos, ventanas, cubierta), ocupación (número de ocupantes, horarios de uso, periodos de inactividad), equipos técnicos (iluminación, climatización, ventilación) y factores climáticos (temperatura, humedad, radiación solar). La siguiente tabla indica la evolución de las distintas variables en el tiempo:

Variables	Evolución entre 2022 (auditoria) y 2024 (visita para M&V del desempeño)
Envolvente	
Muros	Sin cambios entre 2022-2024.
Pisos	Sin cambios entre 2022-2024.
Ventanas	Sin cambios entre 2022-2024.
Cubierta	Obra de techo invertido en noviembre de 2023.
Ocupación	
Número de ocupantes	Por vuelta de 15 personas en el edificio principal y entre 0-4 en el anexo. Sin cambios entre 2022-2024.
Horarios de uso	De lunes a viernes, de las 7h de la mañana a las 13h. Sin cambios entre 2022-2024.
Periodos de inactividad	Ultimo periodo de inactividad: 1 mes cerrado (en enero de 2019) para mayores intervenciones (iluminación LED, pinturas, etc.). Sin otros registros de inactividad entre 2022-2024.
Equipos técnicos	
Iluminación	Ultima modificación en enero de 2019 (pasaje a LED). Sin cambios entre 2022-2024. Asumiremos que el nivel de iluminación se mantuvo igual.
Climatización	Un equipo de refrigeración fue sustituido en 2023.
Ventilación	Sin cambios entre 2022-2024. Asumiremos que los niveles de ventilación se mantuvieron igual.
Clima	
Temperatura	Cómo se explica con más detalles en el capítulo §5.1.2.2, las condiciones operativas cambiaron entre 2023 y 2024, siendo 2024 un año más frío. Asumiremos asimismo las temperaturas iguales en el periodo base y en el periodo de medición para permitir una comparación coherente.
Humedad	Idem (a cada año son registradas variaciones de la humedad, pero para fines de coherencia de análisis asumiremos que estas variables se mantuvieron iguales).
Radiación solar	Idem (a cada año son registradas variaciones de la radiación, pero para fines de coherencia de análisis asumiremos que estas variables se mantuvieron iguales).

Otras observaciones cuanto a la evolución del edificio (previas a la auditoria de 2022):

- Desde 2017, 90% del consumo se produce en el propio edificio por medio de energía solar fotovoltaica.
- Desde 2018 se empezó el proyecto de eficiencia energética, una iniciativa del municipio previa al desarrollo de Euroclima. Dos personas del equipo de la municipalidad asistieron a una capacitación de eficiencia energética en edificios por la Universidad UBA con duración de 6 meses. El proyecto final de la capacitación consistió en un plan de acción para el edificio de la municipalidad. Algunas de las optimizaciones del plan empezaron a ser implementadas en 2019. El reacondicionamiento del edificio permitió un bajo de 30% del consumo. Las intervenciones incluyeron pintura de muros, rotación de mobiliario para mayor provecho de la luz natural, sensores de movimiento para la iluminación, entre otras. No se realizó ningún tipo de modificación cuanto a renovación de ventanearía, aislamiento de muros y calefacción por briquetas. Este es considerado el estado inicial del edificio para el estudio (como fue encontrado para la auditoria energética en 2022), características que no han cambiado hasta 2024.

4.3. Mediciones realizadas y parámetros recopilados.

4.3.1. Temperatura y humedad relativa interior

Para evaluar el confort de los espacios, se instalaron termohigrómetros en dos oficinas tipo: la oficina abierta de administración y la oficina cerrada del intendente. Las mediciones se realizaron del 27 de agosto al 1 de septiembre de 2024.

4.3.2. Temperatura y humedad relativa exterior

Con el fin de correlacionar las temperaturas interiores con las exteriores, se instaló un datalogger que midió la temperatura y humedad relativa en el mismo periodo mencionado, del 27 de agosto al 1 de septiembre de 2024.

Además, se obtuvieron datos horarios de estaciones meteorológicas cercanas:

- Estación "Paseo Sustentable", ubicada a 1.2 km del edificio, con datos recopilados entre el 12 de julio y el 8 de octubre de 2024.
- Estación "Marcos Juárez", ubicada a 50 km del edificio, con datos entre el 1 de enero y el 14 de octubre de 2023.

4.3.3. Consumo eléctrico

Se dispone del registro mensual promedio del consumo eléctrico desde el 1 de enero de 2023 hasta el 30 de septiembre de 2024 para analizar su comportamiento.

4.3.4. Consumo de gas

Se cuenta con el registro mensual promedio del consumo de gas en el mismo periodo, desde el 1 de enero de 2023 hasta el 30 de septiembre de 2024.

4.4. Opción de M&V seleccionada

Para medir y verificar las temperaturas y consumos energéticos (gas y electricidad), se utilizó el protocolo de medición y verificación del desempeño energético IPMVP, que ofrece cuatro opciones:

- Opción A: Medición de parámetros clave, donde algunos se miden y otros se estiman.
- Opción B: Medición completa de todos los parámetros antes y después del proyecto, con mayor precisión pero a un costo más elevado.
- Opción C: Análisis de facturas de energía, útil para medir ahorros en edificios completos, aunque puede incluir cambios no relacionados con el proyecto.
- Opción D: Simulación energética, ideal cuando no hay suficientes datos históricos, flexible pero dependiente de la precisión del modelo.

En este caso, se optó por la Opción D (simulación energética) para el análisis de ahorros, refinando los resultados con las mediciones mencionadas en el capítulo 4.3.

4.5. Definición de la línea base

El periodo de línea base se establece entre enero y diciembre de 2023, permitiendo así obtener un año completo de datos representativos del comportamiento energético del edificio, necesarios para una comparación precisa con los resultados tras las mejoras. Este periodo también refleja condiciones operativas normales, esenciales para establecer una referencia confiable de consumo y confort antes de las intervenciones.



5. Revisión del desempeño del confort

La metodología adoptada para la elaboración del informe final requirió una primera fase de análisis de información y planos antes y después de las obras de eficiencia energética realizadas acompañadas de un avista in situ con mediciones. La segunda fase, consistió en la realización de simulaciones térmicas dinámicas para evaluar el desempeño. A continuación, se detallan las etapas clave:

5.1. Metodología

5.1.1. Visita in situ de edificios típicos

Se registraron las características arquitectónicas y operativas de los sitios y se registraron las siguientes mediciones: Temperatura exterior (°C), temperatura interior (°C), humedad relativa (%) y temperatura de ricio (°C) radiación solar (W/m²), consumo eléctrico (kWh), consumo de gas(m³).

Registro en cada uno de los locales característicos visitados del edificio y características del equipamiento consumidores de energía.

5.1.2. Simulación Térmica Dinámica:

5.1.2.1. El software

La simulación térmica se realiza con el código de cálculo DesignBuilder/EnergyPlus. DesignBuilder se refiere a la interfaz gráfica y EnergyPlus al motor de cálculo. Este código, diseñado por el laboratorio térmico de edificios más grande del mundo, Lawrence Berkeley Laboratory, es ampliamente utilizado y reconocido internacionalmente.

5.1.2.2. Parámetros de confort térmico

Según la definición generalmente aceptada, el término "confort" está asociado con el bienestar de un ocupante, considerado como el rango de sensaciones agradables que resultan de estímulos a través del intercambio de calor con el entorno. El grado o nivel de confort es, por lo tanto, una condición altamente subjetiva que puede variar de una persona a otra.

Hay dos tipos de parámetros asociados con el confort térmico que deben tenerse en cuenta:

Ambientales u objetivos:

- Temperatura del aire ambiente (transferencia de calor convectiva)
- Temperatura radiante media (transferencia de calor radiante)
- Velocidad del aire (transferencia de calor convectiva)
- Humedad del aire (transferencia de calor evaporativa del cuerpo)

Individuales o subjetivos:

- Gasto metabólico relacionado con la actividad realizada
- Resistencia térmica conductiva y evaporativa de la ropa

El método de evaluación del confort térmico elegido para este estudio se basa en el enfoque de Fanger de la norma ASHRAE 55-2017 "Condiciones Ambientales Térmicas para la Ocupación Humana".

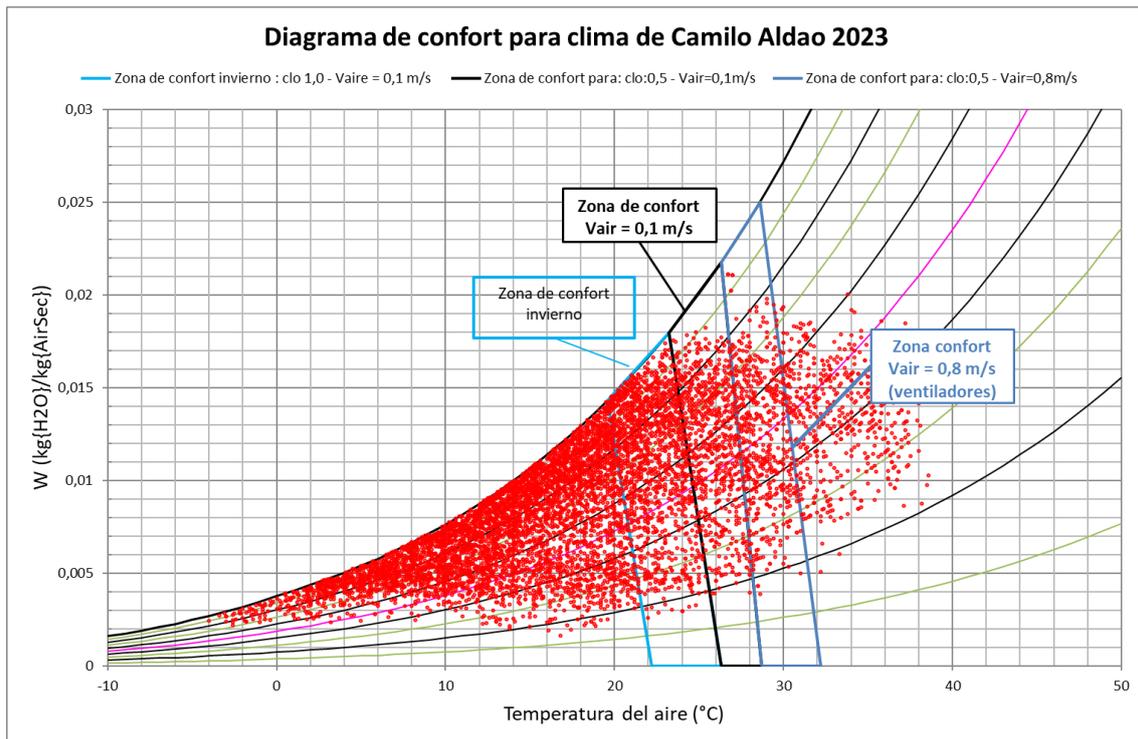
Esta metodología fue desarrollada por M. Fanger. Está basada en experimentos de laboratorio y considera que el ser humano es pasivo frente a su entorno y que su equilibrio térmico se basa en el balance de calor teniendo

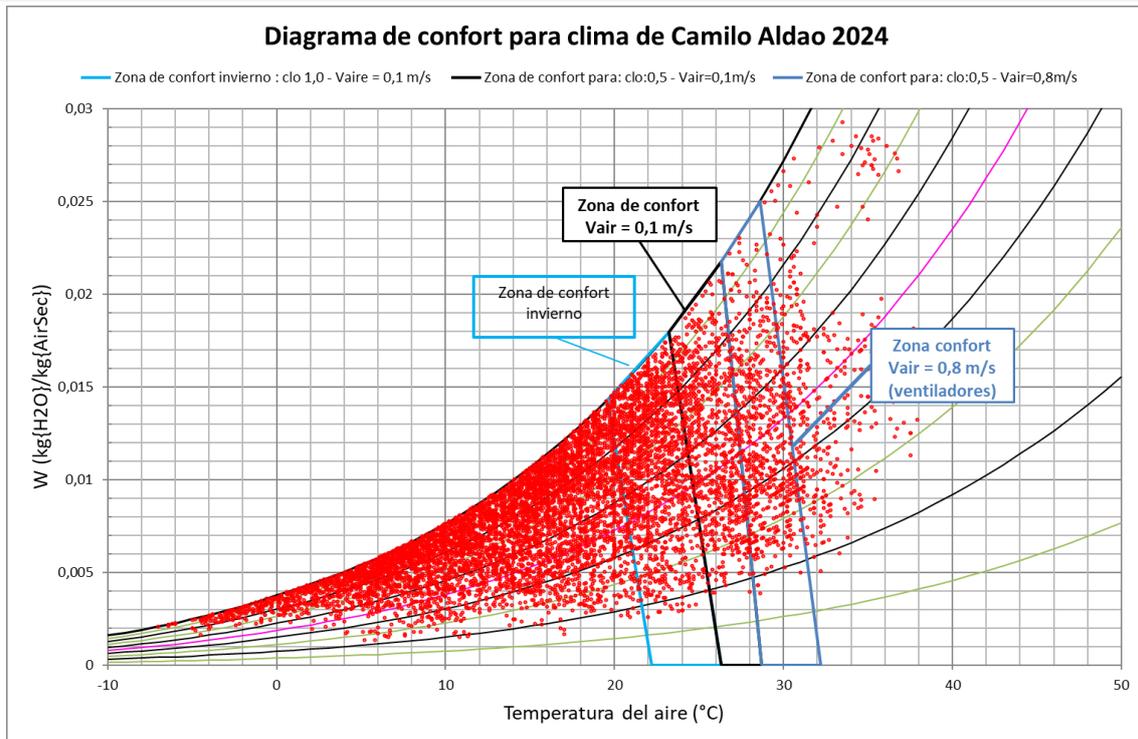
en cuenta los 6 parámetros descritos anteriormente (4 ambientales y 2 personales). La metodología de Fanger, utilizada en este estudio, se basa en la siguiente escala para determinar si el ocupante del edificio se siente cómodo o no:

Se logra una sensación de confort si, para una temperatura operativa, nivel de humedad, velocidad del aire, tasa metabólica del ocupante y ropa determinados, el 90% de los ocupantes del edificio experimenta una sensación "neutral".

-3	Frío
-2	Fresco
-1	Ligeramente fresco
0	Neutral
1	Ligeramente cálido
2	Cálido
3	Caluroso

Con base en los datos estadísticos estipulados por la metodología de Fanger sobre los ocupantes (metabolismo, ropa) y ambientales (velocidad del aire, temperatura operativa y humedad relativa), se establece la zona de confort, como se ilustra en el gráfico psicrométrico a continuación.





En los diagramas anteriores, el eje x representa la temperatura y el eje y el contenido de agua en el aire (humedad relativa). La curva superior izquierda representa el 100% de humedad relativa (el punto en el que el aire está saturado de agua). Cada curva por debajo de esa representa una disminución del 10% en la humedad relativa. La curva rosa representa el 50% de humedad relativa. Cada punto rojo representa la condición exterior durante una hora del año según los datos climáticos utilizados para Camilo Aldao, Córdoba. Hay tantos puntos rojos en este gráfico como horas en el año, un total de 8 760.

- La zona de confort en invierno está representada por el polígono azul claro. Esta es la zona en la que las condiciones de temperatura y humedad relativa permiten el confort térmico cuando las personas utilizan vestimenta apropiada para invierno (clo=1), la velocidad del aire es de 0,1 m/s, que es la velocidad típica en un espacio sin ventiladores de techo ni ventilación natural.
- La zona de confort en verano está representada por el polígono negro. Esta es la zona en la que las condiciones de temperatura y humedad relativa permiten el confort térmico cuando la velocidad del aire es de 0,1 m/s, que es la velocidad típica en un espacio sin ventiladores de techo ni ventilación natural. Esta zona de confort se puede extender al polígono azul oscuro si la velocidad del aire aumenta a 0,8 m/s, como se puede lograr utilizando ventiladores de techo o ventilación natural (pertinente en la temporada de verano).

En los diagramas anteriores, observamos que algunos puntos rojos caen dentro de las zonas de confort, mientras que otros quedan fuera. La mayoría de los puntos están por debajo del polígono azul claro, lo que indica desafíos para controlar las bajas temperaturas y sugiere una alta demanda de calefacción. En cambio, las temperaturas de verano, representadas por los puntos que superan el polígono azul oscuro, serán más fáciles de gestionar.

La siguiente tabla nos muestra el número de horas de inconfort para 2023 y 2024:

Año	Horas de inconfort de frío		Horas de inconfort de calor (sin ventiladores)		Horas de inconfort de calor (con ventiladores)		T_Max	T_Med	T_Min
2023	5 338	60,9%	1 132	12,9%	585	6,7%	39,2°C	18,2°C	-4,0°C
2024	5 402	61,7%	1 019	11,6%	404	4,6%	37,9 °C	17,4°C	-7,0°C

Esto indica que las condiciones operativas cambiaron entre 2023 y 2024, siendo 2024 un año más frío. Para evaluar las mejoras de manera coherente, se analizarán bajo las mismas condiciones del 2023.

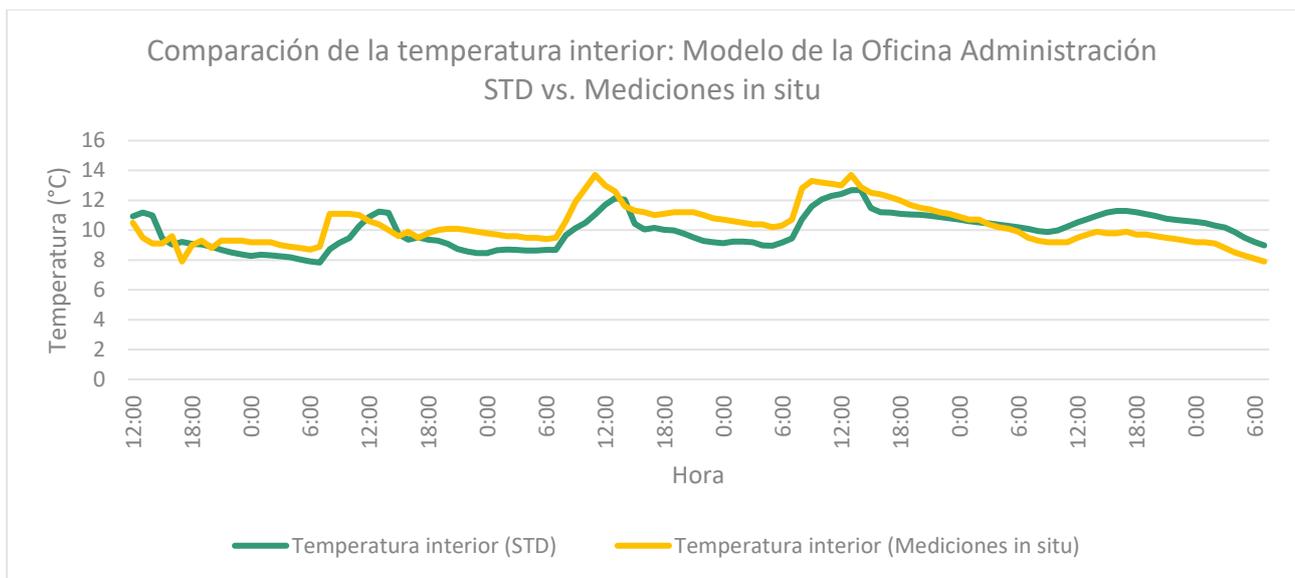
Para determinar la temperatura operativa y los niveles de humedad relativa dentro del edificio, se realizó una modelización térmica del edificio. Basado en la simulación, se trazará un nuevo gráfico psicrométrico para determinar el número de horas de confort e incomodidad durante las horas de ocupación antes de las obras y después de estas.

5.1.3. Ajuste y refinación del modelo energético

Con la información y mediciones recopiladas en sitio, se desarrolló un modelo energético del edificio que integra las principales variables que afectan su desempeño: elementos constructivos de la envolvente (muros, pisos, ventanas, cubierta), ocupación (número de ocupantes, horarios de uso, periodos de inactividad), equipos técnicos (iluminación, climatización, ventilación) y factores climáticos (temperatura, humedad, radiación solar).

A partir de esto, se realizó una simulación del edificio, refinando los parámetros de simulación de acuerdo con lo observado para que el comportamiento térmico bajo las condiciones observadas se alinee con las mediciones de temperatura realizadas.

En la gráfica siguiente, se compara el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa del modelo en Design Builder con las mediciones in situ, mostrando una diferencia promedio dentro de un rango de +/- 10%, con variaciones máximas de +/- 2,5°C.



Por consiguiente, el modelo energético ofrece un análisis representativo del comportamiento del edificio, lo que permite proceder con el análisis de su desempeño anual.



5.1.4.Resultados

A continuación, se presentan los resultados de confort del proyecto, antes de las obras, y tras la implementación del techo invertido.

Oficina Administración									
Año	Horas de incomfort por frio		Horas de incomfort por calor (sin ventiladores)		Horas de incomfort por calor (con ventiladores)		T_Max (°C)	T_Med (°C)	T_Min (°C)
Caso base	703	38,5%	604	33,1%	334	33,1%	36,7	23,5	7,8
Caso mejorado	675	36,9%	491	26,9%	156	8,5%	34,5	22,8	8,8
Mejora	4%		19%		74%		2,2	0,7	-1
							6%	3%	-13%

*Las oficinas tienen una ocupación estimada de 1 827 horas al año

Oficina Intendente									
Año	Horas de incomfort por frio		Horas de incomfort por calor (sin ventiladores)		Horas de incomfort por calor (con ventiladores)		T_Max (°C)	T_Med (°C)	T_Min (°C)
Caso base	750	41,1%	520	28,5%	235	12,9%	35,1°C	22,5°C	8,2°C
Caso mejorado	689	37,7%	476	26,1%	133	7,3%	34,2°C	22,6°C	9,3°C
Mejora	4%		19%		74%		2,2	0,7	-1
							6%	3%	-13%

*Las oficinas tienen una ocupación estimada de 1 827 horas al año

Las graficas de confort se encuentran disponibles en el anexo 7.1

Con base en las condiciones de uso de los espacios, se estima que el 23% de las áreas tendrá un comportamiento similar al de la oficina de administración, mientras que el 77% restante se asemejará al de la oficina del intendente. Las mejoras generales en el confort para los proyectos se han estimado así:

- El tiempo de disconfort por frío se redujo en un 7%, con un incremento de 1,1°C en la temperatura mínima interna.
- El tiempo de disconfort por calor disminuyó en un 31%, con una reducción de 1,0°C en la temperatura máxima interna.

En el próximo capítulo se analizarán los impactos de estas mejoras en los consumos y necesidades energéticas.

6. Revisión del desempeño energético

6.1. Consumo energético global

Consumo de electricidad (kWh)		
Mes	2023	2024
Enero	1 370	880
Febrero	1 281	1 813
Marzo	1 250	608
Abril	733	359
Mayo	812	361
Junio	791	120
Julio	549	292
Agosto	483	378
Septiembre	765	1352
Octubre	1208	
Noviembre	1000	
Diciembre	671	
Promedio mensual	909	685
Consumo anual	10 913	8 217

Consumo de gas				
Mes	m ³		kWh*	
	2023	2024	2023	2024
Mayo	65	2594	65	2594
Junio	3438	2292	3438	2292
Julio	5156	3751	5156	3751
Agosto	3038	3394	3038	3394
Septiembre	3178	1200	3178	1200
Promedio mensual	2975	2646	2975	2646
Consumo anual	14875	13231	14875	13231

* Para estimar el consumo de gas natural en kWh, se utilizó un factor de conversión de 10,81 kWh/m³. Este valor se deriva de un poder calorífico del gas estimado de 9.300 kcal/m³, considerando que 1 kcal equivale a 0,00116222 kWh.

La evolución de los consumos energéticos presenta dos comportamientos distintos:

Consumo eléctrico: Gracias al aislamiento de la cubierta, las cargas térmicas se han reducido. Como resultado, los equipos requieren menos energía para funcionar y dado que son equipos invertir estos ajustan su consumo de manera automática. Al comparar el consumo promedio mensual de 2023 y 2024, se identifica un ahorro promedio del 25%, equivalente a 2 696 kWh.

Consumo de gas: En los meses de invierno, se observa una reducción del 11% en el consumo promedio mensual de gas, lo que corresponde a 1,643 kWh. A pesar de las mejoras en confort, persisten problemas de incomodidad por frío. Esto indica que las estufas convectoras utilizadas siguen trabajando con alta frecuencia. Dado que las estufas no ajustan automáticamente su consumo, los ahorros energéticos son inferiores a lo esperado hasta que se controle completamente el confort.

Consideraciones generales: Aunque tanto el consumo eléctrico como el de gas han disminuido, estos resultados pueden verse afectados por diversas variables, como la variación en la ocupación, las obras civiles dentro del edificio y las condiciones climáticas.

Además, es importante destacar que, aunque el tiempo de incomodidad se ha reducido, esta mejora no se traduce directamente en un ahorro energético. Sin embargo, evita el consumo de energía que podría haberse utilizado para mejorar el confort. A esta energía la denominaremos "energía virtual".

Análisis energético: Se procederá a realizar un análisis del consumo basado en el modelo energético construido y refinado según los procedimientos previamente mencionados.

Las simulaciones energéticas muestran que las obras realizadas permiten alcanzar un ahorro del 27% en calefacción y del 13% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 793 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 4 339 kWh. El valor restante de 3 454 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar



las condiciones de confort en un 7% en invierno y un 31% en verano, como se presentó previamente. Con la intervención en cubierta, muros y carpinterías alcanzaría una reducción total anual en energía del 46%.

6.2. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 11 458 814 ARS, equivalentes a 12 908 USD¹, lo que representa un costo de 43 USD/m².

Para el análisis económico, utilizamos el precio de la factura energéticas del proyecto que indica un valor de 214 ARS/kWh el equivalente a 0,22 USD mientras que el precio del kWh de gas natural es de 0,012 USD/kWh.

Según el comunicado del Ministerio de Economía², y considerando las tendencias de incremento del precio de la energía, se estima un aumento conservador del 8% anual.

Con estas proyecciones, el ahorro durante el primer año sería de aproximadamente 816 USD/año, o 2,7 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de los 7,5 años.

6.3. Impacto ambiental

Para estimar el impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂ equivalente), se utilizaron los valores de conversión reportados por la Secretaría de Energía para el año 2023: 0,4293 kgCO₂/kWh para electricidad y 0,1803 kgCO₂/kWh para gas natural.

Gracias a las estrategias implementadas, en el primer año se lograron evitar 2 936 kgCO₂/año, lo que equivale a 9,8 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 29 364 kgCO₂.

En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 3 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ absorbido por un árbol maduro al año.

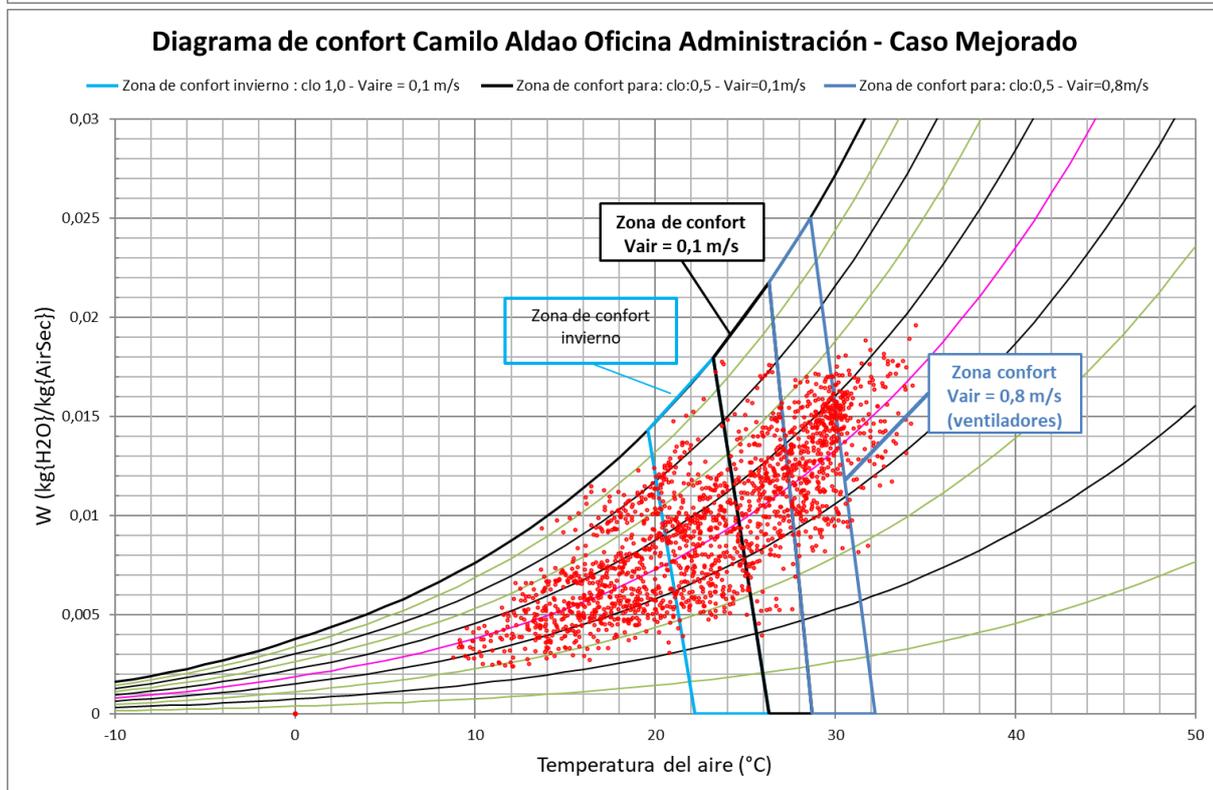
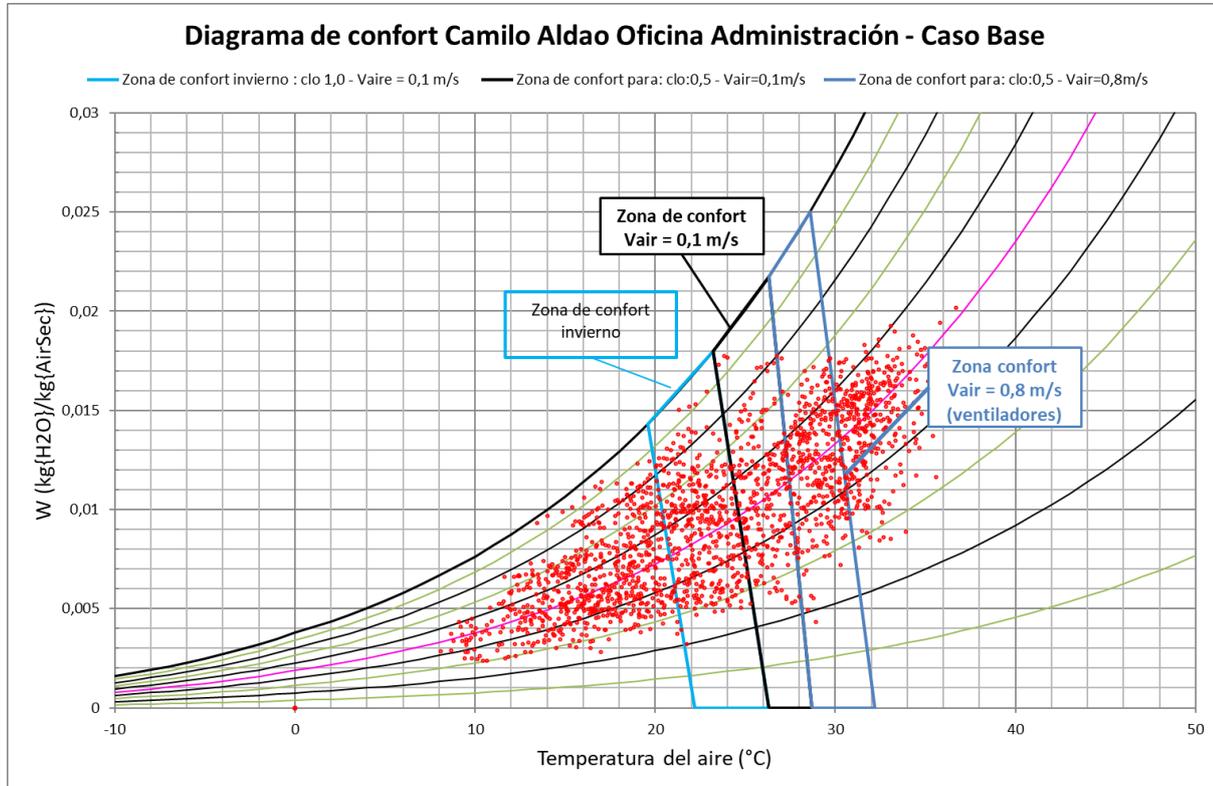
1 Tomando como referencia la tasa de cambio del 2 de enero de 2024, periodo en el que se estaban desarrollando las obras, <https://datosmacro.expansion.com/divisas/argentina?dr=2024-01>

2 <https://www.argentina.gob.ar/noticias/actualizacion-del-precio-del-gas-en-punto-de-ingreso-al-sistema-de-transporte-pist-y>

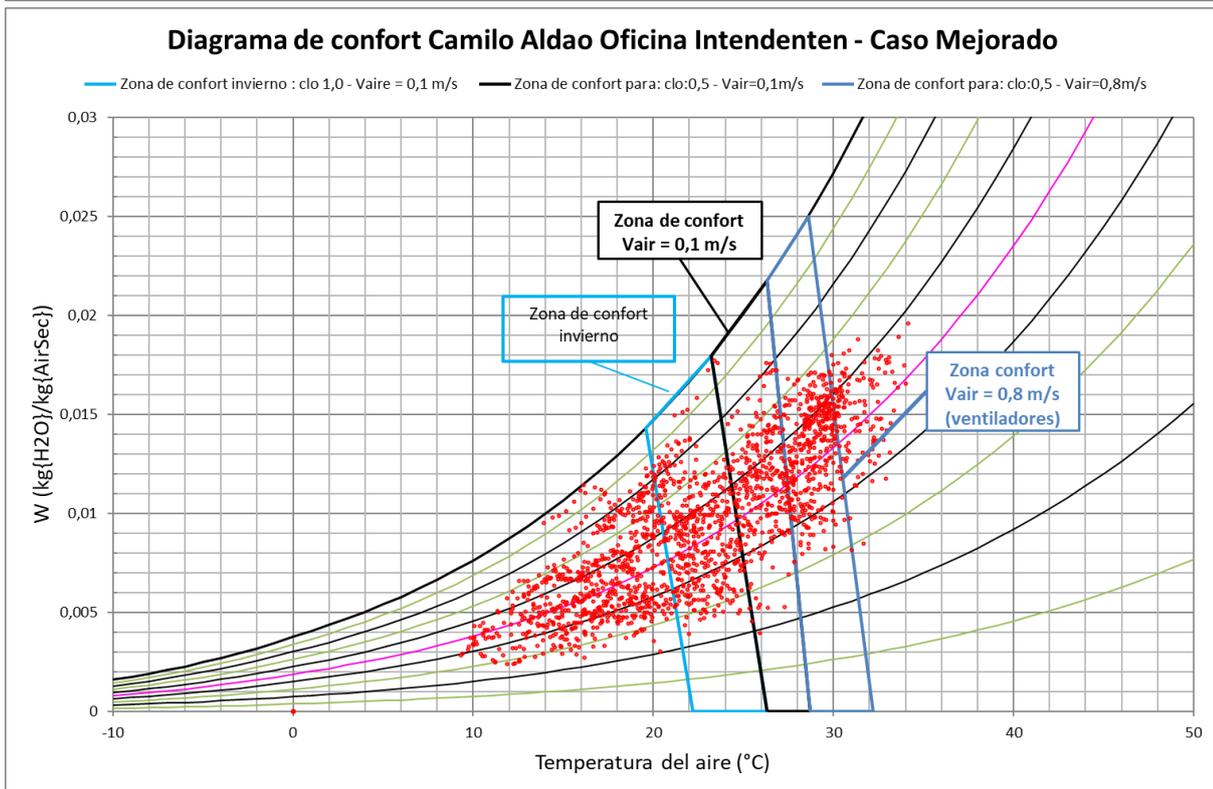
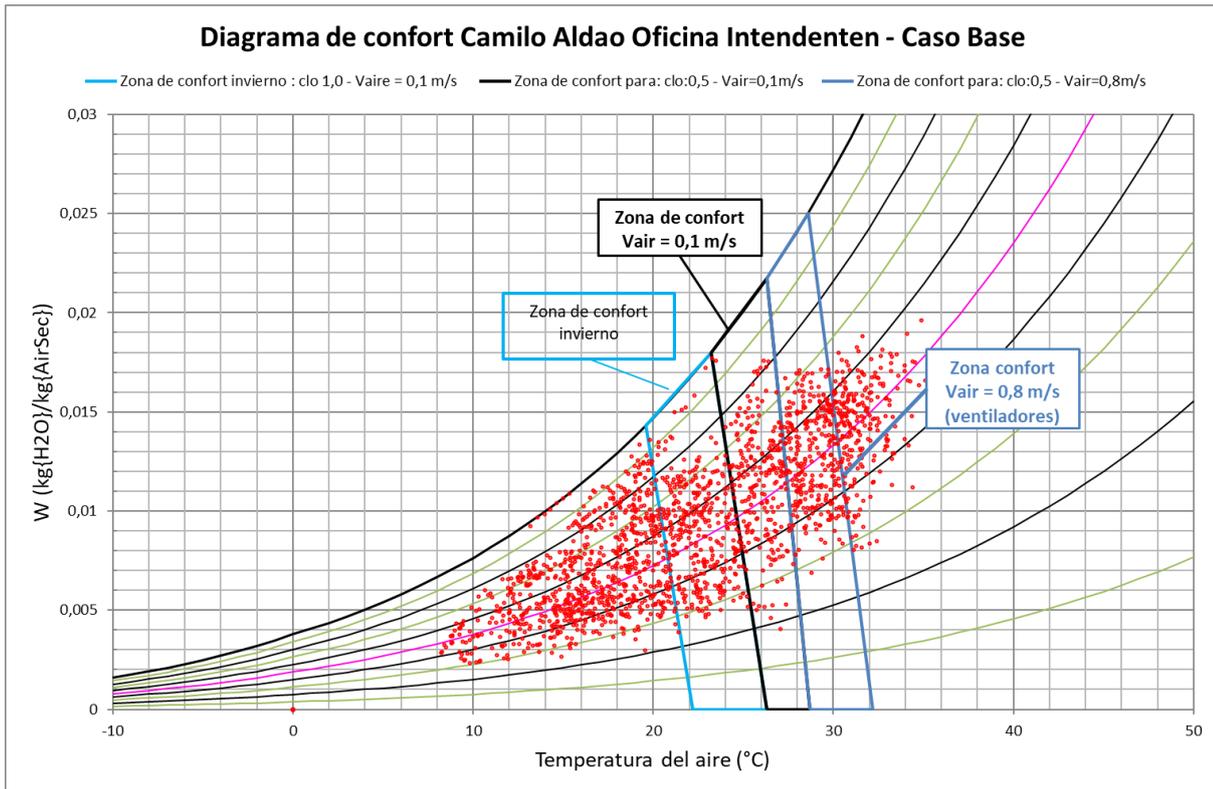
7. Anexos

7.1. Graficas de Confort Caso base y caso mejorado

7.1.1. Oficina Administración



7.1.2.Oficina Intendente



Nuestra Identidad

TERAO, una oficina de diseño pionera en medioambiente aplicado a la edificación, participa en el desarrollo de edificios y barrios sostenibles, combinando innovaciones tecnológicas, medioambientales y sociales.



Consultoría
E ingeniería

Pionera desde hace 28 años



50
Personas

París, Lyon, Asia, América



Soluciones
Multidisciplinario

Por la edificación y la ciudad sostenible

Nuestros trabajos

TERAO interviene en todo el ciclo de vida del edificio, y despliega sus competencias en ingeniería, del edificio a la ciudad pasando por los eco-barrios gracias a expertos de rango internacional, interviniendo en los 5 continentes:

Asistencia técnica
Desarrollo sostenible e
innovación: **Diseño**

Asesoría Ambiental
Desarrollo sostenible e
innovación: **Edificios**



Eficiencia energética
Operación sostenible

- **Eco-barrios, proyectos de calificación urbana, zonas de actividad:** TERAO contribuye a las estrategias y acciones para la neutralidad en carbono, la naturaleza en la ciudad, la eficiencia energética, la salud y el bienestar, la resiliencia al cambio climático y la lucha contra el efecto isla de calor urbano.
- TERAO actúa como experto y consultor independiente sobre el **comportamiento energético y medioambiental de los edificios**. Apoyamos a las partes interesadas en el posicionamiento de sus proyectos, el establecimiento de un Programa Ambiental y su seguimiento desde el diseño hasta la puesta en marcha, si es necesario, pero no solo, a través de etiquetas y certificaciones ambientales. **La neutralidad de carbono, la calidad de uso, la resiliencia climática...** son el núcleo de nuestra experiencia.
- TERAO forma parte de los equipos de diseño para garantizar la **traducción operativa de objetivos de alta calidad y desempeño energético y ambiental** en los Proyectos, en los mercados privados, en leyes de construcción sostenible e incluso alineados con objetivos internacionales de desarrollo sostenible.



contact@terao.fr
Siège social - 10 Cité de Tréville
75009 - Paris
01 42 46 06 63



adminco@terao.fr
www.terao.com.co
+57 322 946 2352



www.terao.fr