



Un mundo sostenible no será posible sin ustedes

Nosotros les ayudamos



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



RED ARGENTINA DE
MUNICIPIOS FRENTE AL
CAMBIO CLIMÁTICO



Financiado por
la Unión Europea



COPENHAGEN CENTRE
ON ENERGY EFFICIENCY
SEforALL EE HUB



Estudio de Medición y Verificación del desempeño energético - Edificio Palacio Municipal Bell Ville

Agencia Francesa de Desarrollo - UNLP – RAMCC –
Municipalidad de Bell Ville

25/06/2025

Referencia	250625_Euroclima_Bell Ville_Informe M&V del desempeño_ V.1	
Distribución	TERAO, AFD, UNLP, RAMCC, Municipalidad de Bell Ville	
Versión - Fecha	V.1	25/06/2025
Redactado por	Giovana PINHEIRO ABOU-REJAILE	
Validado por	Andrés MENESES	
Histórico de las versiones	V.1 – Versión original	



Índice

1.	Resumen ejecutivo	4
1.1.	Descripción de la obras y cronograma	4
1.2.	Revisión del desempeño energético	5
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 05/2023	8
4.	Medida de Eficiencia Energética	11
4.1.	Descripción de la obras y cronograma	11
4.2.	Análisis de variables dependientes e independientes	12
4.3.	Mediciones realizadas y parámetros recopilados.	13
4.4.	Opción de M&V seleccionada	13
4.5.	Definición de la línea base	13
5.	Revisión del desempeño del confort.....	14
5.1.	Metodología	14
6.	Revisión del desempeño energético	19
6.1.	Consumo energético global	19
6.2.	Impacto económico	19
6.3.	Impacto ambiental	20
7.	Anexos.....	21
7.1.	Graficas de Confort Caso base y caso mejorado	21
8.	Présentation de TERAQ	23



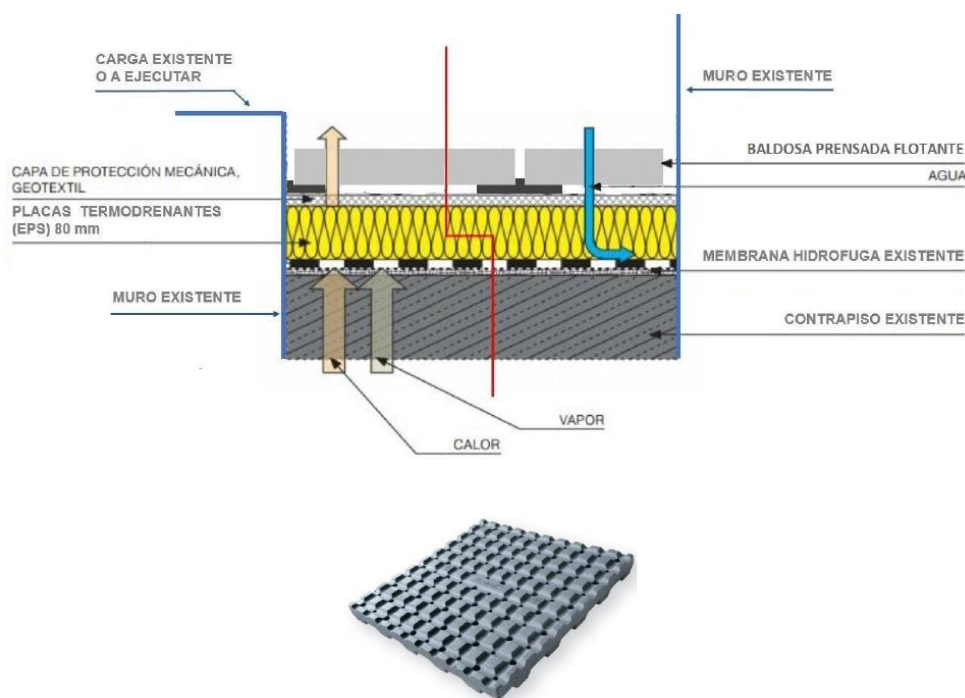
1. Resumen ejecutivo

1.1. Descripción de la obras y cronograma

Once estrategias de eficiencia energética fueron propuestas por la auditoría energética desarrollada. 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 que cubra ambientes cerrados. 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 agregarán baldosas prensadas reforzadas flotantes de 40 x 40 cm de primera calidad, apoyadas sobre discos separadores de polipropileno, tipo homopolímero, siendo una pieza con alta rigidez, dureza y resistencia al calor e inalterable al agua y/o a la humedad, permitiendo transitar sobre las mismas. Estos discos dejan una cámara de aire de 1,2 cm de altura a junta abierta de 0,5 cm, lo que permite el libre escurrimiento del agua.



Corte de las capas del techo invertido (arriba) y Placa termo drenante de EPS de alta densidad (abajo)

Las obras para implementación de “techo invertido” han tenido duración de 15 días, en la primera quincena del mes de enero de 2025.

Fuente: INFORME EJECUTIVO Proyecto EUROCLIMA+ – MEMORIA DESCRIPTIVA

1.2. Revisión del desempeño energético

Consumo de electricidad (kWh)		
Mes	2024	2025
Enero	3734	3223
Febrero	3505	3143
Marzo	3612	2755
Abril	3067	
Mayo	3981	
Junio	3888	
Julio	4265	
Agosto	3513	
Septiembre	2979	
Octubre	2727	
Noviembre	2906	
Diciembre	2718	
Promedio mensual	3408	3040
Consumo anual	40895	36484

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 2024 y 2025, se identifica un ahorro promedio del 11%, equivalente a 368 kWh.

Las simulaciones energéticas muestran que las obras realizadas permiten alcanzar un ahorro del 29% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 868 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 4 411 kWh. El valor restante de 3 457 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 40% en verano.

1.3. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 28 715 274 ARS, equivalentes a 27 096 USD¹, lo que representa un costo de 62 USD/m².

Para el análisis económico, utilizamos el precio de factura energética de febrero de 2025 (puesta a disposición por la Municipalidad de Godoy Cruz) que indica un valor de 641 ARS/kWh el equivalente a 0,605 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 4 759 USD/año, o 11,0 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de los 5 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 3 378 kgCO₂/año, lo que equivale a 7,78 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 33 776 kgCO₂.

En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 3 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ emitido por un vehículo que se moviliza 116,7 km al año.

1 Tomando como referencia la tasa de cambio del 2 de enero de 2025 (1 USD = 1.059,76 ARS), periodo en el que se estaban desarrollando las obras, <https://datosmacro.expansion.com/divisas/argentina?dr=2025-01>

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

2. Introducción

2.1. Contexto

El presente documento realizado por **TERAO**, en nombre de **SETEC-TERAO**, 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 **TERAO**. 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 8 edificios;
- **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 Bell Ville** se benefició de un estudio de auditoría energética en mayo de 2023 en el marco de la fase inicial del **programa Euroclima+**. En enero de 2025 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**.

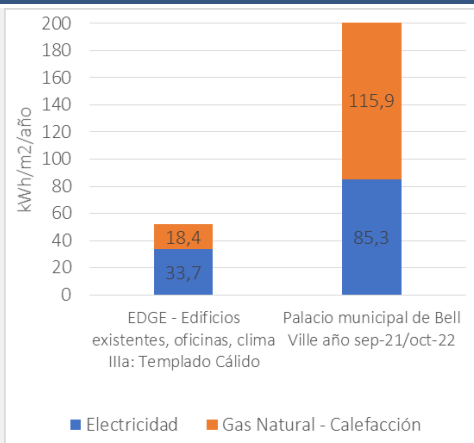


3. Resumen Auditoría Energética 05/2023

De la auditoria energética desarrollada por TERA0 se extrae lo siguiente:

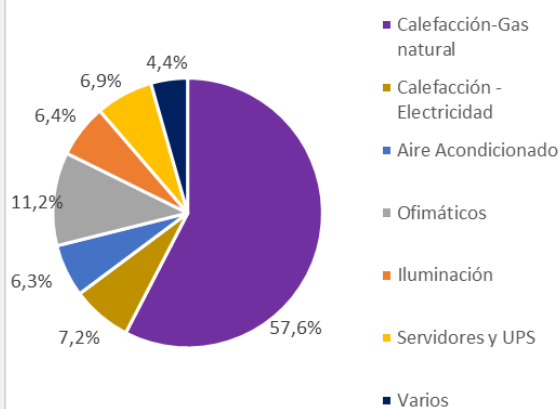
Datos administrativos	El edificio
Dirección: 25 de mayo 19, Bell Ville, Córdoba. Fecha de construcción: 1944 Tipo: Oficinas Superficie: 1 135 m² Ocupación: ~114 trabajadores en el edificio Obras y renovaciones más relevantes: Transición progresiva de iluminación ineficiente a LED en los últimos años.	
Características Bioclimáticas	Equipos técnicos
Contexto térmico: - Zona térmica IIIa: Templado cálido, - Los vientos provienen del Norte y Noreste. Comportamiento térmico: - Necesidades normales de calefacción y pocas necesidades de refrigeración. - Ocupación de lunes a viernes entre las 7-14h. - Ya que las temperaturas más altas se alcanzan a las 17:00 y que el clima en verano es ligero, se puede limitar el uso de AA. Orientaciones de las fachadas: - Orientación Este/Oeste, limita el aprovechamiento de la iluminación natural y el desempeño energético. - Hacia el Este/Oeste, hay cortinas exteriores que son eficientes como protección solar, pero limitan el uso de iluminación natural. - Las ventanas hacia el sur son sensibles a grandes pérdidas de calor, - Hacia el Norte, las protecciones horizontales, permiten protegerse bien del sol en verano, aprovechar el sol en invierno y tener siempre un alto uso de iluminación natural. Se usan poco, se recomienda implementarlas. Envolvente: - Bajas propiedades térmicas en envolvente: Muros, cubierta y ventanería. Ocasionan altos consumos energéticos. El edificio tiene una ocupación Densa: - Implica espacios más sensibles a ganancias de calor y mayor necesidad de renovación de aire. Temperaturas y confort: - En invierno, se recomienda usar la calefacción a 21°C para ahorrar energía. De la misma manera, en verano, se recomienda operar el AA entre 25°C y 27° (con ventiladores). Sensibilización a la Eficiencia energética Actualmente no hay campañas de sensibilización y no existen manuales de mantenimiento/operación. Son una palanca para ahorrar energía.	Iluminación - Las luminarias son 42% del tipo LED, el restante son ineficientes y se recomienda renovarlas. - El 58% de las oficinas tiene niveles de iluminación mayores a 400lx: ocasiona mayor consumo y/o cansancio visual (Se recomienda 300-400 lx promedio). - Densidad de iluminación aceptable (5,3W/m²), mejorará con transición a LED y al evitando sobreiluminación. - Poca gestión/control de la iluminación. Los sensores de presencia/luz día son una palanca de ahorro. Calefacción - Hay calefacción a gas en el 64% del área y eléctrica en el 75%. Se usa alrededor de 4,5 meses/año. - Equipos individuales y antiguos de baja eficiencia. - Los equipos a gas reducen la calidad del aire y pueden ser peligrosos. Se recomienda renovar este sistema. - La calefacción eléctrica se controla individualmente. Se piden temperaturas de 29-30°C, muy ineficientes que generan sobreconsumos. Se recomienda 21°C. - La calefacción a gas no tiene gestión de temperatura. Según mediciones, hay temperaturas mayores a 21°C: ocasionan mayor consumo menor calidad del aire. - Hay calefactores de gas que se dejan en modo piloto en las noches: genera desperdicios y es peligroso. Aire Acondicionado (AA) - El 86% del área usa AA, se usa pocas semanas al año. Aislar la cubierta y optimizar la ventilación podría mejorar el confort y evitar el uso de AA. - Las temperaturas seleccionadas son entre 25 y 27°C, una buena práctica que permite ahorrar energía. - Las mediciones muestran que reducir o evitar el uso de AA se puede alcanzar con medidas pasivas como aislamiento de cubierta u optimización de la ventilación. Hay AA y calefacción con R-22: son equipos antiguos, afectan la capa de ozono y de muy baja eficiencia. Ofimáticos y servidores - 90% de los computadores son de torre. Se sugiere privilegiar el uso de portátiles en futuras renovaciones. - Durante la visita había equipos sin uso y encendidos. - En cuarto de racks se piden 20°C en el AA, según estándares se puede usar 26°C y ahorrar energía.

Distribución del consumo



Consumo del edificio vs otros indicadores –
Fuente: EDGE, diagnóstico del edificio, TERAQ.

Distribución de los consumos



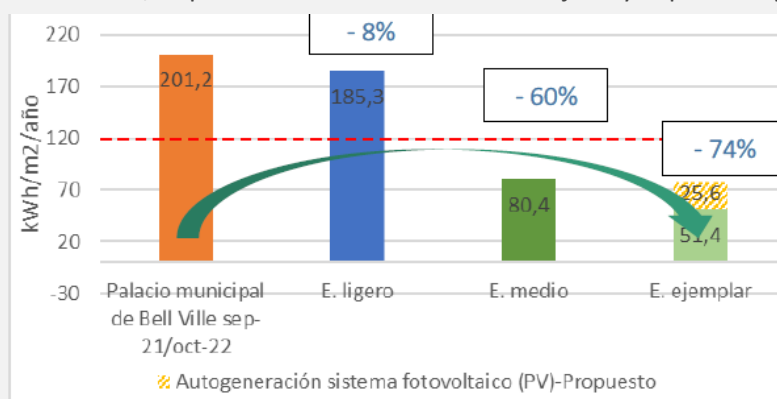
Distribución de consumos – Fuente: Facturas, diagnóstico del edificio, TERAQ.

Análisis – Costos y consumos

- El edificio consume: **201,2 kWh/m²/año** en electricidad y el gas natural (para calefacción). **Es 3,7 veces mayor** respecto al indicador EDGE de edificios de oficinas en la misma zona climática. La línea base de **EDGE corresponde más a indicadores de edificios nuevos** de alta eficiencia energética, este indicado puede verse como una meta.
- De 2019 a 2022 **el consumo de gas natural creció un 20%**, puede ser asociado a: Mayor uso de los equipos en modo piloto que genera desperdicios de energía, pérdida de la eficiencia, falta de mantenimiento.
- El **costo de la energía aumenta** considerablemente principalmente **por temas de inflación**. En ago-2022:
 - kWh-ele (Eléctrico) = 27,4 ARS/kWh
 - kWh-GN (Gas Natural) = 1,7 ARS/kWh
 Con estos costos y el consumo de línea base el gasto anual es de 2 873 522 ARS. El 92% es por consumo de energía eléctrica. **Actuar sobre el consumo eléctrico permite los mejores ahorros económicos.**
- **Calefacción a gas es el principal uso de la energía (58%)** del total. Las estrategias aplicadas sobre este sistema serán las de **mayor impacto energético**.
- Ofimáticos es el 11,2% del consumo total y el mayor uso de energía eléctrica. Mejores prácticas de uso permitirían lograr ahorros importantes.
- AA es el 6,3% del consumo total, con mejores condiciones de confort por medidas pasivas se podría prescindir de gran parte de este consumo.
- Iluminación es el 6,4% del consumo total, la transición a LED y mayor gestión permitir ahorros importantes.

Escenarios de ahorro de energía

A continuación, se presentan los escenarios de mejora y el porcentaje de ahorro energético asociado.



120 kWh/m²/año
Objetivo 2030, Agencia para la Energía- ADENE
Reducir el 40% de la energía utilizada.

Impacto de los escenarios de ahorro de energía – Fuente: TERAQ

Nota: En el escenario ejemplar se reduce el consumo del sistema interconectado en un 12% por energía fotovoltaica (PV) y 62% por eficiencia energética (EE), reduciéndose a 53,7 kWh/m²/año.

Estrategias de ahorro de energía							
	Propuestas de Mejoría	Ahorro económico (ARS/año)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro ambiental (kgCO2/año)	Inversión	Oportunidad	Escenario ligero Escenario medio Escenario ejemplar
1	*Buenas prácticas en uso de equipos Ofimáticos y en temperaturas en cuartos de Racks.	136 800	4 995	2 033	--	★★★★★	
2	*Programa de sensibilización para el manejo de las temperaturas de uso de los equipos eléctricos de calefacción y AA.	82 400	3 010	1 225	--	★★★★★	
3	Implementación de termostatos o termohigrómetros para la gestión y sensibilización en el uso de los equipos de calefacción a gas.	15 600	9 212	1 662	\$	★★★★★	
4	**Implementar aleros en ventanería hacia la fachada Norte.	21 100	769	313	\$	★★★★★	
5	*Cambio de luminarias fluorescentes por tecnología LED y optimización de los niveles de iluminación.	172 300	6 294	2 562	\$\$	★★★★★	
6	*Implementación de gestión de la iluminación: sensor de presencia y luz día.	97 600	3 565	1 451	\$\$	★★★★★	
7	**Implementación de aislamiento térmico en la cubierta y optimización de la ventilación en verano.	388 200	71 084	15 188	\$\$\$	★★★★★	
8	**Implementación de aislamiento térmico en muros exteriores.	103 600	22 849	4 695	\$\$\$\$	★★★★★	
9	**Renovación sistema de calefacción.	187 500	110 703	19 972	\$\$\$\$	★★★★★	
10	*Implementación de sistemas de medición y monitoreo	106 000	3 872	1 576	\$\$	★★★★★	
11	*Implementación de paneles fotovoltaicos en cubierta para cubrir el 30% del consumo eléctrico.	795 200	29 043	11 823	\$\$\$	★★★★★	

*Estrategias que actúan solo sobre consumo eléctrico

**Estrategias que actúan sobre consumo eléctrico y el consumo de gas natural.

Nota: Las estrategias sobre el consumo eléctrico tienen mayor impacto económico. Ya que el consumo de electricidad es mucho más costoso que el consumo de gas natural.

Escenario	Ahorros financieros (ARS/año)	Ahorros energéticos (kWh/año)	Ahorros GEI (kgCO2/año)
Ligero	255 426	17 971	5 228
Medio	838 870	137 142	30 095
Ejemplar	1 740 074	170 057	43 495



4. Medida de Eficiencia Energética

Once estrategias de eficiencia energética fueran propuestas por la auditoría energética desarrollada. 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.

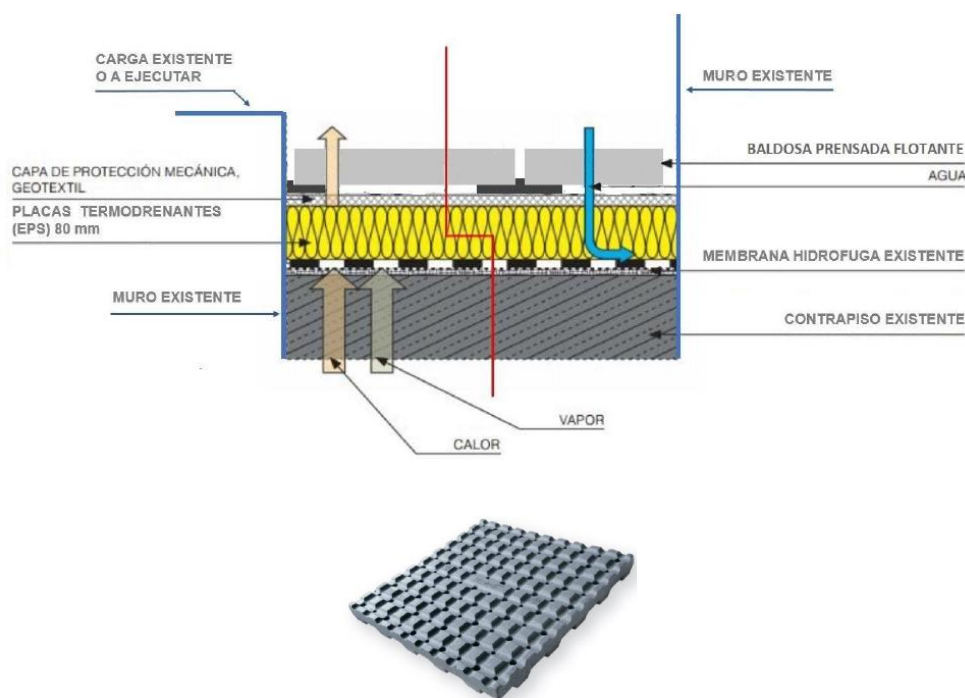
4.1. Descripción de la obras y cronograma

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 que cubra ambientes cerrados. 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 agregarán baldosas prensadas reforzadas flotantes de 40 x 40 cm de primera calidad, apoyadas sobre discos separadores de polipropileno, tipo homopolímero, siendo una pieza con alta rigidez, dureza y resistencia al calor e inalterable al agua y/o a la humedad, permitiendo transitar sobre las mismas. Estos discos dejan una cámara de aire de 1,2 cm de altura a junta abierta de 0,5 cm, lo que permite el libre escurrimiento del agua.

Como medida preventiva y previo a la ejecución de los trabajos antes mencionados, deberán ser pintados con dos manos de membrana líquida impermeabilizante de poliuretano para terrazas en color blanco. Los encuentros con paramentos verticales se pintarán hasta no menos de 15 cm sobre el nivel del solado pintado. Los embudos se pintarán en toda su superficie de contacto.



Corte de las capas del techo invertido (arriba) y Placa termo drenante de EPS de alta densidad (abajo)

Las obras para implementación de “techo invertido” han tenido duración de 15 días, en la primera quincena del mes de enero de 2025. Las cinco áreas afectadas están indicadas en los planes abajo:



Terrazas sobre planta alta (izquierda) y terrazas sobre planta baja (derecha) con las áreas intervenidas en rojo

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 2023 (auditoria) y 2025 (visita para M&V del desempeño)
Envolvente	
Muros	Sin cambios entre 2023-2025.
Pisos	Sin cambios entre 2023-2025.
Ventanas	Sin cambios entre 2023-2025.
Cubierta	Obra de techo invertido en enero de 2025.
Ocupación	
Número de ocupantes	Sin cambios entre 2023-2025. Asumiremos que el nivel de ocupación se mantuvo igual.
Horarios de uso	Sin cambios entre 2023-2025. De lunes a viernes, de las 7h de la mañana a las 14h.
Periodos de inactividad	Sin registros de inactividad entre 2023-2025.
Equipos técnicos	
Iluminación	Sin cambios entre 2023-2025. Asumiremos que el nivel de iluminación se mantuvo igual.
Climatización	Sin cambios entre 2023-2025. Asumiremos que los niveles de climatización se mantuvieron igual.
Ventilación	Sin cambios entre 2023-2025. 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 cambian entre los años. 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 mantuvieran 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 mantuvieran iguales).

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 sala de reuniones del intendente (planta alta) y la oficina de Ernesto Borrageros (planta baja). Las mediciones se realizaron del 11 de marzo al 19 de marzo de 2025.

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 11 de marzo al 19 de marzo de 2025.

Además, se obtuvieron datos diarios de una estación meteorológica cercana:

- Estación "Marcos Juárez", ubicada a 50-60 km del edificio.

4.3.3. Consumo eléctrico

Se dispone del registro mensual promedio del consumo eléctrico desde el 1 de enero de 2023 hasta el 31 de marzo de 2025 para analizar su comportamiento.

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 2024, 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 una visita 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 (%), temperatura de ricio (°C), radiación solar (W/m^2) y consumo eléctrico (kWh).

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

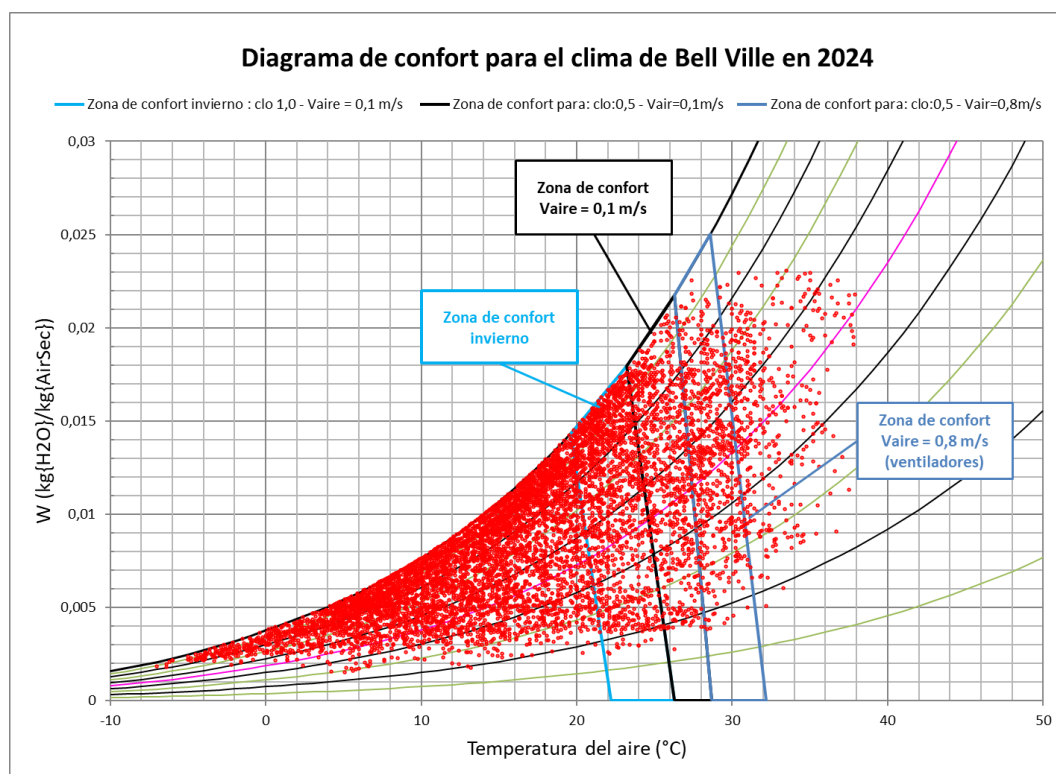


en cuenta los 6 parámetros descritos anteriormente (4 ambientales y 2 personales). La metodología de Fanger, utilizada en este estudio, se basa en la siguiente escala para determinar si el ocupante del edificio se siente cómodo o no:

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 el diagrama anterior, 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 Bell Ville, 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 ($\text{clo}=1$), 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 el diagrama anterior, 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 2024:

Año	Horas de inconfort por frío		Horas de inconfort por calor (sin ventiladores)		Horas de inconfort por calor (con ventiladores)		T_Max	T_Med	T_Min
2024	5373	61,3%	1062	12,1%	428	4,9%	37,9°C	17,4°C	-7,0°C

Sin embargo, las condiciones operativas cambian todos los años, siendo por ejemplo el verano de 2025 más cálido comparado a 2024. Para evaluar las mejoras de manera coherente, se analizarán bajo las mismas condiciones (del 2024).

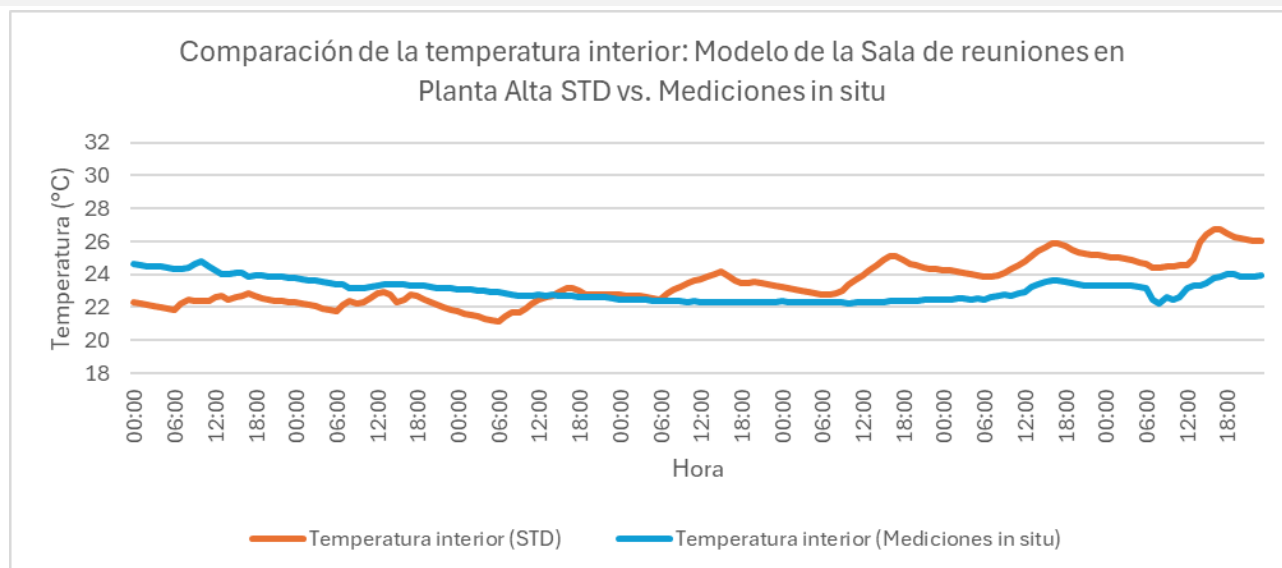
Para determinar la temperatura operativa y los niveles de humedad relativa dentro del edificio, se realizó una modelización térmica del edificio. Basado en la simulación, se trazará un nuevo gráfico psicrométrico para determinar el número de horas de confort e incomodidad durante las horas de ocupación 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 $\pm 10\%$, con variaciones máximas de $\pm 2,5^\circ\text{C}$.



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.

Sala de reunión (planta alta)									
	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	3878	44,3%	1008	11,5%	135	1,5%	33,3°C	20,6°C	3,6°C
Caso mejorado	3631	41,4%	680	7,8%	56	0,6%	31,8°C	21°C	5,7°C
Mejora	6%		33%		59%		-1,5°C	0,4°C	2,1°C
							5%	-2%	-58%

*Las salas de reunión tienen una ocupación estimada de 455 horas al año

Oficina (planta baja)									
	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	3829	43,7%	1842	21,0%	634	7,2%	35,7°C	21,1°C	4,3°C
Caso mejorado	4531	51,7%	180	2,1%	5	0,1%	29,8°C	19,4°C	6,5°C
Mejora	-18%		90%		99%		-5,9°C	-1,7°C	2,2°C
							17%	8%	-51%

*Las oficinas tienen una ocupación estimada de 1 820 horas al año

Las gráficas de confort se encuentran disponibles en el anexo 7.1.



Con base en las condiciones de uso de los espacios, se estima que el 50% de las áreas tendrá un comportamiento similar al de la sala de reuniones en planta alta, mientras que el 15% se asemejará al de la oficina en planta baja (mientras los 35% restantes son espacios sin tratamiento térmico). Las mejoras generales en el confort para el edificio se han estimado así:

- **El tiempo de discomfort por calor disminuyó en un 30%, con una reducción de 1,6°C en la temperatura máxima interna.**
- El tiempo de discomfort por frío en la globalidad del edificio no ha sido afectado, mismo con un incremento de 1,4°C en la temperatura mínima interna. El impacto no es tan significativo dado que las temperaturas mínimas siguen siendo muy bajas y tener un impacto requerirá de esfuerzos adicionales, por ejemplo, estrategias conjuntas, cómo las intervenciones propuestas en muros y ventanas.

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

La evolución de los consumos energéticos presenta dos comportamientos distintos:

Consumo de electricidad (kWh)		
Mes	2024	2025
Enero	3734	3223
Febrero	3505	3143
Marzo	3612	2755
Abril	3067	
Mayo	3981	
Junio	3888	
Julio	4265	
Agosto	3513	
Septiembre	2979	
Octubre	2727	
Noviembre	2906	
Diciembre	2718	
Promedio mensual	3408	3040
Consumo anual	40895	36484

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 2024 y 2025, se identifica un ahorro promedio del 11%, equivalente a 368 kWh.

Consideraciones generales: Estos resultados pueden verse afectados por diversas variables, como la variación en la ocupación, las obras civiles dentro del edificio y las condiciones climáticas. En este caso, sin cambios identificados en las dos primeras variables, pero solamente en las condiciones climáticas que inevitablemente varían cada año.

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 29% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 868 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 4 411 kWh. El valor restante de 3 457 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 40% en verano, como se presentó previamente.

6.2. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 28 715 274 ARS, equivalentes a 27 096 USD³, lo que representa un costo de 62 USD/m².

Para el análisis económico, utilizamos el precio de factura energética de febrero de 2025 (puesta a disposición por la Municipalidad de Godoy Cruz) que indica un valor de 641 ARS/kWh el equivalente a 0,605 USD/kWh.

Según el comunicado del Ministerio de Economía⁴, y considerando las tendencias de incremento del precio de la energía, se estima un aumento conservador del 8% anual.

3 Tomando como referencia la tasa de cambio del 2 de enero de 2025 (1 USD = 1.059,76 ARS), periodo en el que se estaban desarrollando las obras, <https://datosmacro.expansion.com/divisas/argentina?dr=2025-01>

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

Con estas proyecciones, el ahorro durante el primer año sería de aproximadamente 4 759 USD/año, o 11,0 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de los 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 3 378 kgCO₂/año, lo que equivale a 7,78 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 33 776 kgCO₂.

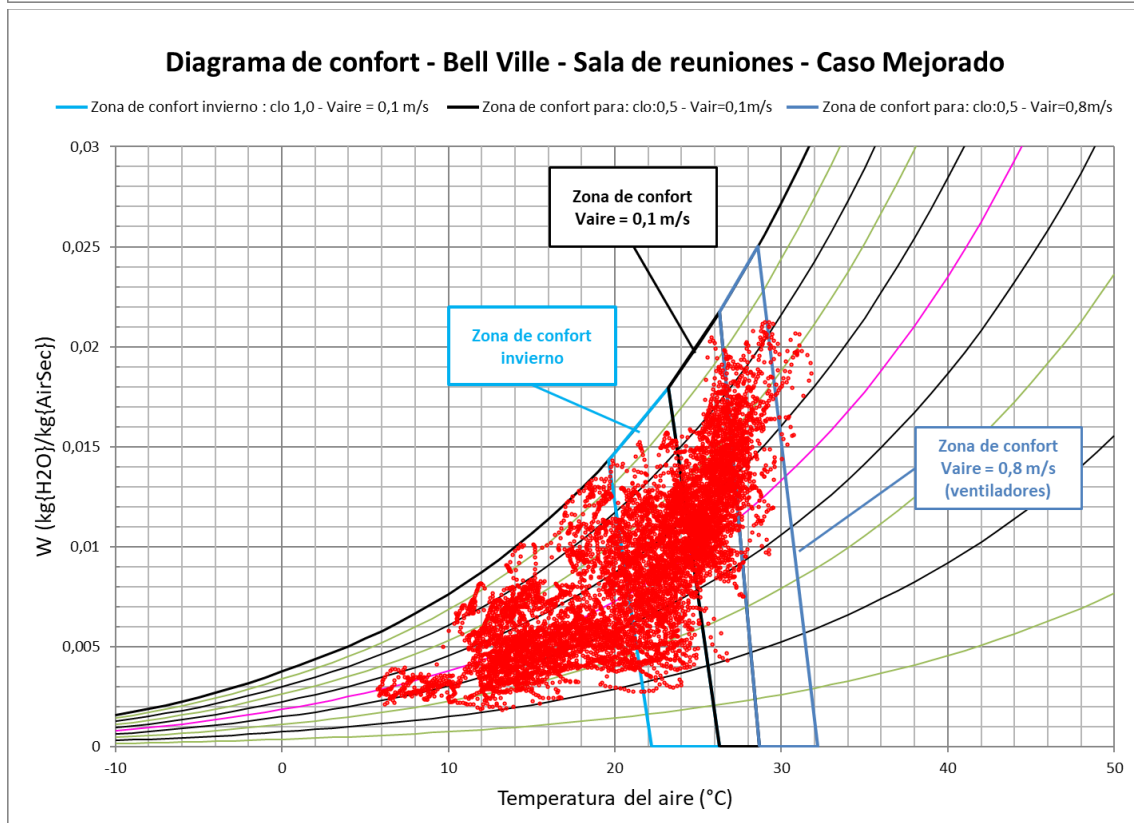
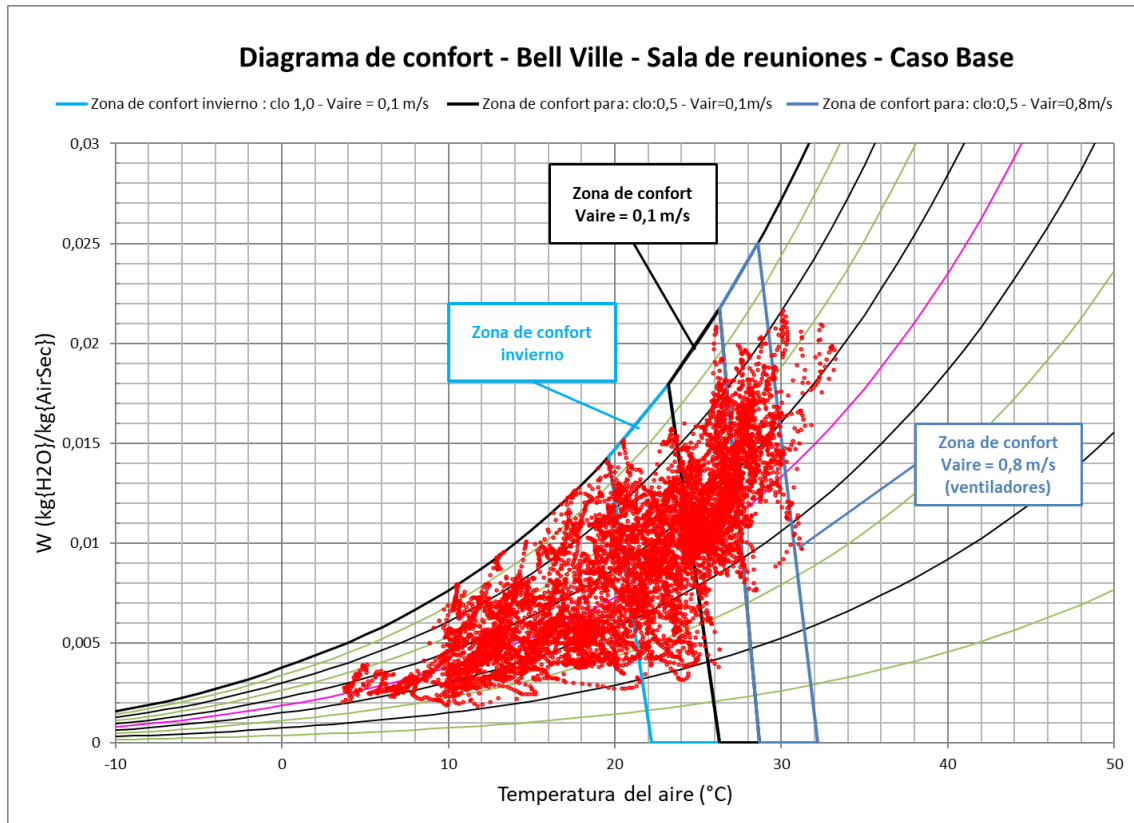
En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 3 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ emitido por un vehículo que se moviliza 116,7 km al año.



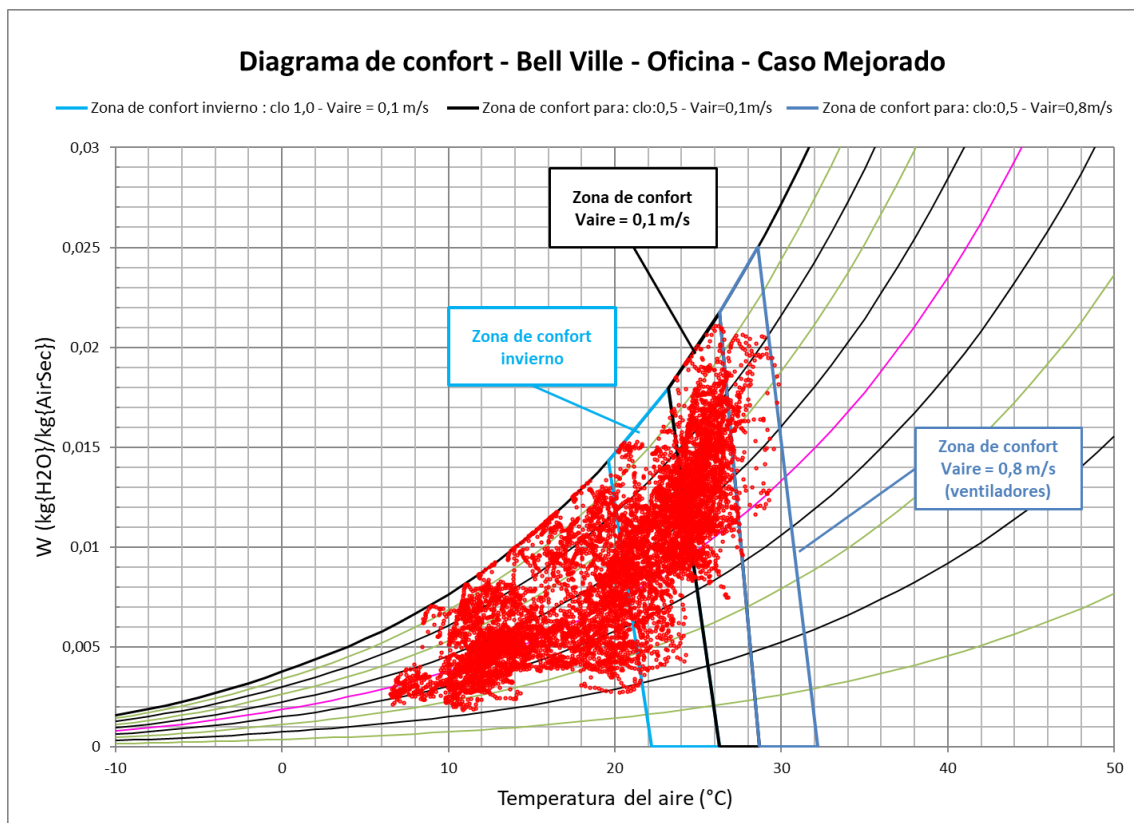
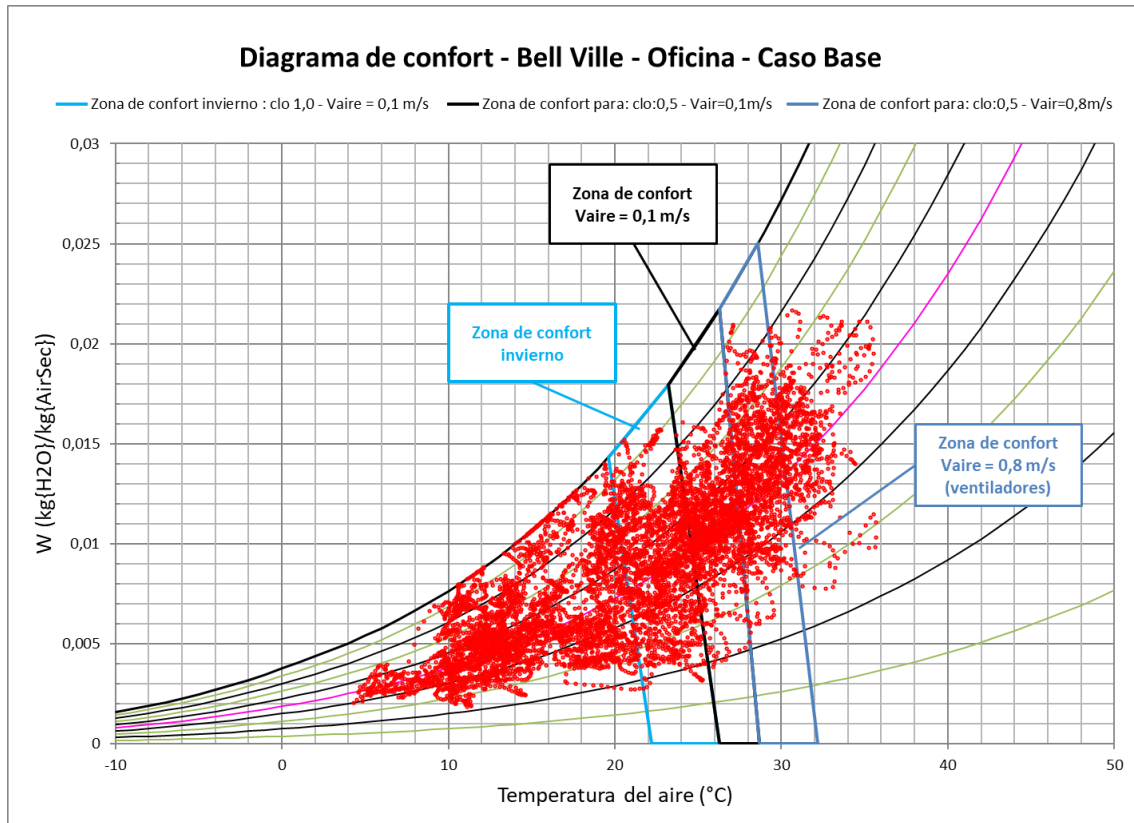
7. Anexos

7.1. Graficas de Confort Caso base y caso mejorado

7.1.1. Sala de reuniones en Planta Alta



7.1.2.Oficina en Planta Baja



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:** TERAQ 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.
- TERAQ 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.
- TERAQ 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 Trévise
75009 - Paris
01 42 46 06 63



www.terao.fr



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