



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 Centro de Desarrollo infanto Familiar (CDIF) Santa Brígida

Agencia Francesa de Desarrollo – RAMCC – Municipalidad de
San Miguel

17/12/2024

Referencia	TR20IN007_Euroclima+_Municipalidad de San Miguel_Informe M&V des desempeño_V.2	
Distribución	TERAO, AFD, RAMCC, Municipalidad de San Miguel	
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 las 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	20
6.3.	Impacto ambiental	21
7.	Présentation de TERAQ	24



1. Resumen ejecutivo

1.1. Descripción de la obras y cronograma

1.1.1. Aislación sobre cielorraso desmontable

Para mejorar el aislamiento térmico de los cielorrasos de placas desmontables livianas sobre perfilería galvanizada, fueran sumadas a estas, planchas de lana de vidrio de 8 cm de espesor con foil de aluminio inferior (tipo: Isover Rolac Plata Cubierta Hidro repelente 80) desmontando el cielorraso desde el interior del ambiente.



1.1.2. Pintura de cubiertas metálicas

El techo de clapa tipo trapezoidal prepintado de color negro se encuentra en buen estado de conservación, pero debido a su color negro y a fin de reducir un 80% la absorción de la radiación solar, se lo pintó de color blanco.

Se han aplicado no menos de dos manos a pincel o las necesarias con pistola eléctrica. Se incluyen las cupertinas y canaletas.



Las obras han tenido duración de 1 semana/10 días (en enero de 2024).

Fuente: SAN MIGUEL – INFORME EJECUTIVO Proyecto EUROCLIMA+ – MEMORIA DESCRIPTIVA

1.2. Revisión del desempeño energético

No se cuenta con los datos de consumo energético de la línea base, mientras que, para el periodo de estudio, se cuentan con datos parciales del consumo diario. Sin embargo, estos datos no fueron utilizados en el estudio de ahorro energético debido a que se presentan algunas inconsistencias en las mediciones horarias de algunos días, se recomienda hacer una revisión de la calibración de los equipos para tener mayor confiabilidad sobre estos datos.

Las simulaciones energéticas muestran que las obras realizadas permiten alcanzar un ahorro del 10% en calefacción y del 8% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 332 kWh. Este ahorro incluye la reducción del consumo energético en las facturas y la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 3% en invierno y un 23% en verano, como se presentó previamente.

1.3. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 14 985 000 ARS, equivalentes a 16 881 USD, lo que representa un costo de 54 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 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 1 100 USD/año, o 3,5 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de 9,5 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.

Gracias a las estrategias implementadas, en el primer año se lograron evitar 3 147 kgCO₂/año, lo que equivale a 10,0 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 31 474 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 150 km al año.



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 San Miguel**.

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 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 **Centro de Desarrollo Infanto Juvenil en San Miguel** se benefició de un estudio de auditoria energética en junio de 2022 en el marco de la fase inicial del programa Euroclima+. En enero de 2024 se pusieran en práctica algunas de las acciones propuestas en conclusión de la auditoria 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** pudiste 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 auditoria energética** con el resumen ejecutivo;
- **Presentar las evoluciones** que hayan sido observadas **en el edificio** desde la auditoria 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 auditorias energéticas**.

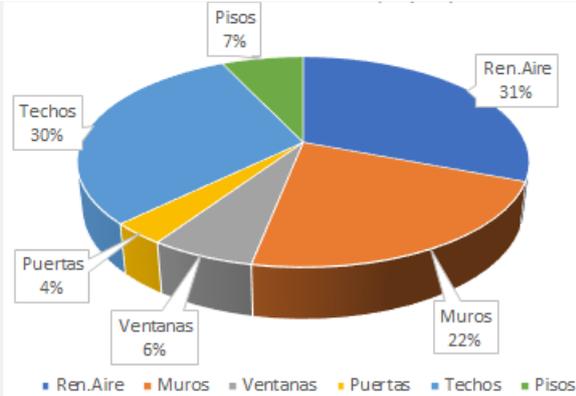
3. Resumen Auditoría Energética 06/2022

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

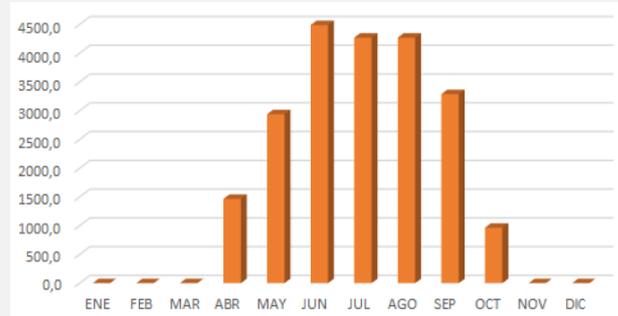
Datos administrativos	El edificio
<p>Dirección: calle Intendente Arricau 5400 de San Miguel</p> <p>Fecha de construcción: 2018</p> <p>Tipo: Centro de Desarrollo Infanto Familiar (CDIF)</p> <p>Superficie: 314 m²</p> <p>Obras y renovaciones más relevantes: -</p>	
Características Bioclimáticas	Equipos técnicos
<p>Contexto térmico:</p> <p>Clima templado cálido en Zona IIIb (IRAM 11603), se adopta la estación meteorológica de Ezeiza.</p> <p>Comportamiento térmico:</p> <p>El edificio es de construcción convencional en la región, y de baja eficiencia energética. El personal manifiesta que es muy caliente en los meses de verano y algo frío en los meses de invierno. A pesar de contar con sistema de climatización.</p> <p>Envolvente:</p> <p>Está materializado con muros de ladrillos huecos revocados en ambas caras, el techo es de chapa zincada prepintada negro apoyado sobre una capa de 0.05m de espuma de polietileno sobre estructura de perfiles (tipo steel framing), dejando un espacio de aire no ventilado y terminado con un cielorraso modular de placas de 2cm de lana de vidrio y PVC blanco sobre grilla metálica.</p> <p>Las carpinterías de ventanas y puertas son amplias de perfiles de aluminio con un vidrio de seguridad de 3+3mmmm de espesor sin protección adicional. Los solados son de cerámicas esmaltadas sobre contrapiso de hormigón pobre.</p>	<p>Iluminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posee buena iluminación natural. - El sistema de alumbrado interior es tipo LED. <p>Sistema de climatización y calefacción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos de aire acondicionado frío/calor, ubicados en los ambientes principales. - 5016W de potencia en equipos de refrigeración - 900W de placas calefacción Ecosol <p>Inventario de equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 340W de luminarias LED - 440W de conservación de alimentos - 1400W de calentador de agua con acumulación - 1HP de bombeo de agua - 1600 W de lavadora de ropa - 1600 W de lavavajillas.
<p>Recomendaciones rehabilitación:</p> <p>La medida más importante es trabajar sobre el techo con dos medidas prioritarias: a. agregar 10 cm de lana de vidrio con foil de aluminio inferior (tipo: Isover Rolac Plata Cubierta Hidrorepelente 100); sea levantando las chapas o desmontando el cielorraso y b. pintando de blanco refractante (Tipo: Rockryl Coating) la chapa negra a fin de reducir un 80% la absorción de la radiación solar.</p> <p>Una segunda medida es agregar un EIFS/SATE de 4 o 5 cm de EPS de 30Kg/m³ en la cara opaca de muros al exterior. La tercera medida y probablemente la más costosa cambiar las carpinterías de ventanas por otras de PVC con DVH. Una opción de menor costo agregar un vidrio exterior con perfil zeta de aluminio atornillado y sellado.</p>	

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	314,18	m2
Volumen habitable	816,87	m3
Indice Compacidad Co	0,48	adim
Factor de forma f	0,80	adim
Factor de exposición Fe	0,65	adim
Altura media de locales	2,60	m
Superficie envolvente	652,64	m2
Superficie protegida	225,68	m2

Demanda calefacción (kWh/año)	DACal (kWh/m2)
21682,34	69,01

Del diagnóstico surge que el edificio tiene un Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas Gcal (IRAM 11604) de 2,27 W/m3K y un Coeficiente de pérdidas unitarias 4,07 W/m2 que resulta en una Demanda anual energía eléctrica en calefacción de 21682,34 kWh/año y 69,01 kWh/m2año, para una temperatura base de calefacción de 20°C.

Demanda anual energía eléctrica en calefacción, propuesta mejorada

Demanda anual calef (kWh)	DACal (kWh/m2)
10556,33	33,60

La implementación de las mejoras en muros, techos y vidriados permitirá reducir la demanda de energía en calefacción en un 51,31%. El edificio tendrá un Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas Gcal (IRAM 11604) de 1.10 W/m3K y un Coeficiente de pérdidas unitarias 1.78 W/m2 que resulta en una Demanda anual energía eléctrica en calefacción de 10556,33 kWh/año y 33.60 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.

Propuesta mejorada

- Aislamiento en muros tipo EIFS (External Insulation Finish System) con 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 y K= 0.54 W/m2K.
- En techo desmontar el cielorraso y colocar 8/10 cm de lana de vidrio Rolac Plata 80/100. Reinstalar el cielorraso de paneles de lana de vidrio tipo Andina de 20mm. Reinstalar luminarias LED en cada ambiente. K= 0.35 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. K= 2,86 W/m2K.

Comparación entre consumo mensual de la versión original y mejorada

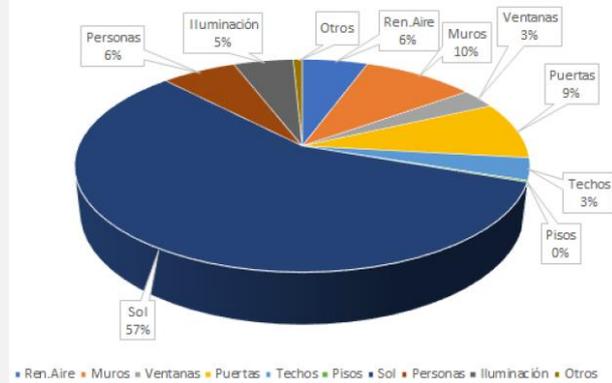


Cabe remarcar que es un diagnóstico simplificado en régimen estacionario que no contempla ocupación (personas, iluminación y equipos) y el aporte solar, que reducirían la demanda de energía. La iluminación existente es LED.

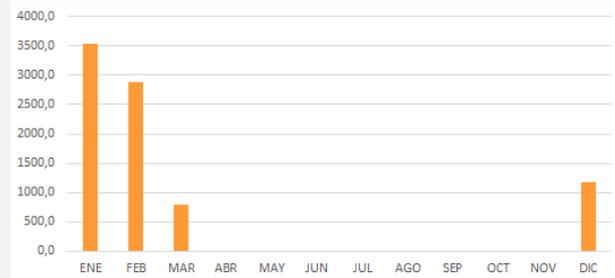


Verano – Análisis, propuesta mejorada y conclusiones

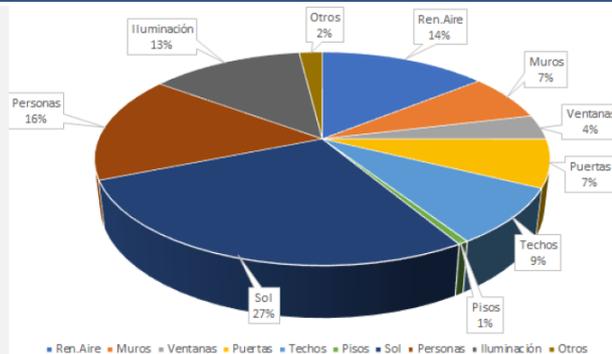
Aportes térmicos discriminados situación original



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



Aportes térmicos discriminados, situación mejorada



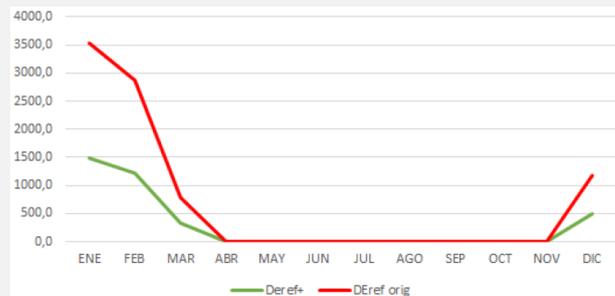
Propuesta mejorada

Se mantienen las mejoras propuestas para el invierno solo agregando una protección solar en las aberturas que lo requieran. Las que dan al patio poseen aleros y un árbol que brindan protección. Se necesitaría agregar al noreste y noroeste toldos de lona retraíbles al exterior. Al sudeste como control solar y expansión al patio posterior se requeriría una galería protección y contra lluvias. Se busca que los vidriados tengan un FES = 0.18.

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 57,55% en la demanda de energía eléctrica en refrigeración sin considerar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado.

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

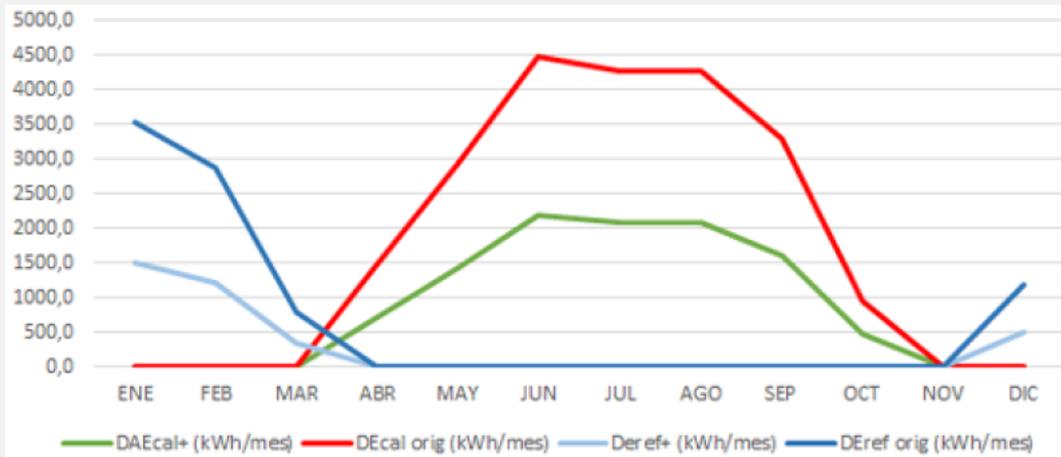


Conclusión

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 46,95% 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 95,65 kWh/m2año a 44,91 kWh/m2año.

Comparación anual caso CDIF «Santa Brígida» en San Miguel, Buenos Aires

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	1498663,0	1498,7	3530,1
FEB	0,0	0,0	0,0	1221132,8	1221,1	2876,4
MAR	0,0	0,0	0,0	333036,2	333,0	784,5
ABR	713801,4	713,8	1466,1	0,0	0,0	0,0
MAY	1430486,8	1430,5	2938,2	0,0	0,0	0,0
JUN	2184664,8	2184,7	4487,2	0,0	0,0	0,0
JUL	2078676,1	2078,7	4269,5	0,0	0,0	0,0
AGO	2078676,1	2078,7	4269,5	0,0	0,0	0,0
SEP	1600645,5	1600,6	3287,7	0,0	0,0	0,0
OCT	469378,5	469,4	964,1	0,0	0,0	0,0
NOV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DIC	0,0	0,0	0,0	499554,3	499,6	1176,7
ANUAL	10556329,0	10556,3	21682,3	3552386,4	3552,4	8367,7
Reducción demanda EE		51,31 %			57,55 %	
Total climatización anual sin mejoras			30050,00 kWh/año			95,65 kWh/m2año
Total climatización anual con mejoras			14108,72 kWh/año			44,91 kWh/m2año
			46,95 %			



4. Medida de Eficiencia Energética

Tres estrategias de eficiencia energética fueron propuestas: 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 sobre cielorraso desmontable fue elegido además de pintura de blanco refractante la chapa negra de las cubiertas metálicas.

4.1. Descripción de las obras y cronograma

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

4.1.1. Aislación sobre cielorraso desmontable

Para mejorar el aislamiento térmico de los cielorrasos de placas desmontables livianas sobre perfilería galvanizada, fueron sumadas a estas, planchas de lana de vidrio de 8 cm de espesor con foil de aluminio inferior (tipo: Isover Rolac Plata Cubierta Hidro repelente 80) desmontando el cielorraso desde el interior del ambiente.



4.1.2. Pintura de cubiertas metálicas

El techo de clapa tipo trapezoidal prepintado de color negro se encuentra en buen estado de conservación, pero debido a su color negro y a fin de reducir un 80% la absorción de la radiación solar, se lo pintó de color blanco.

Se pintó la totalidad de la cubierta de techos de chapas con recubrimiento en base a resinas acrílicas de terminación semi-satinado formulado con filtros solares y pigmentos resistentes a la luz solar para su uso en exteriores que contenga funguicidas y antialgas a fin de prevenir la formación de moho y algas.

Se han aplicado no menos de dos manos a pincel o las necesarias con pistola eléctrica. Se incluyen las cupertinas y canaletas.



Las obras han tenido duración de 1 semana/10 días (en enero de 2024).

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 aislamiento sobre cielorraso desmontable y pintura de blanco refractante de las cubiertas metálicas en enero de 2024.
Ocupación	
Número de ocupantes	21 adultos y 104 niños repartidos en 2 turnos, entonces 11 adultos y 52 niños siempre presentes en el edificio. Sin cambios entre 2022-2024.
Horarios de uso	De lunes a viernes, por la mañana de las 8h15 – 12h15 y por las tardes de 12h30 – 16h30. El equipo de la cocina y limpieza empieza a las 7h30 y termina las 17h. Sin cambios entre 2022-2024.
Periodos de inactividad	En enero solamente el equipo tecnico (4 personas) estan presentes 2 veces por semana. En invierno no hay vacaciones, pero menos ocupantes (metad). Sin otros registros de inactividad entre 2022-2024.
Equipos técnicos	
Iluminación	Luminarias LED desde la inauguración (2019). Sin cambios entre 2022-2024. Asumiremos que el nivel de iluminación se mantuvo igual.
Climatización	Los equipos de refrigeración y calefacción son los mismos desde 2019.
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 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).

Otras observaciones cuanto a la evolución del edificio (menos impactantes cuanto al desempeño y consumo del edificio):

- Las luces de la oficina de la dirección y de los pasillos tenían que quedarse prendidas por la noche porque la plaza adelante no tiene iluminación. Desde junio de 2024, 2 foto luminaires con sondas de luminosidad están presentes en la entrada del edificio para las noches y sustituyen las luces prendidas al interior del CDIF.

- Un termo-solar estaba presente desde el 31 de julio de 2023 y se desinstalo en julio de 2024. En la ausencia del termo-solar, funcionaban y todavía funcionan termo eléctricos para el agua de la cocina y de la sala de bebés. Estos termo eléctricos reemplazaban el termo-solar siempre que este no funcionaba.

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 ambientes tipo: la sala 1 y el SUM. Las mediciones se realizaron del 28 de agosto al 4 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 28 de agosto al 4 de septiembre de 2024.

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

- Estación "Campo de Mayo", ubicada a 7 km del edificio, con datos recopilados entre el 1 de octubre de 2023 y el 8 de octubre de 2024.
- Estación "San Miguel", ubicada a 5 km del edificio, con datos recopilados entre el 1 de enero de 2023 y el 8 de octubre de 2024

4.3.3. Consumo eléctrico

Se dispone del registro horario para algunos días desde febrero de 2024, sin embargo, los datos tienen tendencias y valores que reflejaban algunas inconsistencias en ciertos periodos, por lo que no fueron tenidas en cuenta en el presente estudio.

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 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 (%) y temperatura de ricio (°C) radiación solar (W/m²), 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".

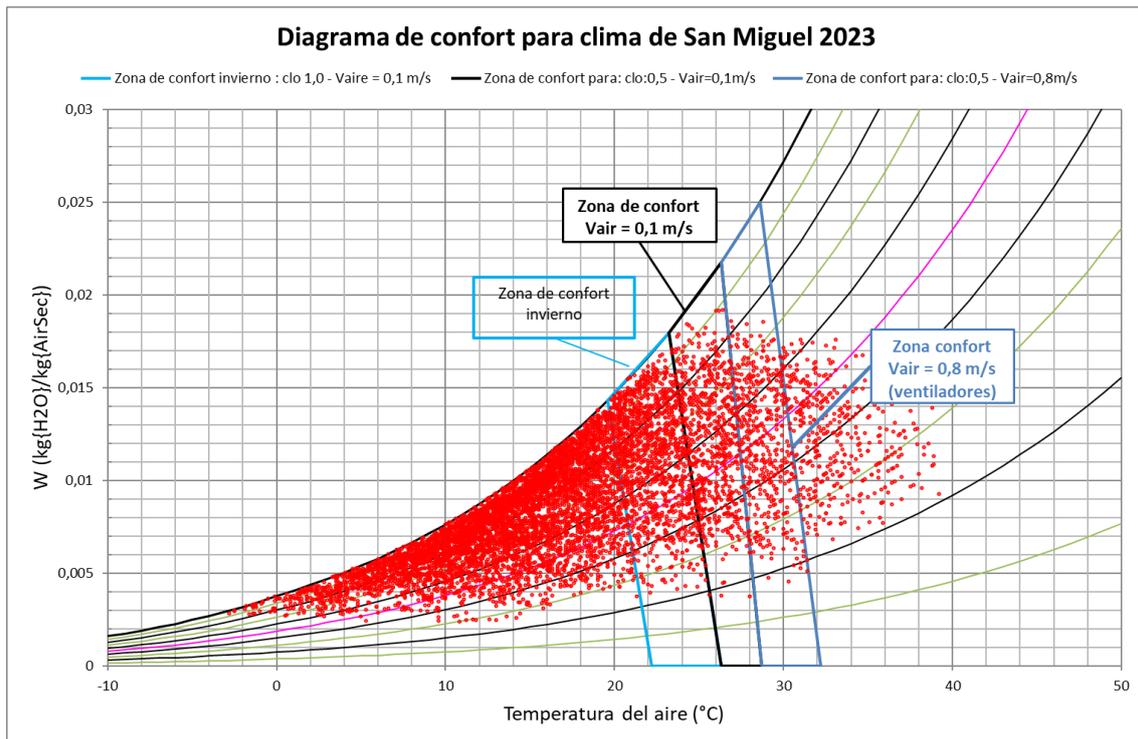
Esta metodología fue desarrollada por M. Fanger. Está basada en experimentos de laboratorio y considera que el ser humano es pasivo frente a su entorno y que su equilibrio térmico se basa en el balance de calor teniendo

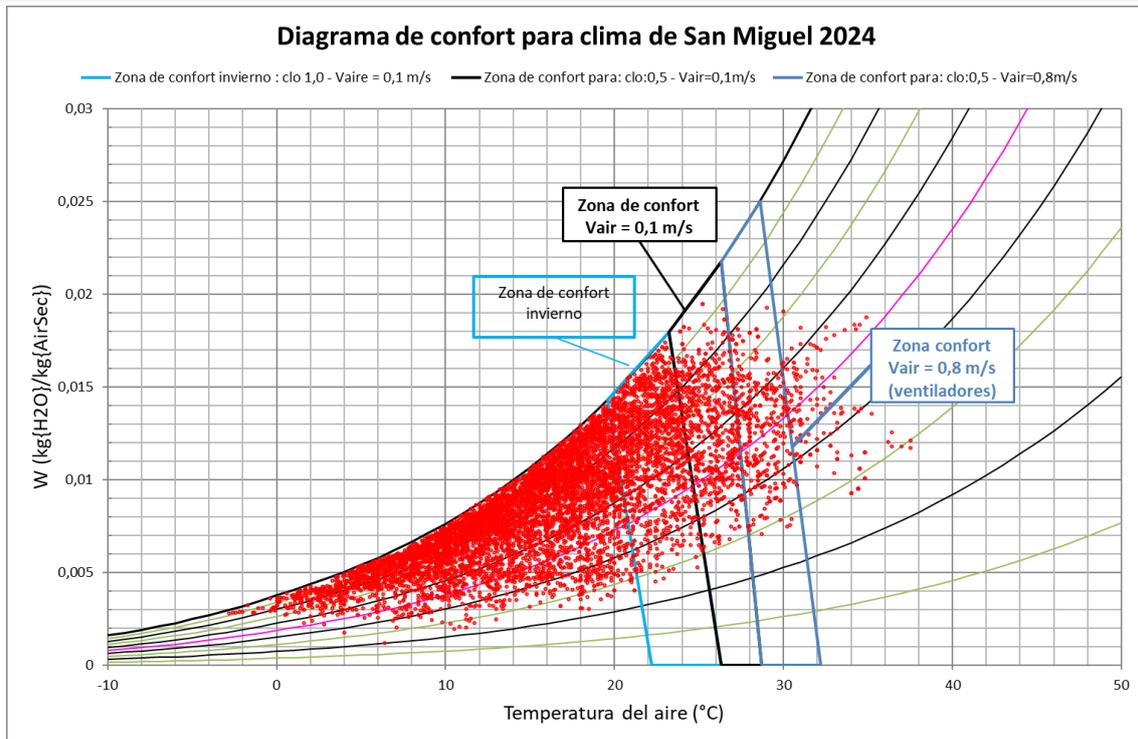
en cuenta los 6 parámetros descritos anteriormente (4 ambientales y 2 personales). La metodología de Fanger, utilizada en este estudio, se basa en la siguiente escala para determinar si el ocupante del edificio se siente cómodo o no:

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 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 San Miguel. 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 frio	de por	Horas de inconfort por calor (sin ventiladores)	de por (sin ventiladores)	Horas de inconfort por calor (con ventiladores)		T_Max	T_Med	T_Min
2023	5 862	66,9%	840	9,6%	396	4,5%	39,2°C	17,3°C	-2,8°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.

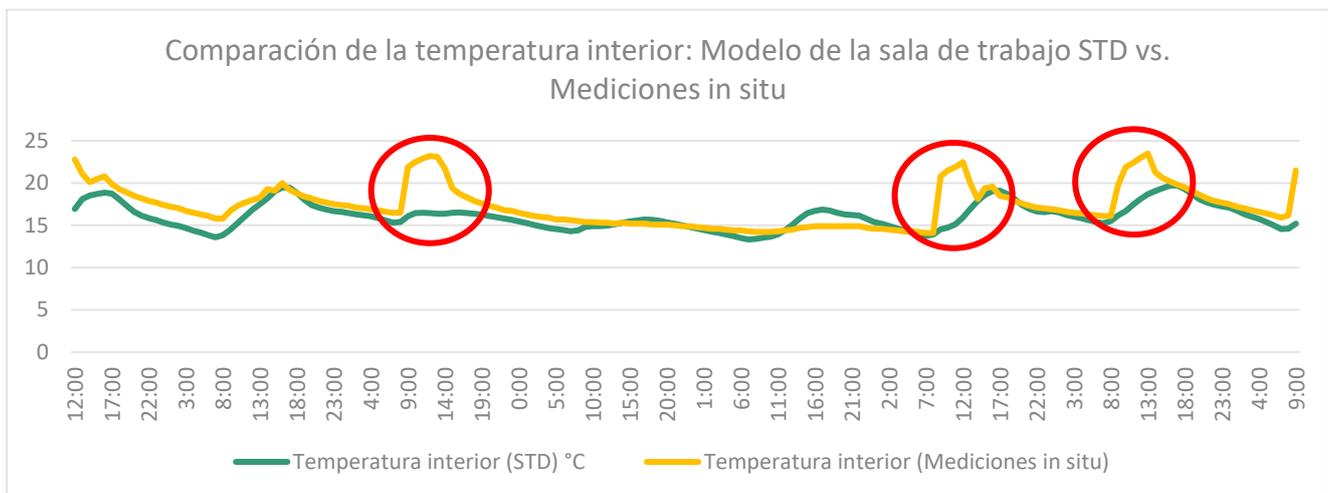
5.1.3. Ajuste y refinación del modelo energético

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.

Los picos de temperatura, señalados con los círculos rojos, representan el aumento de temperatura asociado al uso de equipos de calefacción. Durante los periodos de desocupación, ambas gráficas siguen tendencias similares.



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 trabajo									
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	440	24,60%	607	33,90%	310	24,60%	38,2	24,8	9,3
Caso mejorado	429	23,80%	546	30,50%	264	14,70%	37,1	24,6	9,9
Mejora	3%		10%		40%		-1,1	-0,2	0,6
							3%	1%	-6%

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

SUM									
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	478	26,70%	597	33,30%	304	17,00%	38,2	24,5	8,7
Caso mejorado	470	26,24%	540	30,20%	266	14,90%	37,1	24,2	9,2
Mejora	2%		9%		12%		-1,1	-0,3	0,5
							3%	1%	-6%

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

Con base en las condiciones de uso de los espacios, se estima que el 84% de las áreas tendrá un comportamiento similar al de la sala de trabajo, mientras que el 16% restante se asemejará al de la SUM.

Las mejoras generales en el confort para los proyectos se han estimado así:

- El tiempo de disconfort por calor disminuyó en un 23%, con una reducción de 1,1°C en la temperatura máxima interna. Un solo grado centígrado puede tener un fuerte impacto en el confort de las personas.
- El tiempo de disconfort por frío se redujo en un 3%, con un incremento de 0,6°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

No se cuenta con los datos de consumo energético de la línea base, mientras que, para el periodo de estudio, se cuentan con datos parciales del consumo diario. Sin embargo, estos datos no fueron utilizados en el estudio de ahorro energético debido a que se presentan algunas inconsistencias en las mediciones horarias de algunos días, se recomienda hacer una revisión de la calibración de los equipos para tener mayor confiabilidad sobre estos datos.

Consumo eléctrico: Gracias al aislamiento de la cubierta y la pintura blanca como capa exterior, 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, sin embargo, los registros de consumo energético no permiten evidenciar estos ahorros dado que no se cuentan con datos de consumo de la línea base.

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 10% en calefacción y del 8% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 7 332 kWh. Este ahorro incluye la reducción del consumo energético en las facturas y la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 3% en invierno y un 23% en verano, como se presentó previamente.

6.2. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico tuvo un costo total de 14 985 000 ARS, equivalentes a 16 881 USD¹, lo que representa un costo de 54 USD/m².

Para el análisis económico, utilizamos el precio de la factura energéticas del proyecto que indica un valor de 327 ARS/kWh el equivalente a 0,32 USD

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 1 100 USD/año, o 3,5 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de 5,5 años.

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>

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.

Gracias a las estrategias implementadas, en el primer año se lograron evitar 3 147 kgCO₂/año, lo que equivale a 10,0 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 31 474 kgCO₂.

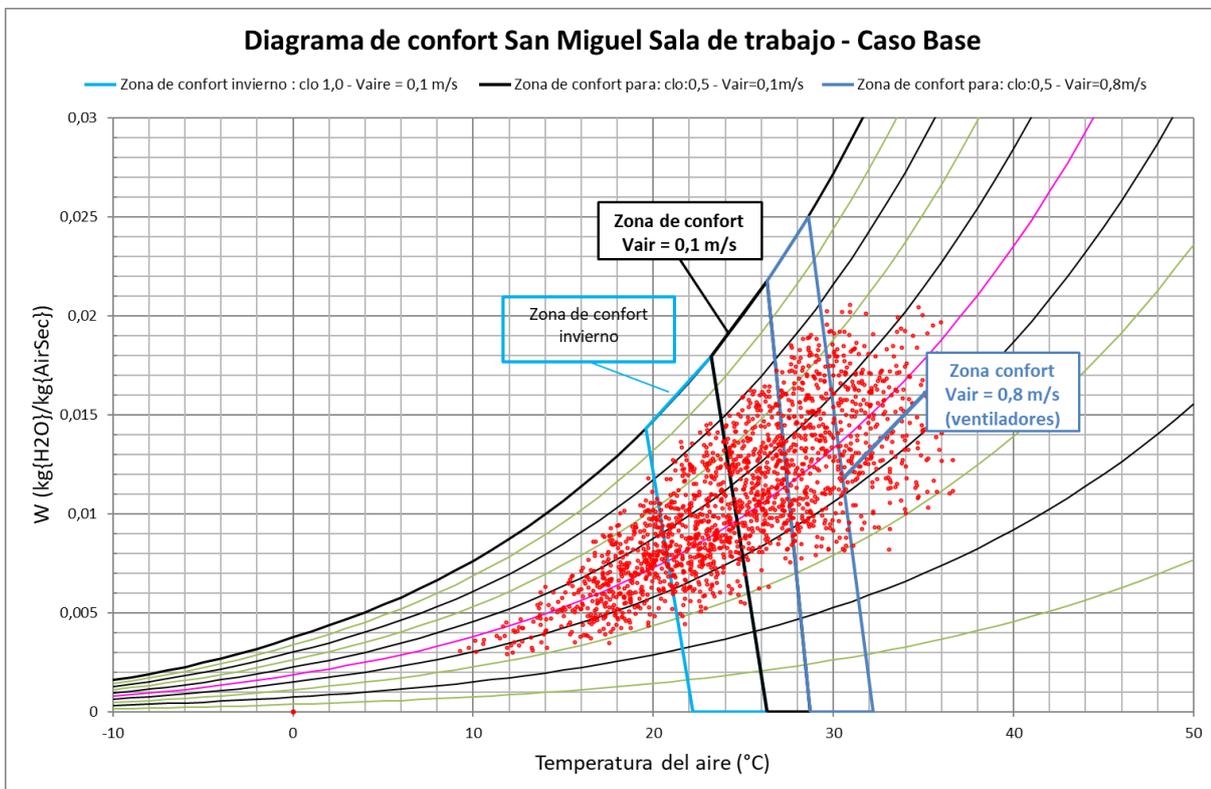
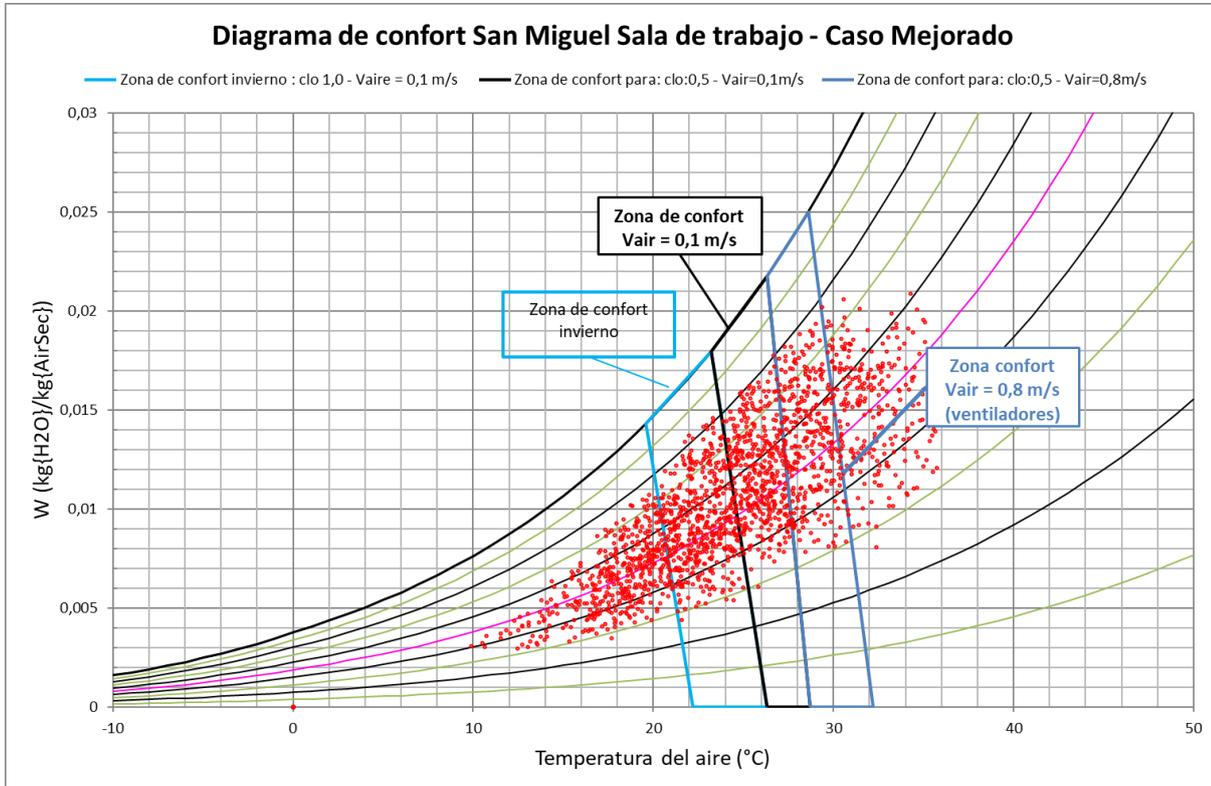
En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 3 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ emitido por un vehículo que se moviliza 150 km al año.



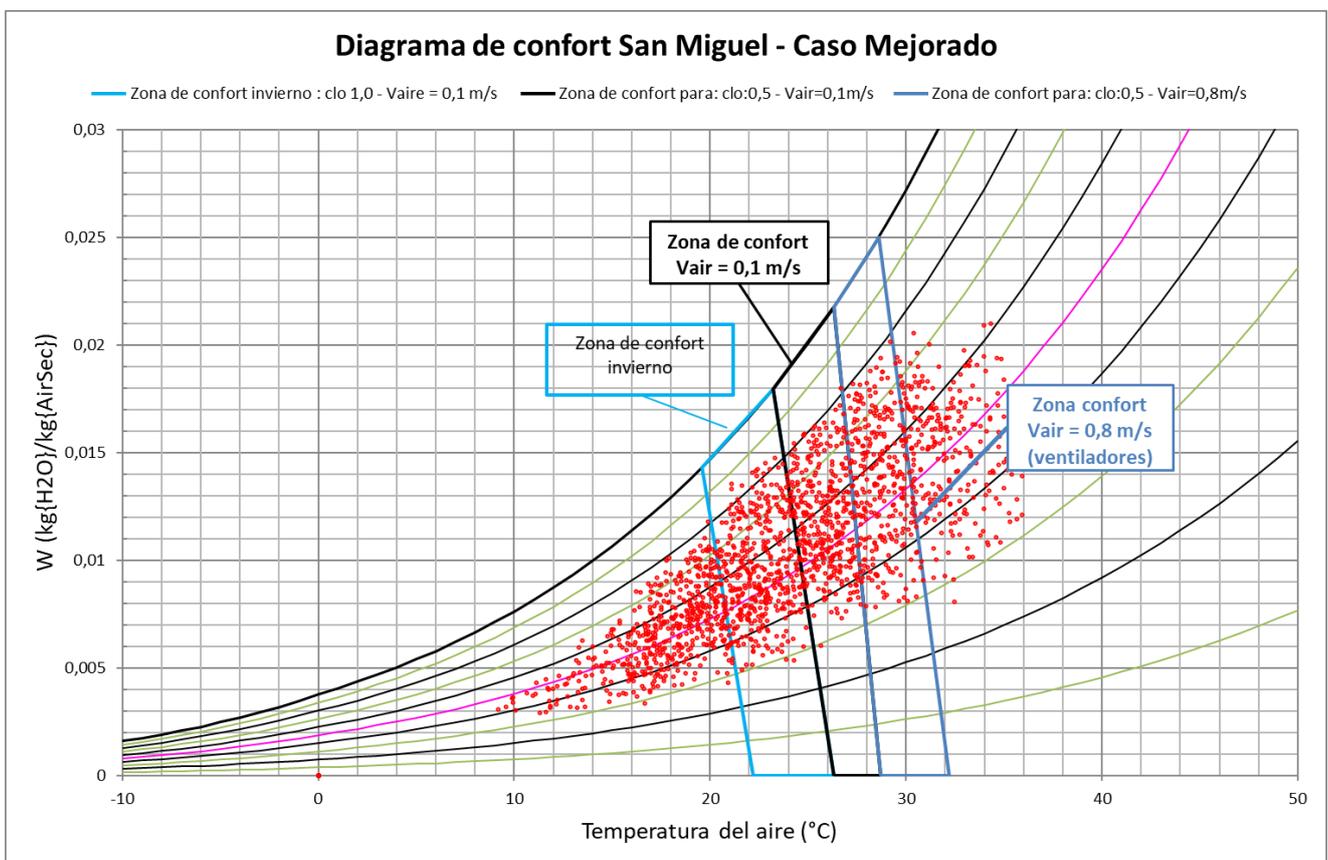
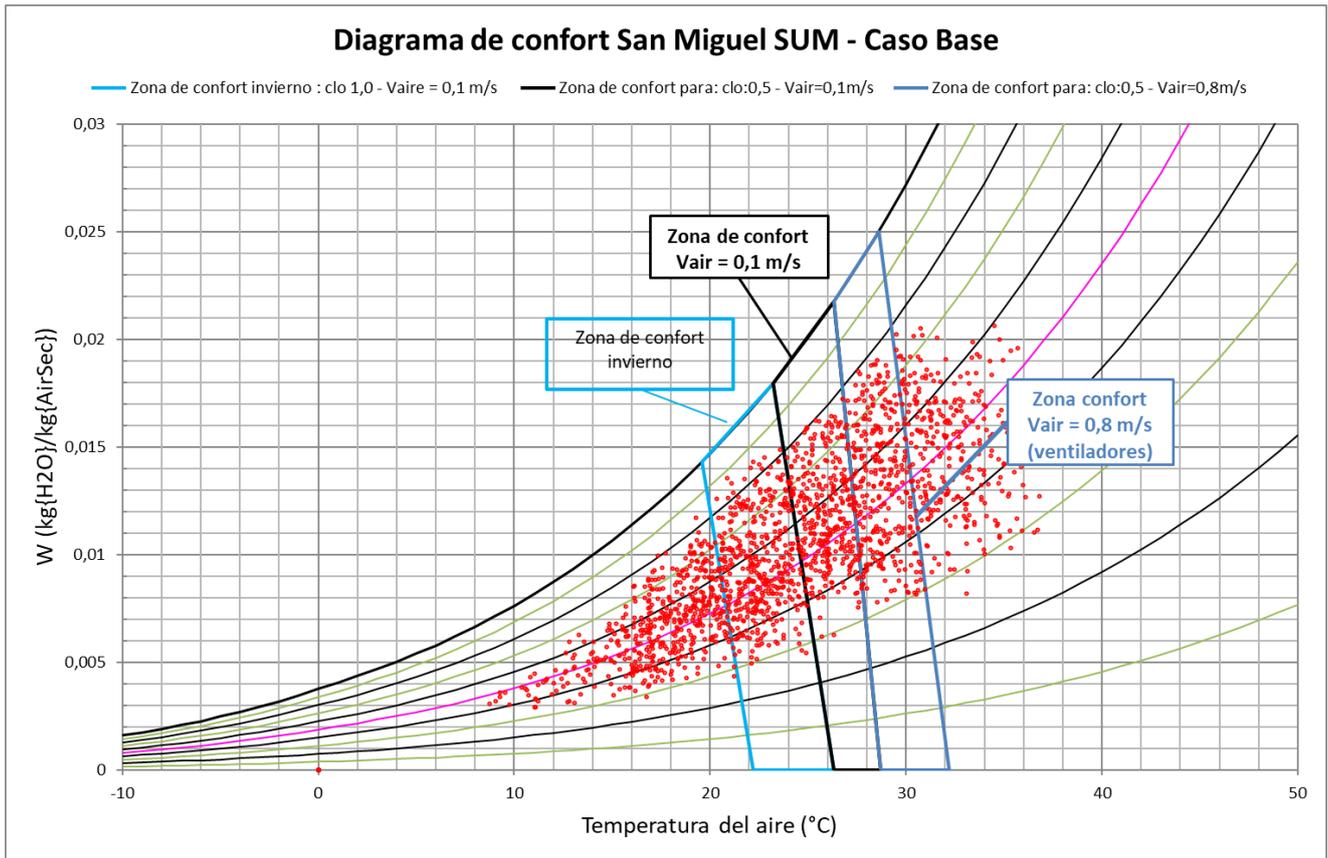
7. Anexos

7.1. Graficas de Confort Caso base y caso mejorado

7.1.1. Sala de trabajo



7.1.2.SUM



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