



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 Teatro Plaza de Godoy Cruz

Agencia Francesa de Desarrollo - UNLP – RAMCC –
Municipalidad de Godoy Cruz

02/07/2025

Referencia	250702_Euroclima_Godoy Cruz_Informe M&V del desempeño_V.2	
Distribución	TERAO, AFD, UNLP, RAMCC, Municipalidad de Godoy Cruz	
Versión - Fecha	V.2	02/07/2025
Redactado por	Giovana PINHEIRO	
Validado por	Andrés MENESES	
Histórico de las versiones	<p>V.1 (25/06/2025) – Versión original</p> <p>V.2 (versión actual) – Modificaciones tras los comentarios compartidos por el equipo de Coordinación del Proyecto EMES – EUROCLIMA (rectificación de los impactos económicos ante la utilización del valor de presupuesto actualizado de las obras)</p>	

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 04/2023	8
4.	Medida de Eficiencia Energética	10
4.1.	Descripción de la obras y cronograma	10
4.2.	Análisis de variables dependientes e independientes	10
4.3.	Mediciones realizadas y parámetros recopilados.	11
4.4.	Opción de M&V seleccionada	12
4.5.	Definición de la línea base	12
5.	Revisión del desempeño del confort.....	13
5.1.	Metodología	13
6.	Revisión del desempeño energético	18
6.1.	Consumo energético global	18
6.2.	Impacto económico	18
6.3.	Impacto ambiental	19
7.	Anexos.....	20
7.1.	Graficas de Confort Caso base y caso mejorado	20
8.	Présentation de TERA0	22



1. Resumen ejecutivo

1.1. Descripción de la obras y cronograma

Tres estrategias de eficiencia energética fueron propuestas por la auditoría energética desarrollada. Por cuestiones financieras, una sola estrategia pondría ser implementada y la solución “techo frio” fue elegida. Pasaran de una cubierta sin aislamiento a 3 cm de poliuretano proyectado cubierto con pintura acrílica de protección UV.

Ante la necesidad de aislar térmicamente la cubierta del edificio, se propone como mejor recurso, el sistema de techo frio aislante en la totalidad de su superficie de la cubierta incluyendo los paramentos laterales de chapa y todos los encuentros con elementos salientes como los extractores eólicos. 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.

Para lograr el techo frio, se ejecutarán dos capas superpuestas:

- Poliuretano proyectado, o aplicado "in situ" (aislación termo hidrofuga y anti condensante).
- Pintura acrílica (protección “UV”) a razón de 1 kg por m2.

El tratamiento con spray de poliuretano forma un manto aislante monolítico, totalmente adherido a la superficie, sin juntas ni puentes térmicos. La alta capacidad aislante de este material se debe a la muy baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de sus celdas cerradas. El espesor mínimo será de 30 mm.



La aplicación de espuma de poliuretano in-situ por sistema spray no sólo brinda una excelente aislación térmica y anti condensante, sino también una perfecta impermeabilización. Para garantizar la adherencia y durabilidad del poliuretano, se deberá preparar la superficie, efectuándose como tareas preliminares la limpieza, lijado (de ser necesario) y asegurarse de que esté libre de grasa o polvo. Como la espuma de poliuretano no debe quedar expuesta a la intemperie porque la humedad y los rayos UV causan su degradación progresiva, se lo protegerá con 2 manos de pintura acrílica de base acuosa libre de solventes de color blanco.

Las obras para implementación de la solución “techo frio” han tenido duración de casi 3 meses (inicio en papel el 21/11/2024, pero obras empezadas efectivamente el 09/12/2024 y fin inspeccionado el 06/02/2025).

Fuente: GODOY CRUZ – INFORME EJECUTIVO Proyecto EUROCLIMA+ – MEMORIA DESCRIPTIVA

1.2. Revisión del desempeño energético

Gracias al aislamiento de la cubierta con pintura acrílica de protección UV, las cargas térmicas se han reducido.

Consumo de electricidad (kWh)		
Mes	2023	2024
Enero	7714	7788
Febrero	7504	10470
Marzo	6374	6718
Abril	5625	5337
Mayo	13400	
Junio	17452	
Julio	19680	
Agosto	17793	
Septiembre	11404	
Octubre	6857	
Noviembre	11854	
Diciembre	15848	
Promedio mensual	11792	11226
Consumo anual	141505	134716

Como resultado, los equipos requieren menos energía para funcionar y siendo equipos invertir deben ajustar su consumo de manera automática. Se estimó el consumo anual de 2025 por proyección estadística basándose en los consumos de los meses de enero, marzo y abril de 2024. El mes de febrero fue descartado porque se supone haber consumido más que el habitual en función de un mayor número de actividades y, por consecuencia, de ocupación. Al comparar el consumo promedio mensual de 2024 y 2025, se identifica un ahorro promedio del 5%, equivalente a 6 789 kWh.

Las simulaciones energéticas muestran que las obras realizadas permiten alcanzar un ahorro del 55% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 12 458 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 6 789 kWh. El valor restante de 5 669 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 1% en invierno y un 67% en verano, como se presentó previamente.

1.3. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico con pintura acrílica de protección UV tuvo un costo total de **72 343 246 ARS** o **67 461 EUR**, equivalentes a **69 626 USD¹**, lo que representa un costo de **92 USD/m²**.

Para el análisis económico, utilizamos el precio de la factura energética del proyecto que indica un valor de 641 ARS/kWh en febrero de 2025 el equivalente a 0,605 USD²/kWh.

Según el comunicado del Ministerio de Economía³, 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 7 535 USD/año, o 9,9 USD/m²/año, con un retorno de la inversión estimado de alrededor de los **7,5 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 5 348 kgCO₂/año, lo que equivale a 7,04 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 53 483 kgCO₂.

En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 4 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 2025 (1 EUR = 1,0321 USD), periodo de desarrollo de las obras, https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.pt.html

2 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>

3 <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 **Teatro Plaza de Godoy Cruz** se benefició de un estudio de auditoría energética en abril de 2023 en el marco de la fase inicial del **programa Euroclima+**. En diciembre de 2024 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 04/2023

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

Datos administrativos	El edificio
<p>Dirección: calle Colón 27, entre Rivadavia y Lavalle</p> <p>Fecha de construcción: principios del siglo XX</p> <p>Tipo: Cultura (auditorio y servicios anexos)</p> <p>Superficie: 1501 m²</p> <p>Obras y renovaciones más relevantes: -</p>	
Características Bioclimáticas	Equipos técnicos
<p>Contexto térmico:</p> <p>Clima templado frío en Zona IVa (IRAM 11603).</p> <p>Comportamiento térmico:</p> <p>El edificio es de construcción convencional en la región, de baja eficiencia energética en su envolvente. El personal manifiesta que es caluroso en los meses de verano y templado en los meses de invierno.</p> <p>Envolvente:</p> <p>Está materializado con gruesos muros de mampostería de ladrillos comunes revocados en ambas caras, techo de chapa ondulada con aislación termoacústica.</p> <p>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.</p>	<p>Iluminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posee buena iluminación natural en el hall/foyer no así en la sala o camerinos. - El sistema de alumbrado interior está en transición notándose la presencia de lámparas alógenas junto a fluorescente y LED. <p>Sistema de climatización y calefacción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El sistema de climatización es mediante un gran equipo de aire acondicionado frío/calor centralizado todo aire, ubicado principalmente para alimentar la sala.
Diagnóstico:	Recomendaciones rehabilitación
<p>El personal manifiesta que es caluroso en los meses de verano y templado en los meses de invierno. El diagnóstico energético muestra que en la condición actual el edificio requiere 81336,46 kWh/año en calefacción y 141242,55 kWh/año en refrigeración y con todas las medidas de rehabilitación podría reducirse a 68758,06 kWh/año y 118033,34 kWh/año respectivamente. Implica una reducción en la demanda del 15,46 % en calefacción y 16,43% en refrigeración. Así tendríamos como indicador de comparación en calefacción 45,81 kWh/m².año y 78,64 kWh/m².año en refrigeración con un total de 124,45kWh/m².año. Relativamente complejo de reducir con medidas pasivas de eficiencia energética. Solo queda apelar a una combinación de diseño bioclimático y medidas activas combinando energías renovables con sistema de climatización híbrido. Para su uso se adoptó una planta térmica todo aire de bajo impacto en la estructura del edificio, pero también relativamente eficaz y no de gran eficiencia energética.</p>	<p>La medida más importante es trabajar sobre los techos y muros:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Agregar 10 cm de lana de vidrio con foil de aluminio inferior sobre el cielorraso; 2) En muros aislar con EIFS/SATE de 4 o 5 cm de EPS de 30Kg/m³ en la cara opaca exterior. 3) La medida quizá más costosa es una readecuación bioclimática y una planta térmica con geotermia junto a una distribución híbrida por aire y radiante. Implica una gran inversión y un tiempo de obra de varios meses. <p>Debemos recordar que uno de los mayores aportes es calor metabólico de varios cientos de espectadores junto a luminarias y equipos varios en espectáculos. Dado que a pesar de estas medidas el edificio seguirá demandando energía se sugiere actualizar los equipos de climatización con un sistema sustentable alimentado por un generador fotovoltaico instalado en los techos que además brindará protección solar adicional a estos en los calurosos meses de verano.</p>

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 16,08%** 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 148,29 kWh/m²año a 124,45 kWh/m²año.

Comparación anual caso «Teatro Plaza» en Godoy Cruz, Mendoza

Demanda de energía Comparación anual	Calefacción		Refrigeración	
	Original (kWh/mes)	Mejorado (kWh/mes)	Original (kWh/mes)	Mejorado (kWh/mes)
ENE	0,00	0,00	34939,88	29198,50
FEB	0,00	0,00	36541,54	30536,98
MAR	0,00	0,00	14098,55	11781,85
ABR	4896,64	4139,39	0,00	0,00
MAY	14572,40	12318,83	0,00	0,00
JUN	18411,37	15564,11	0,00	0,00
JUL	19025,08	16082,92	0,00	0,00
AGO	16191,56	13687,59	0,00	0,00
SEP	7834,62	6623,03	0,00	0,00
OCT	404,79	342,19	0,00	0,00
NOV	0,00	0,00	21948,65	18342,01
DIC	0,00	0,00	33713,92	28174,00
Total	81336,46	68758,06	141242,55	118033,34
Reducción de demanda (%)		15,46		16,43

al climatización anual original	222579,01 (kWh/año)	148,29 (kWh/m ² año)
Total climatización anual mejorado	186791,40 (kWh/año)	124,45 (kWh/m ² año)
Reducción de demanda total (%)		16,08

DECal	DECal+	DERef	DERef+
54,19	45,81	94,10	78,64
kWh/m ² año	kWh/m ² año	kWh/m ² año	kWh/m ² año
Reducc (%)	15,46		16,43



4. Medida de Eficiencia Energética

Tres estrategias de eficiencia energética fueron propuestas por la auditoría energética desarrollada. Por cuestiones financieras, una sola estrategia pondría ser implementada y la solución “techo frio” fue elegida. Pasaran de una cubierta sin aislamiento a 3 cm de poliuretano proyectado cubierto con pintura acrílica de protección UV.

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 frio aislante en la totalidad de su superficie de la cubierta incluyendo los paramentos laterales de chapa y todos los encuentros con elementos salientes como los extractores eólicos. 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.

Para lograr el techo frio, se ejecutarán dos capas superpuestas:

- Poliuretano proyectado, o aplicado "in situ" (aislación termo hidrofuga y anti condensante).
- Pintura acrílica (protección “UV”) a razón de 1 kg por m2.

El tratamiento con spray de poliuretano forma un manto aislante monolítico, totalmente adherido a la superficie, sin juntas ni puentes térmicos. La alta capacidad aislante de este material se debe a la muy baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de sus celdas cerradas. El espesor mínimo será de 30 mm.



La aplicación de espuma de poliuretano in-situ por sistema spray no sólo brinda una excelente aislación térmica y anti condensante, sino también una perfecta impermeabilización. Para garantizar la adherencia y durabilidad del poliuretano, se deberá preparar la superficie, efectuándose como tareas preliminares la limpieza, lijado (de ser necesario) y asegurarse de que esté libre de grasa o polvo. Como la espuma de poliuretano no debe quedar expuesta a la intemperie porque la humedad y los rayos UV causan su degradación progresiva, se lo protegerá con 2 manos de pintura acrílica de base acuosa libre de solventes de color blanco.

Las obras para implementación de la solución “techo frio” han tenido duración de casi 3 meses (inicio en papel el 21/11/2024, pero obras empezadas efectivamente el 09/12/2024 y fin inspeccionado el 06/02/2025).

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 frio entre diciembre de 2024 y febrero de 2025.
Ocupación	
Número de ocupantes	Capacidad de 1000 personas, variacion entre 500-1000 personas por evento.
Horarios de uso	Sin cambios entre 2023-2025. Entre 1 y 3 eventos por dia, organizados 3 turnos: - Turno noche: 18h30 – 23h00 (4h30); - Medio siesta: 14h30 – 17h30 (3h); - Turno mañana: 08h00 – 13h30 (5h30);
Periodos de inactividad	Normalmente cerrado para manutencion y restauracion los meses de enero y febrero. Sin otros registros de inactividad particulares entre 2022-2024.
Equipos técnicos	
Iluminación	Pasage parcial à LED en el escenario y intergal en toda la sala. Sin grandes cambios entre 2023-2025. Asumiremos que el nivel de iluminación se mantuve 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 capitulo §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 ano son registradas variaciones de la humedad, pero para fines de coherencia de analisis asumiremos que estas variables se mantuvieran iguales).
Radiación solar	Idem (a cada ano son registradas variaciones de la radiación, pero para fines de coherencia de analisis 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 espacios: la sala de audiencia principal (planta baja) y el balcón (planta alta). Las mediciones se realizaron del 12 de marzo al 20 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 12 de marzo al 20 de marzo de 2025.

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

- Estación "Godoy Cruz Centro", ubicada del otro lado de la Plaza Godoy Cruz (donde está ubicado el edificio del Teatro Plaza), con datos recopilados de 2024.



4.3.3. Consumo eléctrico

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

4.3.4. Consumo de gas

No hay consumo de gas.

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), 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

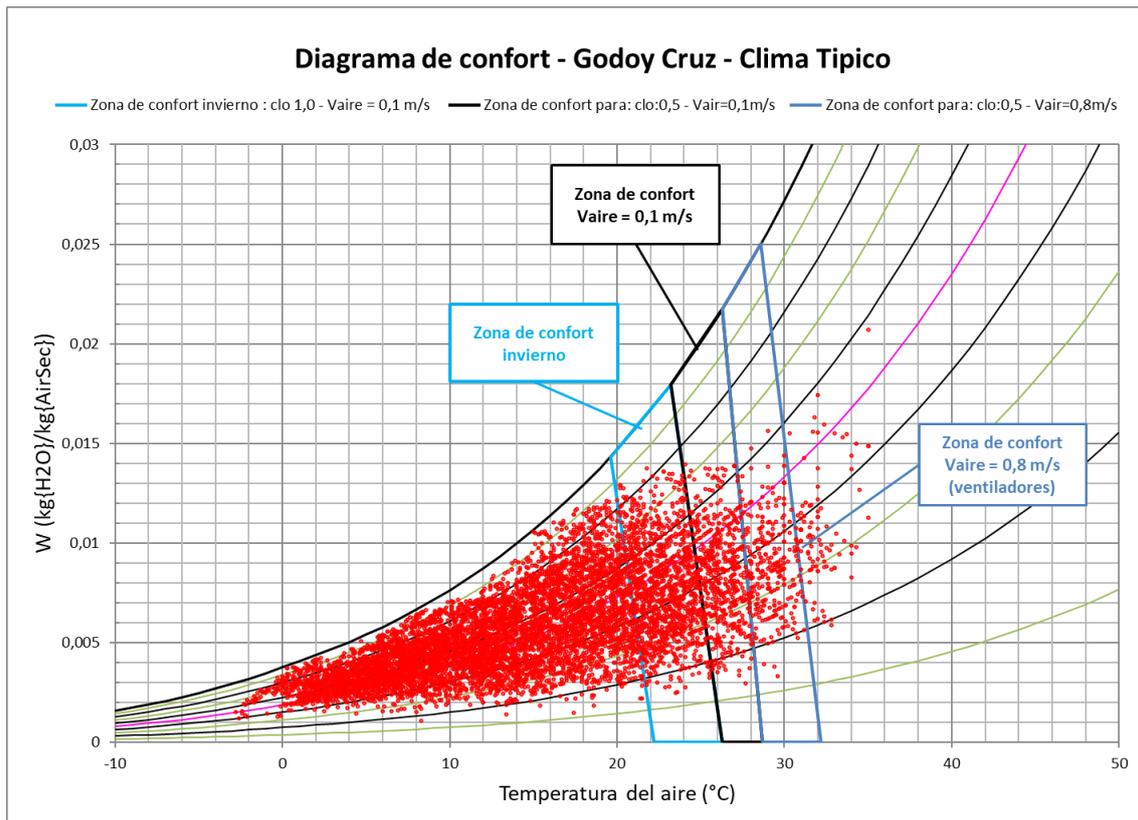


en cuenta los 6 parámetros descritos anteriormente (4 ambientales y 2 personales). La metodología de Fanger, utilizada en este estudio, se basa en la siguiente escala para determinar si el ocupante del edificio se siente cómodo o no:

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 Godoy Cruz, Mendoza. 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 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 el clima típico de Godoy Cruz:

Año	Horas de inconfort frio	de por	Horas de inconfort por calor ventiladores)	de por (sin ventiladores)	Horas de inconfort por calor (con ventiladores)	T_Max	T_Med	T_Min	
-	6595	75,3%	378	4,3%	100	1,1%	35°C	14,9°C	-2,8°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 estas mismas condiciones (del clima típico).

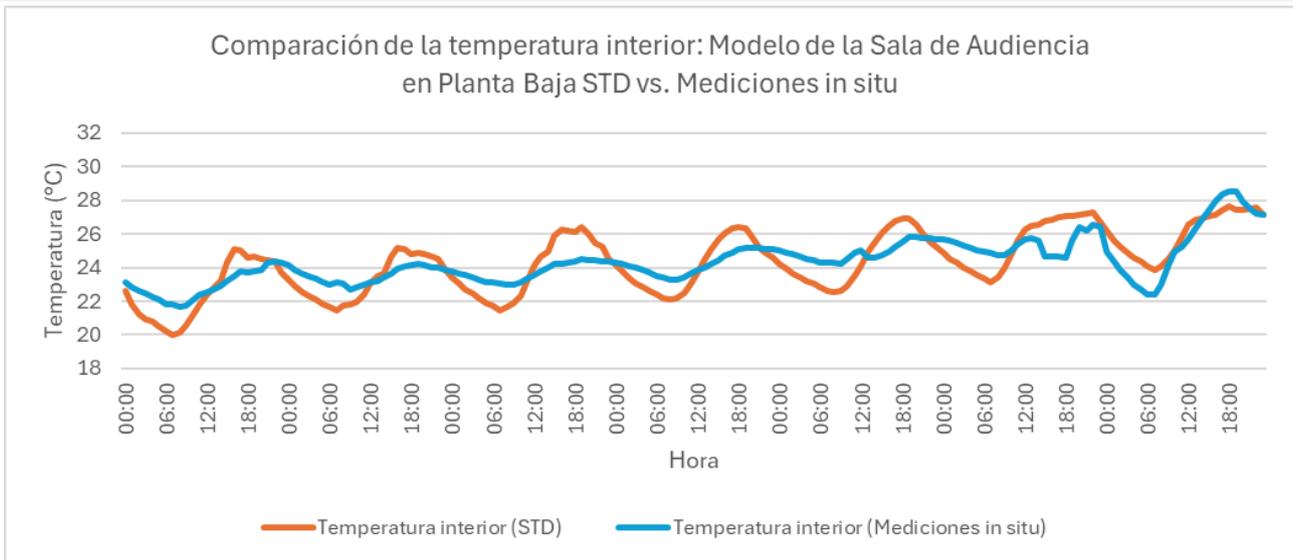
Para determinar la temperatura operativa y los niveles de humedad relativa dentro del edificio, se realizó una modelización térmica del edificio. Basado en la simulación, se trazará un nuevo gráfico psicrométrico para determinar el número de horas de confort e incomodidad durante las horas de ocupación 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 +/- 2,0°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 Audiencia (planta baja)									
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	5558	63,4%	119	1,4%	0	0,0%	29,3°C	17,6°C	3,4°C
Caso mejorado	5539	63,2%	18	0,2%	0	0,0%	28,5°C	17,8°C	4,6°C
Mejora	0,3%		86%		-		-0,8°C	0,2°C	1,2°C
							3%	-1%	-35%

*La sala de audiencia tiene una ocupación estimada de 3 022 horas al año

Balcón									
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	4959	56,6%	813	9,3%	26	0,3%	32,5°C	18,7°C	3,8°C
Caso mejorado	4785	54,6%	513	5,9%	0	0,0%	29,2°C	19,4°C	6,6°C
Mejora	4%		37%		100%		-3,3°C	0,7°C	2,8°C
							10%	-4%	-74%

*El balcón tiene una ocupación estimada de 2 665 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 70% de las áreas tendrá un comportamiento similar al de la sala de audiencia principal en planta baja, mientras que el 20% se asemejará al del balcón (mientras los 10% restantes son espacios sin tratamiento térmico). Las mejoras generales en el confort para los proyectos se han estimado así:

- **El tiempo de discomfort por calor disminuyó en un 67%, con una reducción de 1,25°C en la temperatura máxima interna.**
- El tiempo de discomfort por frío se redujo en un 1%, 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	2023	2024
Enero	7714	7788
Febrero	7504	10470
Marzo	6374	6718
Abril	5625	5337
Mayo	13400	
Junio	17452	
Julio	19680	
Agosto	17793	
Septiembre	11404	
Octubre	6857	
Noviembre	11854	
Diciembre	15848	
Promedio mensual	11792	11226
Consumo anual	141505	134716

Consumo eléctrico: Gracias al aislamiento de la cubierta con pintura acrílica de protección UV, las cargas térmicas se han reducido. Como resultado, los equipos requieren menos energía para funcionar y siendo equipos invertir deben ajustar su consumo de manera automática. Se estimó el consumo anual de 2025 por proyección estadística basándose en los consumos de los meses de enero, marzo y abril de 2024. El mes de febrero fue descartado porque se supone haber consumido más que el habitual en función de un mayor número de actividades y, por consecuencia, de ocupación. Al comparar el consumo promedio mensual de 2024 y 2025, se identifica un ahorro promedio del 5%, equivalente a 6 789 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, 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 55% en aire acondicionado. Esto equivale a un total de 12 458 kWh. En las facturas se observa un ahorro de 6 789 kWh. El valor restante de 5 669 kWh está asociado a la energía virtual ahorrada al mejorar las condiciones de confort en un 1% en invierno y un 67% en verano, como se presentó previamente.

6.2. Impacto económico

La implementación del aislamiento térmico con pintura acrílica de protección UV tuvo un costo total de **72 343 246 ARS** o **67 461 EUR**, equivalentes a **69 626 USD¹**, lo que representa un costo de **92 USD/m²**.

Para el análisis económico, utilizamos el precio de la factura energéticas del proyecto que indica un valor de 641 ARS/kWh en febrero de 2025 el equivalente a 0,605 USD²/kWh.

1 Tomando como referencia la tasa de cambio del 2 de enero de 2025 (1 EUR = 1,0321 USD), periodo de desarrollo de las obras, https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.pt.html

2 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>



Según el comunicado del Ministerio de Economía³, 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 7 535 USD/año, o 9,9 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 5 348 kgCO₂/año, lo que equivale a 7,04 kgCO₂/m²/año. A lo largo de 10 años, se habrán evitado un total de 53 483 kgCO₂.

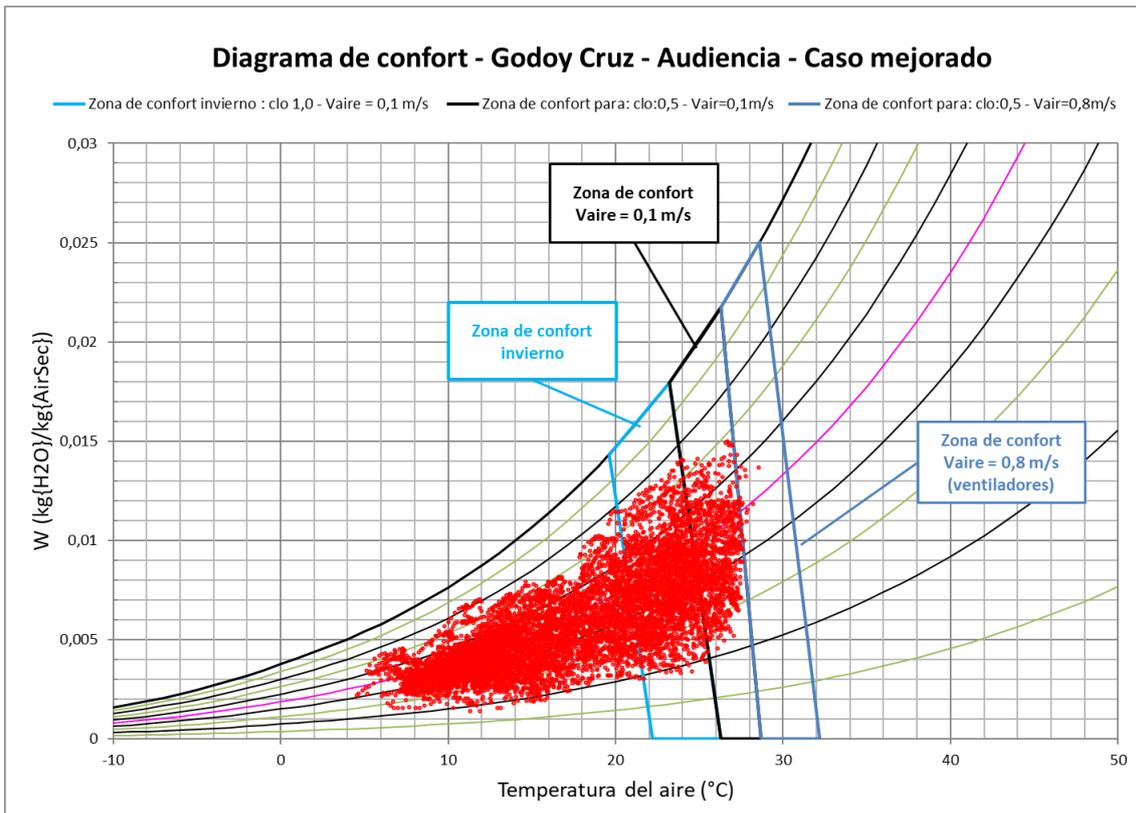
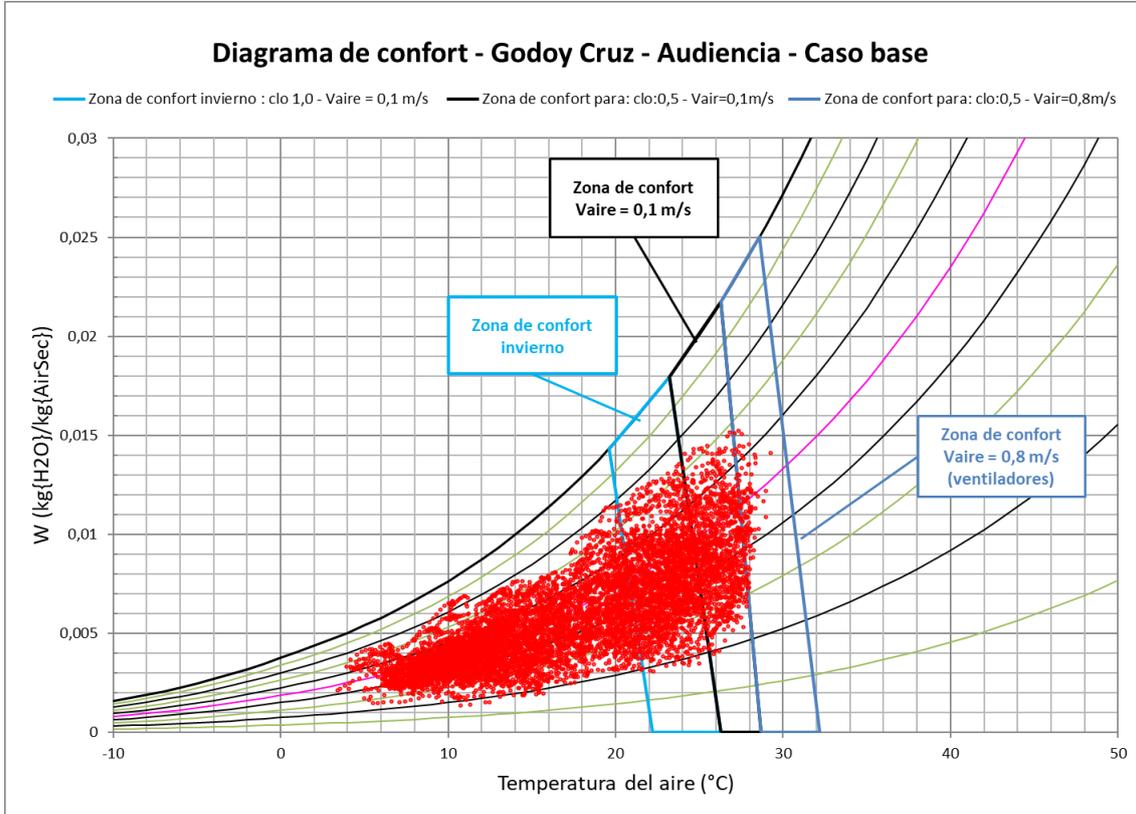
En términos de impacto ambiental, esto significa que por cada 4 m² intervenidos con esta solución, se evitarán emisiones equivalentes al CO₂ absorbido por un árbol maduro al año.

³ <https://www.argentina.gob.ar/noticias/actualizacion-del-precio-del-gas-en-punto-de-ingreso-al-sistema-de-transporte-pist-y>

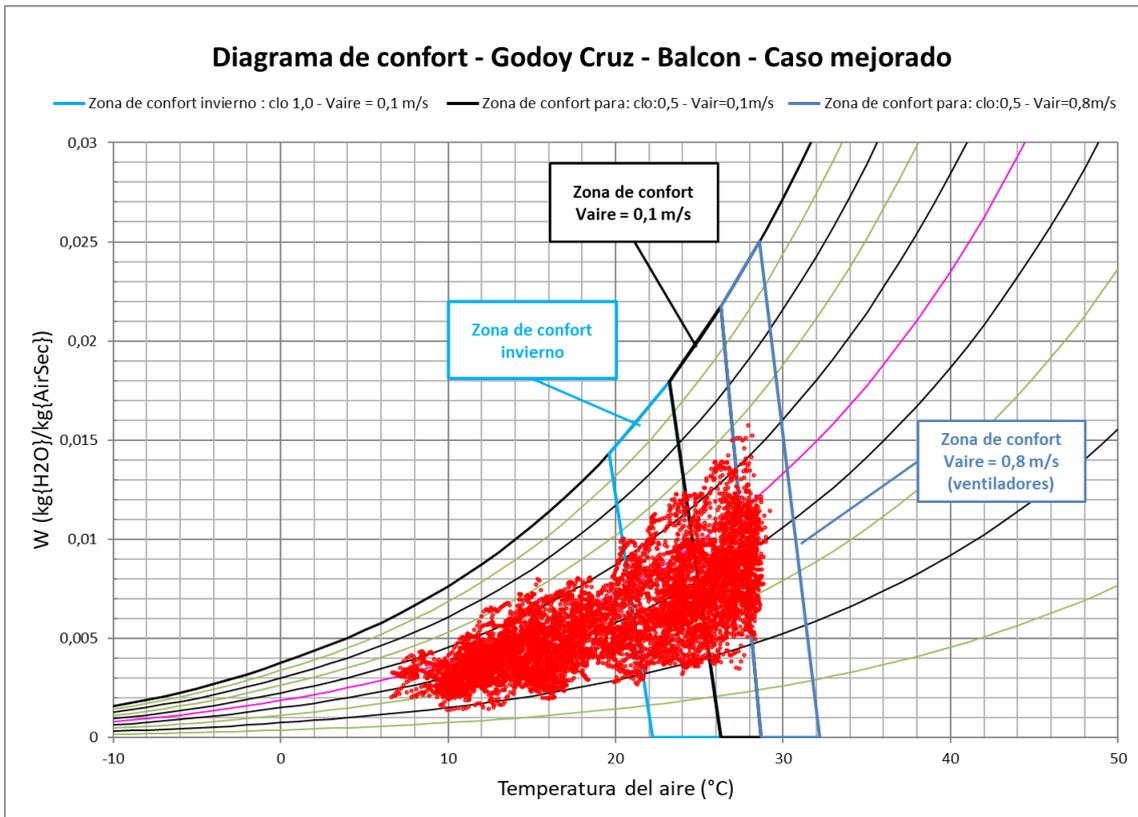
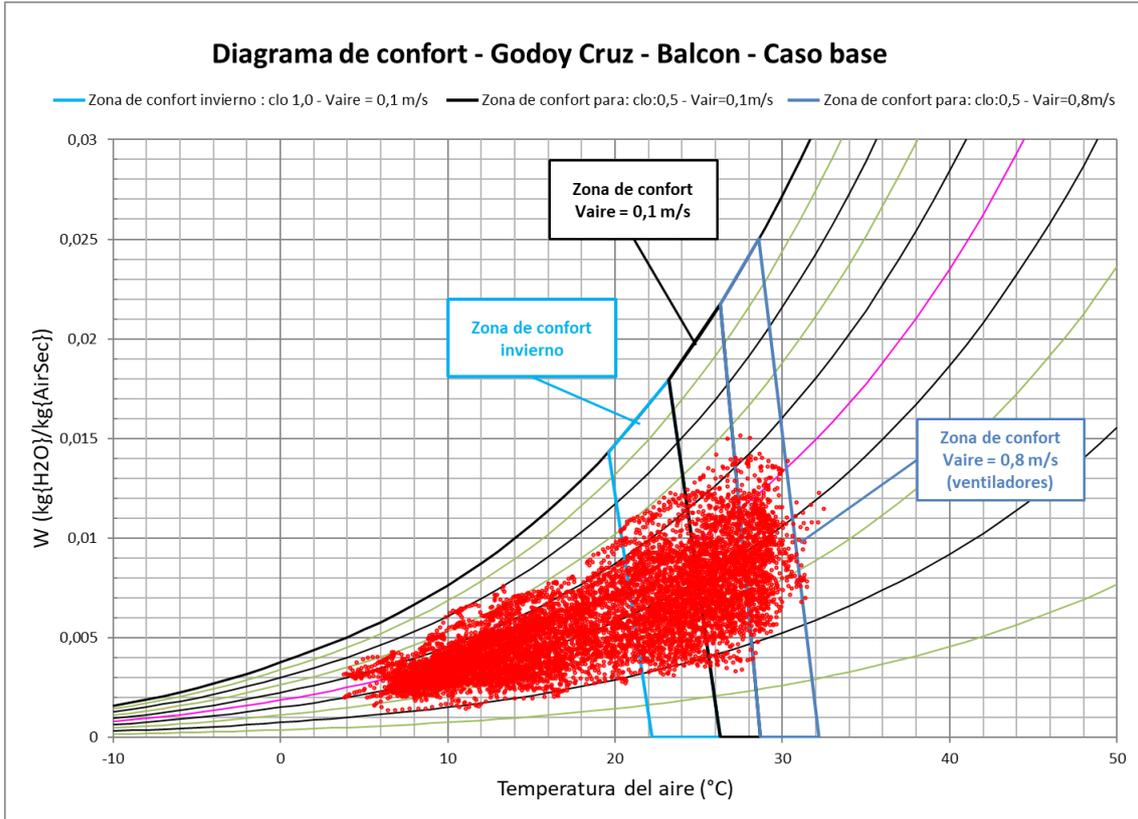
7. Anexos

7.1. Graficas de Confort Caso base y caso mejorado

7.1.1. Sala de Audiencia



7.1.2. Balcón



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