



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

Trabajo Integrador Final

Especialización en Arquitectura y Hábitat Sustentable

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS EN SALA  
MULTIPROPOSITO

Estudio de caso: Sala Multipropósito, establecimiento escolar  
Instituto José Manuel Estrada de City Bell, partido de la Plata

Mariano, Guillermo Omar  
Directora: Dra. María de la Paz Diulio



La Plata 19/03/2019

*Gracias a todos los que me acompañaron e hicieron posible,  
en especial a Nancy por su apoyo incondicional,  
a mis hijos y a Dios por esta oportunidad.*

Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>Enunciado y formulación del problema .....</b>	<b>7</b>
<b>Justificación del área temática de interés .....</b>	<b>12</b>
<b>Marco conceptual.....</b>	<b>14</b>
Edificios Sustentables.....	12
Diseño sustentable.....	13
Diseño bioclimático.....	13
Eficiencia energética.....	14
Confort térmico .....	15
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>4 MEMORIA DESCRIPTIVA DEL EDIFICIO ESCOLAR .....</b>	<b>23</b>
<b>Localización e historia del proyecto .....</b>	<b>23</b>
<b>Sala Multipropósito .....</b>	<b>27</b>
<b>Proyecto bioclimático para la SM .....</b>	<b>28</b>
Ventilación natural .....	29
Aislamiento térmico.....	30
Masa de acumulación .....	31
Iluminación natural.....	31
<b>Otras tecnologías aplicadas .....</b>	<b>33</b>
Sistemas de climatización activos.....	33
Acondicionamiento acústico y diseño AVL .....	33
Accesibilidad universal y seguridad edilicia .....	34
<b>5 ALCANCE DE LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO APLICADAS A LA SALA MULTIPROPÓSITO .....</b>	<b>37</b>
<b>Descripción del procedimiento .....</b>	<b>37</b>
<b>AEA-Fase Evaluativa.....</b>	<b>41</b>

<b>Confort Térmico .....</b>	<b>41</b>
Medición.....	41
Resultados de la evaluación de confort térmico en periodo de calefacción .....	42
Resultados de la evaluación de confort térmico en periodo de refrigeración .....	45
Evaluación subjetiva de los usuarios .....	48
<b>Confort Acústico .....</b>	<b>50</b>
Medición.....	50
Evaluación mediante instrumental .....	52
Evaluación subjetiva por parte de usuarios .....	46
<b>Eficiencia Energética.....</b>	<b>52</b>
Evaluación con Auditcad .....	52
Evaluación a partir de registros y datos de consumo .....	56
<b>Fase Comparativa .....</b>	<b>59</b>
<b>Comparación del desempeño teórico y real .....</b>	<b>59</b>
Comparación invierno.....	59
Comparación verano.....	60
<b>Comparación del desempeño en etapa de funcionamiento con caso análogo .....</b>	<b>61</b>
Comparación invierno.....	64
Comparación verano.....	66
<b>6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO 1 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LA SM.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO 2 MEDICIONES EN SALA MULTIPROPÓSITO.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO 3 ENCUESTA SOCIO-AMBIENTALES .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO 4 MEJORA EN CUBIERTA SM .....</b>	<b>79</b>

## Resumen

Distintas estrategias son impulsadas en el campo de la edificación para diseñar y construir de manera sustentable. Esta necesidad surge de los graves problemas ambientales que enfrenta el planeta en función del agotamiento de sus recursos, poniendo en jaque el sistema de desarrollo concebido hasta hoy. En este contexto se promueve un nuevo andamiaje técnico-constructivo basado en la reducción del consumo energético y la gestión adecuada de recursos para minimizar los impactos ambientales generados en el ciclo de vida de un edificio.

Este trabajo aborda la temática desde la rehabilitación edilicia de un establecimiento escolar perteneciente al Instituto José Manuel Estrada de la localidad de City Bell, que en el año 2007 inicia un proceso de reciclado y puesta en valor de sus dependencias. Dentro de esta intervención se diseña y construye la Sala Multipropósito (SM), la cual incorpora estrategias bioclimáticas con el objeto de alcanzar eficiencia energética y ambiental en su funcionamiento. Una vez inaugurada en el 2015 se decide realizar una auditoría para evaluar si estas cumplen sus objetivos. Los resultados indican que la SM funciona dentro de la zona de confort por largos periodos del año sin aporte de energía adicional alcanzando los objetivos señalados, logrando además revertir la tendencia de consumo que venía registrando el edificio escolar en menos de un 25% por m<sup>2</sup> construido.



# 1 Introducción

## Enunciado y formulación del problema

*El sector de la construcción tiene la responsabilidad de enfrentarse a un reto de cambio hacia la sostenibilidad y de forma inmediata, a su encaje en una economía baja en carbono: la misión de la edificación deberá ser, crear y mantener la habitabilidad socialmente necesaria con la máxima eficiencia ambiental. (Monterotti, Cuchi Burgos, & Serra Florensa, 2013, p. 3)*

Frente al cambio climático, la escasez de recursos energéticos convencionales y el incremento poblacional, se debe actuar de manera consciente y eficaz. En este contexto resulta impostergable abordar la temática de la sustentabilidad desde todos los ámbitos posibles, la edificación es uno de ellos, el cual requiere ser abordado desde múltiples variables. El ahorro energético y la eficiencia de consumo en edificios es una de ellas. Comenzar a desarrollar la temática desde esta variable, permite dimensionar la problemática a enfrentar.

La edificación ha demostrado ser uno de los sectores de mayor demanda de energía desde la década del 60 hasta nuestros días, esto se observa en la Figura 1 la cual indica la distribución del consumo energético en la Argentina a partir de esta década. Los sectores que más han sostenido su crecimiento son el residencial y el comercial/servicios (público). En cambio, el transporte y la industria, han decrecido en términos de demanda.

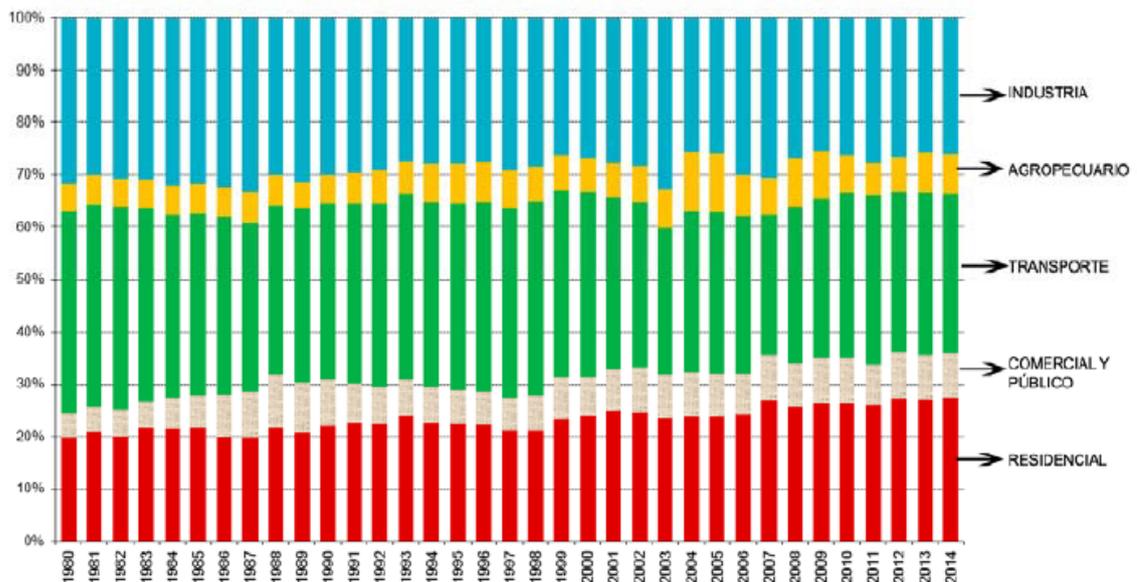


Figura 1. Discriminación por sectores del consumo final de energía en Argentina. BEN 2015

Si se compara el consumo en nuestro país entre los años 1970 y 2017 (Figura 2), el sector residencial ha crecido compartiendo el primer lugar con el sector industrial. Esto se debe a variaciones de estructura productiva y cambios tecnológicos, los

cuales han permitido que el 10% de lo consumido por industrias y transporte sea absorbido por el sector residencial, agropecuario, comercial y público (Margulis, 2014).

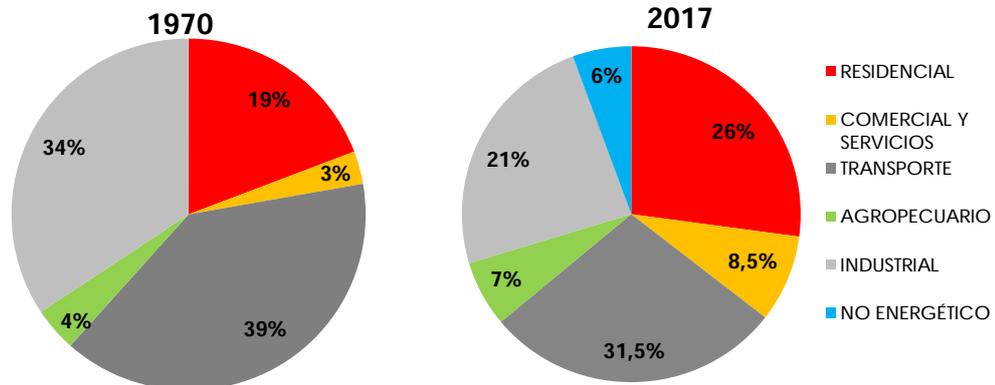


Figura 2. Discriminación por sectores del consumo final de energía en Argentina. Balance Energético Nacional 2017, fuente MINEM

Según el balance 2017 cerca del 40% de toda la energía final de la Argentina se consume en edificios. Solo el sector residencial y comercial y público acumulan el 35%, el resto lo compone parte del industrial que requiere de infraestructura edilicia para su funcionamiento. Si se suma la producción de materiales para la construcción, el consumo en edificios alcanza el 50% (J. Czajkowski, Gil, & Strier, 2017). Ahora bien si se vuelve a observar la Figura 10, el consumo del sector comercial y servicios, al cual pertenecen los establecimientos escolares, ha ascendido en más de un 280% desde la década del 70.

En la Figura 3 se observa el consumo de gas natural y electricidad en edificios de los sectores residencial y comercial/servicios según el balance 2017, estos demandan el 60% y 53% respectivamente, más de la mitad de lo generado por el sistema energético nacional.

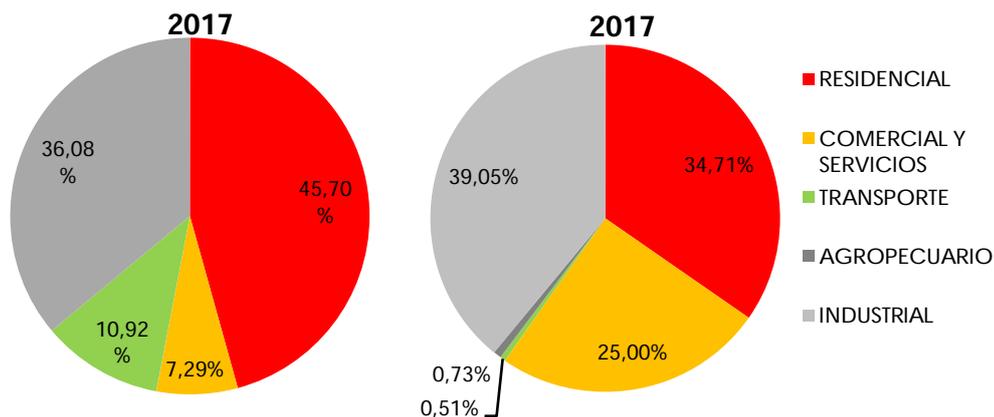


Figura 3: Consumo de gas natural y electricidad en Argentina BEN 2017, fuente MINIEM

A toda esta realidad debe sumarse el costo que representa este consumo para la población. En nuestro país las tarifas en energía han sufrido un aumento significativo en los últimos cinco años, esto ha generado una toma de conciencia del costo real de la energía utilizada en edificios, el cual impacta en distintos sectores de la población sobre todo en la clase baja y media.

En la Figura 4 se indica el costo de la energía eléctrica entre el 2015 y el 2018 en la provincia de Buenos Aires, el cual pasó a valer de \$27.37 KWh a \$143 KWh sufriendo un aumento del 522%, luego de que el estado dejara de subsidiar la energía en nuestro país.

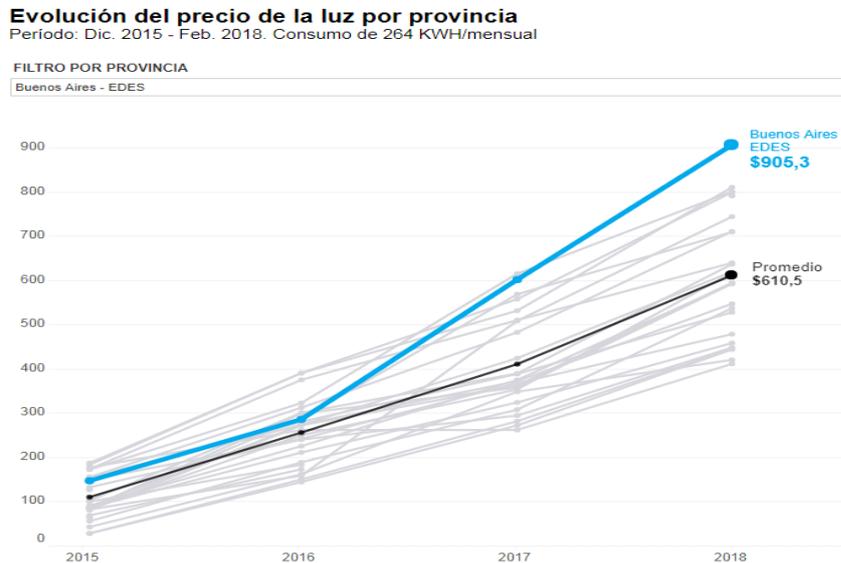


Figura 4: Fuente EDES Bs.As, 2018. Los valores no incluyen impuestos ni tasas

Con el gas natural sucede algo parecido. En la Figura 5 se observa cómo la tarifa ha aumentado entre el año 2000 y 2018, la cual ha sido mantenida y subsidiada con aumento del dólar entre 2010 y 2015, evidenciando un incremento del 450% entre 2015 (0,04 US\$/m3) y 2018 (0,18 US\$/m3) para las tres categorías de consumidores. Este aumento tiene su fundamento entre otros, en la quita de subsidios por parte del estado nacional, siendo absorbidos por los usuarios, en momentos donde la economía doméstica se reciente con el continuo incremento del dólar (Diulio et al., 2018).

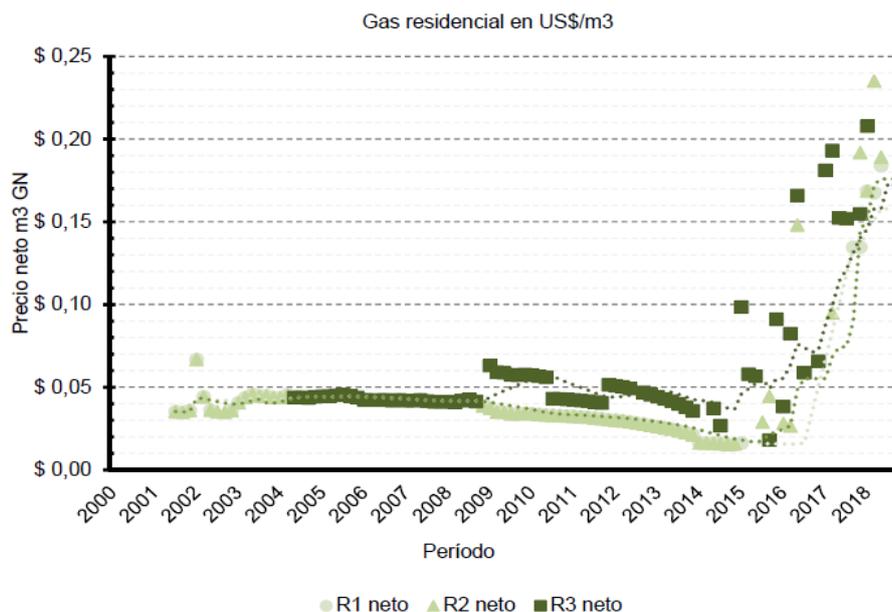


Figura 5: Evolución del precio neto del gas residencial, calculado según el valor del dólar en dicho bimestre. Fuente <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/59272>

Todo esto indica que el sector de la edificación demanda una cantidad considerable de recursos energéticos resultando excesivamente costoso el consumo para la población. Sin embargo, estas dos realidades no sólo preocupan por sus implicancias económicas y sociales. La construcción y el consumo de energía en edificios es el responsable de generar el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo (Construcción Sustentable, 2017), las que producen el aumento de gases efecto invernadero (GEI) que alteran la vida de nuestro planeta. Todo esto agrava y acentúa los efectos del cambio climático y el calentamiento global (IPCC, 2017), situación que termina desembocando en un círculo vicioso a partir de un mayor consumo energético (Figura 6).

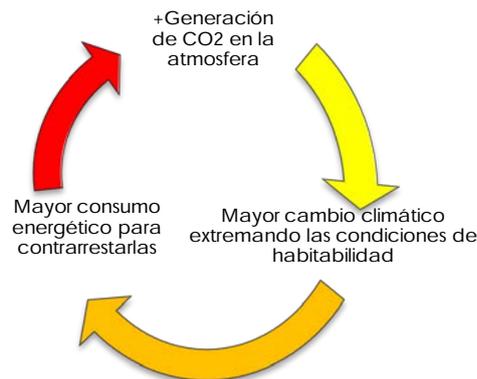


Figura 6: Ciclo cerrado de generación y consumo, elaboración propia

Ahora bien, si se redujera la cantidad de combustible para desarrollar las mismas actividades, se reduciría significativamente el costo de las facturas y la necesidad de crear mayor infraestructura energética, mitigando las emisiones de GEI (Prieto, Lezama, & Gil, 2014).

Por ello el uso racional y eficiente de las energías (UREE), sumado a la generación con fuentes no renovables, contribuye en forma significativa a la problemática planteada, maximizando el aprovechamiento de los recursos naturales y reduciendo los efectos sobre el ambiente. Un dato alentador es el escenario energético planteado para la Argentina 2030 (Aranguren et al., 2017) el cual aplica estas dos estrategias en la demanda de los distintos sectores e indica que el sector residencial, comercial y servicios posee el mayor potencial de ahorro alcanzando el 46 % (Tabla 1 y Figura 7).

	MMtep	%
Residencial y comercial	26,9	45,8
Transporte	13,6	23,2
Industria	11,0	18,7
Público	2,9	5,0
Educación y comunicación (transversales)	4,2	7,3
<b>Total</b>	<b>58,7</b>	<b>100</b>

Tabla 1: Ahorro acumulado según sector de demanda. Años 2017-2030, fuente (Aranguren et al., 2017)

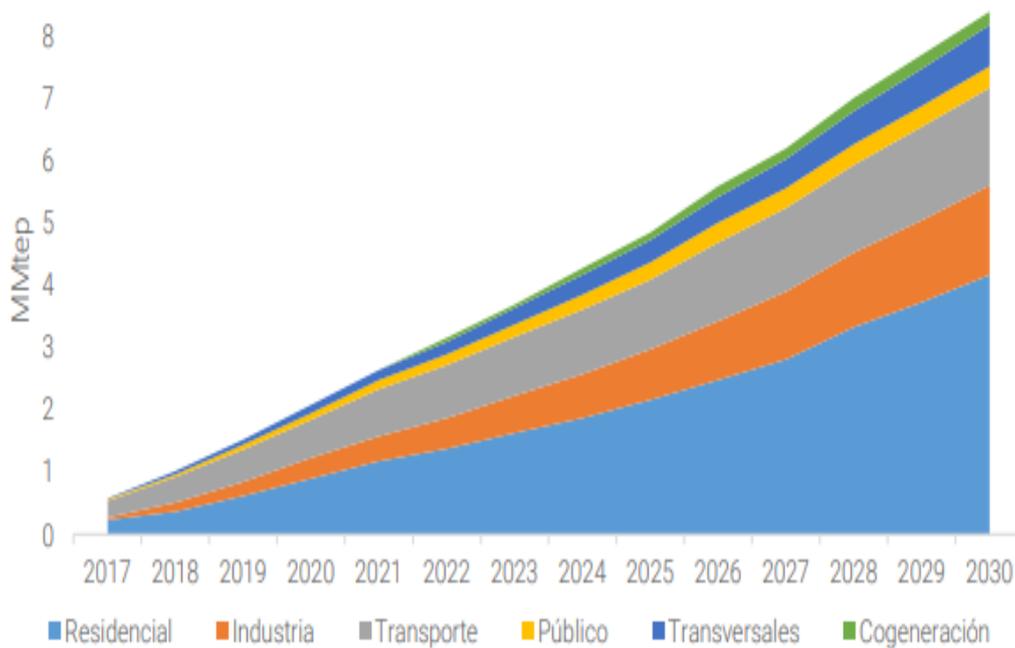
**Gráfico N° 10: Ahorros acumulados por sector**

Figura 7: Escenarios energéticos 2017-2030, fuente SSE y EPySSA y EE-MINIEM

Por estas realidades existe una marcada tendencia en nuestro país y en el mundo para investigar y aplicar métodos en la reducción de energía en edificios, implementando estrategias basadas en el patrón de consumo de los usuarios y la aplicación de estrategias de diseño (Flores Larsen, Filippin, & Beascochea, 2008).

Pero la variable energética no es la única a considerar cuando se proyectan edificios: *“diseñar en forma sostenible también significa crear espacios que sean saludables, viables económicamente y sensibles a las necesidades sociales. Por sí solo, un diseño responsable desde el punto de vista energético es de escaso valor”*(Edwards & Hyet, 2008).

Trasladar esta visión al campo de los conocimientos, habilidades y procesos en la construcción de edificios, es el verdadero desafío que supone un cambio estratégico del sistema técnico constructivo conocido hasta hoy. El cual no

alcanza aplicando o agregando ciertas prestaciones a un edificio, "este cambio deberá ser, crear y mantener habitabilidad socialmente necesaria con la máxima eficiencia ambiental"(Monterotti C. et al., 2013, p. 3), es decir dotar de habitabilidad con los mínimos recursos posibles.

Esto se logra en primer instancia concientizando a los actores de la producción del hábitat en que, además de los aspectos constructivos conocidos, existen una serie de consideraciones que hasta hoy son ignoradas o simplemente evitadas como el ahorro y la eficiencia energética, el uso de materiales de bajo contenido energético, la reducción en la generación de residuos, la utilización de fuentes renovables, todas ellas en función de mitigar impactos ambientales generados en ciclo de vida de un edificio.

El enfoque deberá incidir no solo en las futuras construcciones, también en el parque edificado que es el responsable de generar las actuales emisiones GEI provenientes del sector, ya que se necesitarían décadas para que las nuevas construcciones incidan como lo hacen las actuales.

Por tanto la rehabilitación edilicia es el ámbito adecuado para aplicar los criterios de la edificación sustentable (Arcas Abella, Pagès Ramón, & Casals Tres, 2010), ya que el reciclado y puesta en valor de un edificio existente es una de las estrategias más eficaces debido a que reduce los materiales, la energía a utilizar y la contaminación que supondría construir un nuevo edificio, evitando además los servicios e infraestructuras necesarios para que este se emplace en un nuevo sitio (Pezzi C., 2010).

Dentro del parque edificado se encuentran los establecimientos educativos, cuya infraestructura soporte genera un gasto energético elevado, por envergadura y requerimientos funcionales, lo que hace costosa su manutención. Sumado a esto son construcciones con extensos ciclos de vida, requiriendo de continuas intervenciones para su sostenimiento, convirtiéndolos en pequeñas fábricas de residuos y emisiones GEI. Hacerlos más eficientes desde la utilidad de sus recursos permitiría generar un beneficio ambiental, económico y social no solo para la institución sino para toda la comunidad.

Estas consideraciones han sido tomadas como punto de partida a la hora de diseñar la SM, buscando la mayor eficiencia, no solo en el campo energético-ambiental, sino en el económico apoyado en la inserción social para lograrlo.

### **Justificación del área temática de interés**

*"El edificio escolar es la unidad demostrativa por excelencia, por lo cual se deben procurar los recursos para que desde esta "casa", desde el punto de vista de su infraestructura edilicia provoque el emigrar de correctas soluciones y buenos ejemplos"*

(San Juan & Díscoli, 2003, p. 10.26)

En el partido de La Plata y sus localidades existen más de 1000 escuelas (Buenos Aires Provincia, 2018). La infraestructura edilicia de estos establecimientos resulta deficitaria por varias razones entre ellas el alto costo operativo y de mantenimiento. Esta situación conlleva al deterioro de la calidad de los establecimientos, repercutiendo en la calidad educativa, la cual incide en el desempeño educacional de alumnos y profesores.

Según las metas de la Ley de Educación Nacional N° 26026/06 y del programa "Mas Escuelas" del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios se estima para el año 2025 una necesidad física de infraestructura del millón de metros cuadrados (Cavedo C., 2015), solo para la provincia de Buenos Aires. Dentro de esta demanda se contempla el reciclado de los edificios escolares para absorber los cambios estructurales o los generados por los distintos planes educativos. Esta demanda repercute ineludiblemente en el sector de la educación privada ya que viene absorbiendo parte del déficit de infraestructura estatal: entre los años 2003 y 2013 la matrícula en el sector privado a nivel nacional creció un 33.2% y el estatal en cambio un 19.8% (Cavedo C., 2015).

Sumado a los cambios de infraestructura se debe analizar la incidencia ambiental que poseen los establecimientos en los sitios de emplazamiento, debido a su tamaño y dinámica funcional. Los impactos que generan en su entorno se relacionan con el conflicto de tránsito, la generación de ruidos molestos y el alto consumo energético entre otros.

En general estos establecimientos nacen en barrios urbanos cuya fisonomía cambia con el paso del tiempo, siendo prácticamente nula la interacción que generan con su entorno fuera del ámbito educativo. Buscar alternativas basadas en la inserción socio-espacial mitigaría los efectos señalados, lo que aumentaría la capacidad de resiliencia del barrio, convirtiéndolos en edificios ambientalmente amigables. Esto además permitiría generar oportunidades económicas y sociales que beneficiarían a toda institución y comunidad.

Este trabajo se basa en el estudio de un edificio escolar que ha incorporado unos 2500 m<sup>2</sup> desde el 2008 hasta la fecha, en base a un plan de restructuración para la inclusión de niveles primario y secundario en un mismo edificio. Esta situación sumada a la precariedad de su infraestructura, ha impulsado el reciclado global restando incorporar 1200 m<sup>2</sup>, lo que representa un 30% más de su superficie.

Sin embargo, una de las consideraciones centrales donde halla justificación este trabajo es en el carácter pedagógico que adquiere la construcción de la SM y sus características bioclimáticas, en un contexto marcado por el interés de educar jóvenes en temas ambientales relacionados con el cambio climático, promoviendo el verdadero cambio cultural del cual depende el futuro de sus vidas.

En síntesis, este trabajo rescata la importancia de la rehabilitación sustentable en establecimientos escolares, entendiéndose como un proceso de reconversión

edilicia que propone generar un cambio de paradigma, no solo en la materialización del edificio escolar, sino en su uso y apropiación. Este enfoque ha comenzado a implementarse desde el diseño y construcción de la SM, queriéndose replicar a las futuras ampliaciones del colegio.

Esta iniciativa podría ser replicada en la instrumentación de un plan de gestión integral público o privado, que rehabilite edificios escolares de manera sustentable, posibilitando hacerlos más eficientes desde el punto de vista energético-ambiental, lo que representaría una medida de alcance cultural.

## Marco conceptual

El abordaje de esta temática requiere de un marco conceptual que posibilite identificar criterios y conceptos de la sustentabilidad en edificios dando fundamento al desarrollo del trabajo y los objetivos que se persiguen en él.

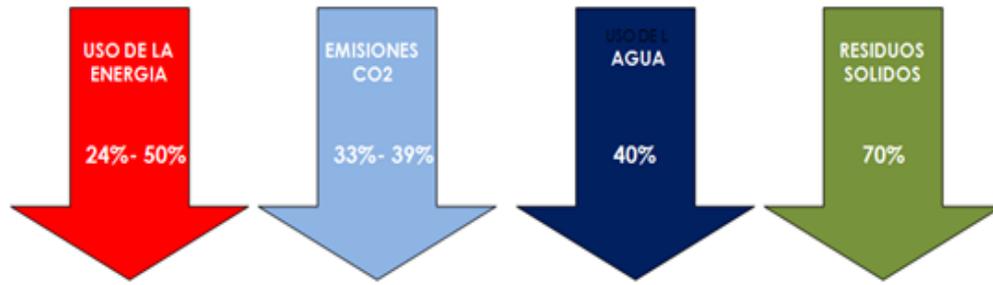
### Edificios Sustentables

Todo edificio sustentable requiere de una adecuada gestión de los recursos, reduciendo los necesarios para la construcción y su posterior funcionamiento, como así también substituyéndolos por renovables, reciclándolos o reutilizándolos (Wadel, Álvarez-Ude, Volpi, & Serra Rocha, 2012). Por lo tanto un edificio sustentable es aquel que alcanza autosuficiencia y eficiencia en el manejo de sus recursos, considerando los valores ambientales, sociales y económicos para lograrlo (Figura 8).



Figura 8. Sustentabilidad y el bienestar humano. Certificación VERDE RH v1.0

La eficiencia ambiental en edificios se alcanza empleando la menor cantidad de recursos no renovables para su construcción, maximiza el retorno sobre la inversión en su ciclo de vida y minimiza el impacto al ambiente. Tomado el criterio utilizado por la certificación LEED V4 BD&C (USGBC, 2014) para edificios en la Figura 9 se observa que un edificio sustentable es el que reduce en promedio:



### EDIFICIOS DE BAJO IMPACTO Y ALTA EFICIENCIA

Figura 9. Edificios sustentables para Certificación LEED (USGBC)

Todos estos criterios reducen el impacto ambiental sobre el ambiente y las personas en el ciclo de vida de un edificio: diseño, construcción, uso y destrucción; contemplando una adecuada gestión de los recursos endógenos y exógenos, esto es los recursos propios del sitio donde se emplaza el edificio y los que requiere para su construcción y funcionamiento, buscando una interacción eficaz entre ellos.

#### Diseño sustentable

Para que un edificio alcance las características señaladas este trabajo adopta la estrategia de diseño DAC, Diseño Ambientalmente Consciente (J. D. Czajkowski & Gómez, 2007) la que se apoya en una serie de premisas:

- Arquitectura adaptada al clima y entorno
- Promover la Eficiencia Energética del edificio, reduciendo el consumo de energía en calefacción, refrigeración, iluminación, equipos, durante toda la vida útil de un edificio, cubriendo la demanda en lo posible con fuentes renovables de energía.
- Utilizar materiales de bajo contenido energético
- Priorizar el costo de construcción y mantenimiento de un edificio
- Lograr confort y calidad ambiental para cubrir la demanda de habitabilidad
- Rehabilitar edificaciones. Reciclar y reutilizar materiales
- Minimizar las emisiones y residuos del ciclo de vida de un edificio

#### Diseño bioclimático

Todas las premisas de diseño bioclimático consideran los recursos que cuenta el edificio en base a las condiciones de emplazamiento y clima donde se ubica. Diseñar de manera consciente, permite gestionar adecuadamente los recursos disponibles, generando una verdadera interacción con el medio que los circunda, busca conseguir confortabilidad optimizando la energía renovable de su entorno,

a través de sistemas de climatización pasivos, es decir sin aporte de energía convencional (Mazria, 1983).

El diseño bioclimático analiza los principios de captación, almacenamiento y distribución de energía solar para cada tipo de clima, teniendo en cuenta cuatro factores de la habitabilidad: temperatura, soleamiento, humedad y viento. En síntesis, se fundamenta en las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento, aprovechando los recursos disponibles, intentando reducir el consumo de energía convencional con el propósito de mitigar los impactos ambientales. Por lo tanto la eficacia de este diseño depende de la interacción del edificio con el medio que lo circunda.

### Eficiencia energética

Es una práctica que busca satisfacer las necesidades de confort reduciendo el consumo de energía. Esta reducción se consigue cumpliendo tres pasos:

1. Hacer un uso racional de la energía. Se estima que por cada unidad no consumida en promedio, se ahorran tres en la generación de energía (Baragatti, 2016).
2. Aplicar distintas estrategias para alcanzar la eficiencia energética
3. Utilización de fuentes renovables.

La Figura 10 pone de relieve la manera de reducir el consumo en energía, donde se infiere que resulta más fácil y económico hacer un uso consciente de la misma.



Figura 10: Pirámide energética para la reducción de consumo. Fuente (Gil, 2018)

La eficiencia energética aplicada al campo de la edificación consiste en usar los mínimos recursos energéticos posibles para lograr el nivel de confort deseado (Prieto et al., 2014). Nivel que será alcanzado con el menor aporte de energía adicional. En síntesis, hacer más con menos, sin alterar la acción.

Por ello la eficiencia energética en edificios se logra a través de tres principios: reducir la demanda, reducir el consumo y utilizar fuentes de energías renovables.

Aquí es donde entran las estrategias de diseño para conjugar estos principios y hacer que un edificio sea sustentable.

## Confort térmico

Confort se asimila al concepto de bienestar y se basa en el grado de satisfacción física y mental de las personas en un determinado ambiente. El confort térmico particularmente considera las distintas variables que influyen en este bienestar basado en el intercambio térmico "hombre-ambiente" contribuyendo a lograr un nivel óptimo de satisfacción.

Existen dos teorías de confort térmico, de Fanger o modelo estático (1970) y confort adaptativo o modelo dinámico. La primera también llamada modelo de balance térmico se basa en estudios de laboratorio para condiciones estandarizadas de temperatura interior, vestimenta y actividad metabólica. Este modelo ha sido adoptado en la mayoría de estándares y ha influenciado por 30 años a profesionales de la construcción en el diseño de edificios y sistemas de climatización, aplicándolo a todo tipo de edificaciones y climas, por lo que ha tenido incidencias directas a nivel global en el orden económico y social (Muñoz Godoy A., 2012).

A partir de las investigaciones de G. S. Brager & R.J. de Dear (2002) se pone en duda la universalidad de este método, desembocando en lo que hoy se conoce como modelo adaptativo el cual se basa en estudios de campo que analizan la adaptabilidad de la persona en ambientes, dependiendo del contexto, el comportamiento de los ocupantes y sus expectativas, para alcanzar confort térmico. *"Una definición genérica del término adaptación podría ser una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación repetida del ambiente"*(Godoy Muñoz, 2012, p. 13). Esta adaptación se logra en mayor medida en edificios ventilados naturalmente que en los de ventilación mecánica (de Dear & Brager, 2002).

En los edificios con ventilación natural las temperaturas interiores tienden a seguir a las exteriores, en cambio en los edificios climatizados artificialmente deben mantenerse dentro de un rango o condición térmica. Esto hace que los ocupantes requieran y esperen ciertas condiciones precisas para alcanzar confort. En cambio el modelo adaptativo afirma que la zona de confort no es estática e introduce, a diferencia del modelo de Fanger, la temperatura exterior media como variable de análisis (Sánchez, Sánchez-Guevara, & Rubio, 2016).

En síntesis la Figura 11 representa la sumatoria de las estrategias basadas en conceptos que contribuyen a hacer sustentables a las edificaciones y que han sido consideradas en el diseño y construcción de la SM.

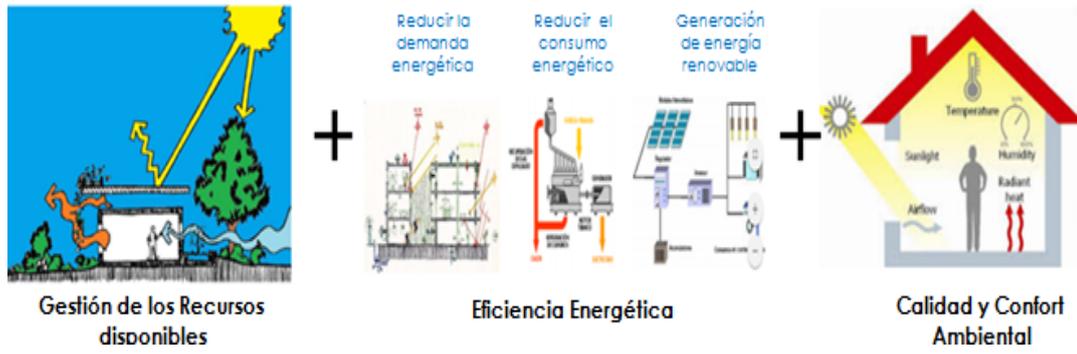


Figura 11. Integración sintética de conceptos que grafica como alcanzar sustentabilidad en edificios, fuente propia

## 2 Objetivos

---

### Objetivo general

Evaluar el efecto de las estrategias bioclimáticas implementadas en la etapa de diseño de la Sala multipropósito

### Objetivos Específicos

- Determinar qué grado de incidencia tuvieron las estrategias bioclimáticas en el consumo energético de la SM y en el resto del establecimiento escolar.
- Comparar las condiciones de temperatura y humedad relativa halladas en la etapa de operación de la SM respecto de las predicciones de la simulación energética.
- Detectar puntos débiles para introducir mejoras en el funcionamiento energético-ambiental de la SM.

La materialización de estos objetivos permitirá abonar las siguientes hipótesis:

1. El diseño bioclimático es una estrategia concreta para reducir costos de operación y mantenimiento de edificios energo-intensivos como los son los establecimientos escolares.
2. La evaluación pos construcción de las estrategias aplicadas a un edificio permite verificar los alcances logrados para mensurar la sustentabilidad alcanzada.
3. Los espacios creados en la arquitectura escolar deben favorecer la integración comunitaria, garantizando una mixtura funcional y espacial, que contenga la dimensión económica, social y ambiental de la sustentabilidad en sus edificaciones.



### 3 Metodología

*"las herramientas para la evaluación de la sostenibilidad ambiental de los edificios pueden y deben tener un rol importante, como apoyo para aumentar la eficiencia del empleo de recursos en la edificación y consecuentemente para fomentar una reducción de sus impactos y dirigir los actores de la construcción hacia la aplicación de nuevos modelos técnicos más en armonía con la Biosfera".*  
(Monterotti C, 2013, pag.4)

Este trabajo procura conocer los alcances logrados a partir de la introducción de estrategias bioclimáticas en su diseño y el grado de incidencia energético-ambiental que tiene en su funcionamiento y en el del resto del establecimiento escolar.

El primer paso ha sido la elaboración del marco teórico conceptual que posibilita el abordaje del trabajo desde la edificación sustentable, cuya aplicación encuentra fundamento en el diseño bioclimático como camino estratégico para alcanzarla. A continuación se presenta el caso de estudio describiéndose en una memoria las características centrales de la SM. Esta sala es la última intervención llevada a cabo en el proceso de rehabilitación edilicia del establecimiento escolar, que comenzó hace 10 años. La memoria incluye el plan maestro de reciclado y puesta en valor del colegio, con un apartado específico de la SM y sus características constructivas.

Una vez conocido el proyecto y materialización de la SM, se avanza en la concreción del objetivo central del trabajo que es evaluar el efecto de las estrategias de diseño en el edificio construido. Esto se logra verificando el comportamiento energético-ambiental de la SM aplicando una herramienta específica en evaluación y valoración de sustentabilidad en edificios: la Auditoría Energética Ambiental (AEA).

Esta herramienta permite hacer una evaluación sistémica e integral desde un enfoque determinativo/correctivo de la SM. La AEA aplicada para este caso se apoya en dos procedimientos metodológicos: Eficiencia Energética Edilicia (Czajkowski, J. D. ,2012) y la norma UNE-EN16247-2 (Unión Europea, 2014).

Con la implementación de la AEA se avanza en la concreción del resto de los objetivos: compararlas condiciones de confort alcanzadas por la SM en pleno funcionamiento respecto de las predicciones de la simulación energética de proyecto y determinar qué grado de incidencia tienen las estrategias bioclimáticas respecto del consumo energético de la SM y del edificio escolar. Estas determinaciones permiten detectar los puntos débiles a fin de introducir mejoras a la SM en función de alcanzar la mayor eficiencia energético-ambiental.



## 4 Memoria descriptiva del edificio escolar

### Localización e historia del proyecto

El edificio escolar pertenece al Instituto José Manuel Estrada (IJME), fundado en el año 1956. El establecimiento se encuentra en el centro histórico de City Bell, en un predio de forma irregular de 2100 m<sup>2</sup>; vinculado a dos arterias, al noroeste con la calle Cantilo (avenida céntrica comercial) y al este con la Diagonal 3, por donde se ingresa al colegio.

La localidad de City Bell nació en el año 1913, consolidándose como zona de quintas y viviendas de fin de semana para los habitantes de la ciudad de La Plata, debido a las condiciones naturales y paisajísticas del lugar. Con la llegada del ferrocarril y la infraestructura urbana comenzó a poblarse de manera permanente. Las viejas casas y quintas de la zona céntrica se fueron adaptando a la nueva fisonomía comercial, cultural y social de la localidad, lo que la ha llevado a tener un estilo propio, diferenciándose particularmente de la ciudad de La Plata (Figura 12 y Figura 13).



Figura 12: Ubicación de City Bell y vista de la Calle Cantilo desde sus inicios



Figura 13: Centro comercial de City Bell en los alrededores de la escuela, elaboración propia

En el año 2007 la Institución decide unificar los niveles primario y secundario en una sola sede, ya que contaba con un edificio para cada nivel. En un primer momento se evaluó abandonar este lugar en busca de un lote más amplio, pero la trayectoria institucional enraizada en este sitio, determino seguir creciendo en pleno corazón de City Bell.

Desde sus principios, el viejo edificio escolar se fue conformando con la compra y reciclado de viviendas linderas a su lote, las cuales se fueron anexando sin una idea rectora que pudiera darle una clara identidad espacial (Figura 14). La suma de espacios laberínticos, la falta de infraestructura adecuada y la creciente demanda, impulsaron el proceso de rehabilitación, re funcionalización y puesta en valor del establecimiento.



Figura 14: Ubicación del predio y antigua foto del colegio y su patio, previo a la ejecución del nuevo proyecto, fuente propia

Teniendo en cuenta esta realidad, se proyectó un edificio en etapas que pudiera alcanzar en pocos años una nueva fisonomía y un salto cualitativo de toda su infraestructura, basado en una fuerte identidad edilicia, de carácter pedagógico y comunitario.

En la Figura 15 se muestra el plan de obras llevado adelante desde el año 2007 hasta la fecha, ya que el proceso rehabilitatorio no ha terminado.

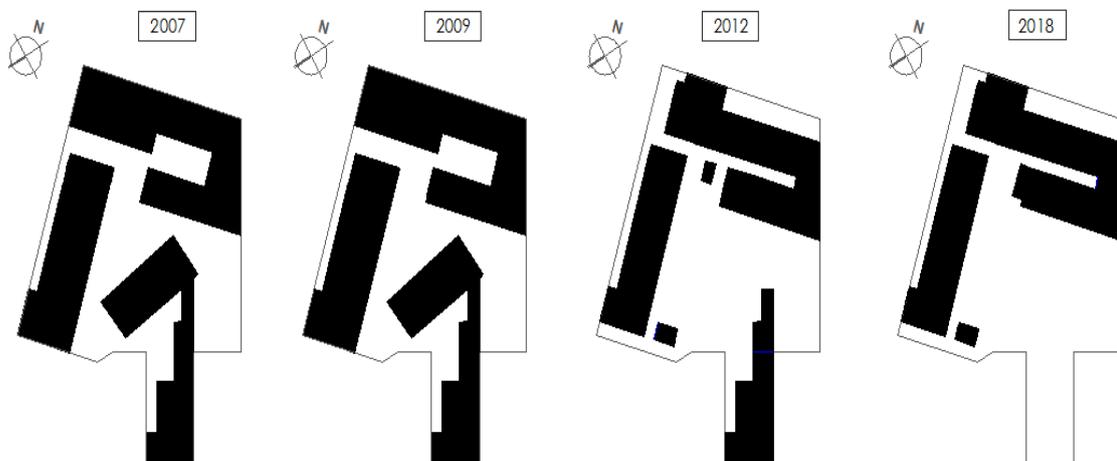


Figura 15: Plan Maestro de rehabilitación edilicia ejecutado hasta el momento, elaboración propia

El programa de necesidades se estructura en dos áreas específicas, una pedagógica y otra cultural. La primera corresponde al edificio escolar propiamente dicho, la segunda a la creación de un Centro Cultural.

El colegio se proyecta para 3700m<sup>2</sup>de superficie cubierta, pensado para albergar a 540 alumnos por turno y nivel. El área pedagógica cuenta con 28aulas, laboratorio, sala de música, computación, biblioteca, capilla y 2 patios. Se anexa a esta los servicios básicos comunes y la administración.

El Centro Cultural, en cambio, posee 1400 m<sup>2</sup> y al cual pertenece la Sala Multipropósito (SM), el patio central del colegio (también sirviendo a estos fines), un auditorio/cine, radio FM y locales comerciales.

El edificio escolar se inserta en el predio conformando una "L", abriéndose hacia el patio central. Recostado sobre la Diagonal 3se ubica el sector pedagógico y administrativo del edificio, alcanzando los 3 niveles de altura. Las aulas en planta baja poseen una galería que sirve de transición con el patio central. En la otra ala perpendicular a esta arteria se halla el resto de las áreas pedagógicas, el sector de servicios y el núcleo vertical (escalera y ascensor)que une a los dos edificios y el subsuelo donde se encuentra la SM (Figura 16 y Figura 17)



Figura 16: Vista Área frente (Diagonal 3) y vista Área patio, elaboración propia

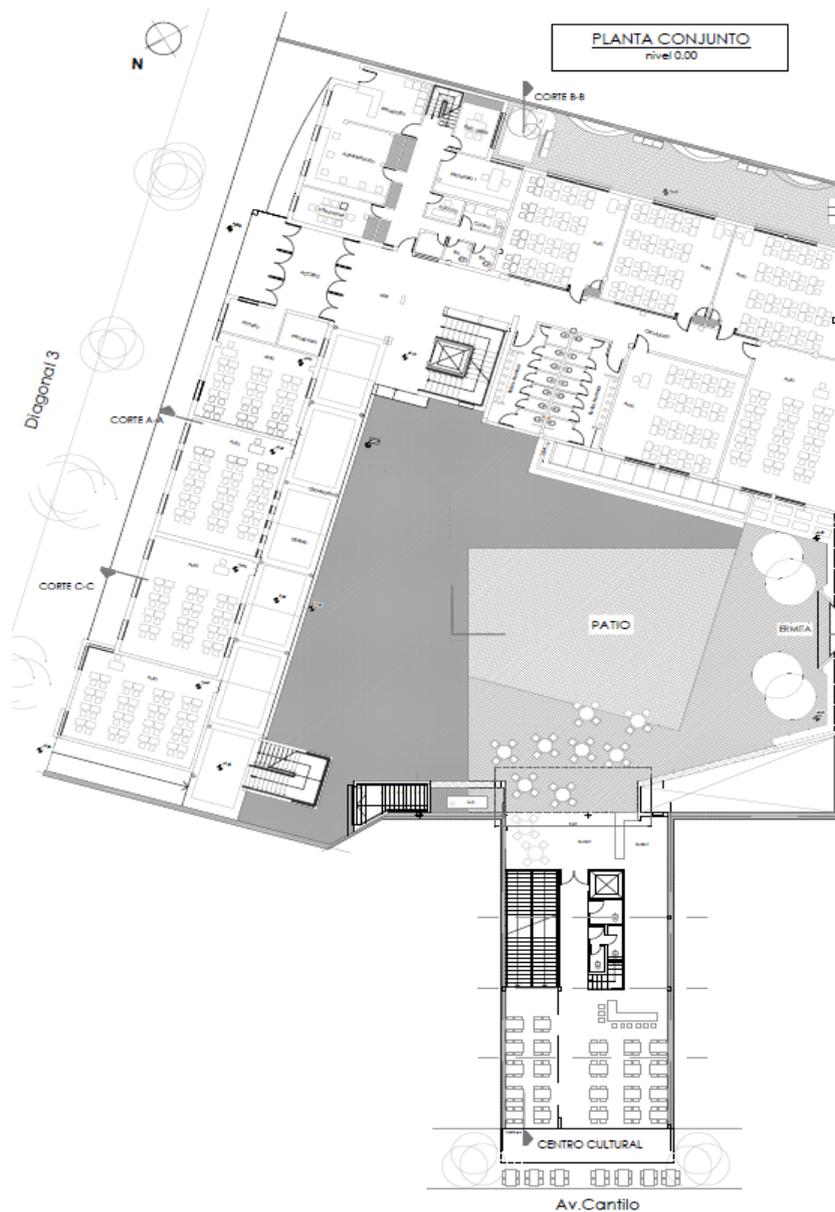


Figura17: Planta Baja del edificio escolar y Centro Cultural, elaboración propia

El Centro Cultural se ubica en la única parcela frente a Cantilo, pensado para ser un espacio integrador del colegio con la comunidad citybelense. En él pueden converger actividades pedagógicas o culturales, como conferencias, cursos, proyecciones, ferias, o muestras de arte.

El edificio se desarrolla en 3 niveles, subsuelo y dos plantas. La SM se encuentra debajo del patio central del colegio compartiendo el mismo nivel con el auditorio (-4.50 m). Esta localización responde a dos objetivos: aprovechar la ubicación central del predio a fin de interconectar e integrar áreas pedagógicas-culturales y evitar el impacto ambiental que puede ocasionar este edificio en su entorno debido a su envergadura. La planta baja del centro cultural posee un zócalo comercial, siendo este un edificio conector de la avenida Cantilo con el patio del colegio, el cual posibilita su anexión para desarrollar actividades culturales como ferias o muestras. El centro cultural puede albergar a 1500 personas (Figura 18).

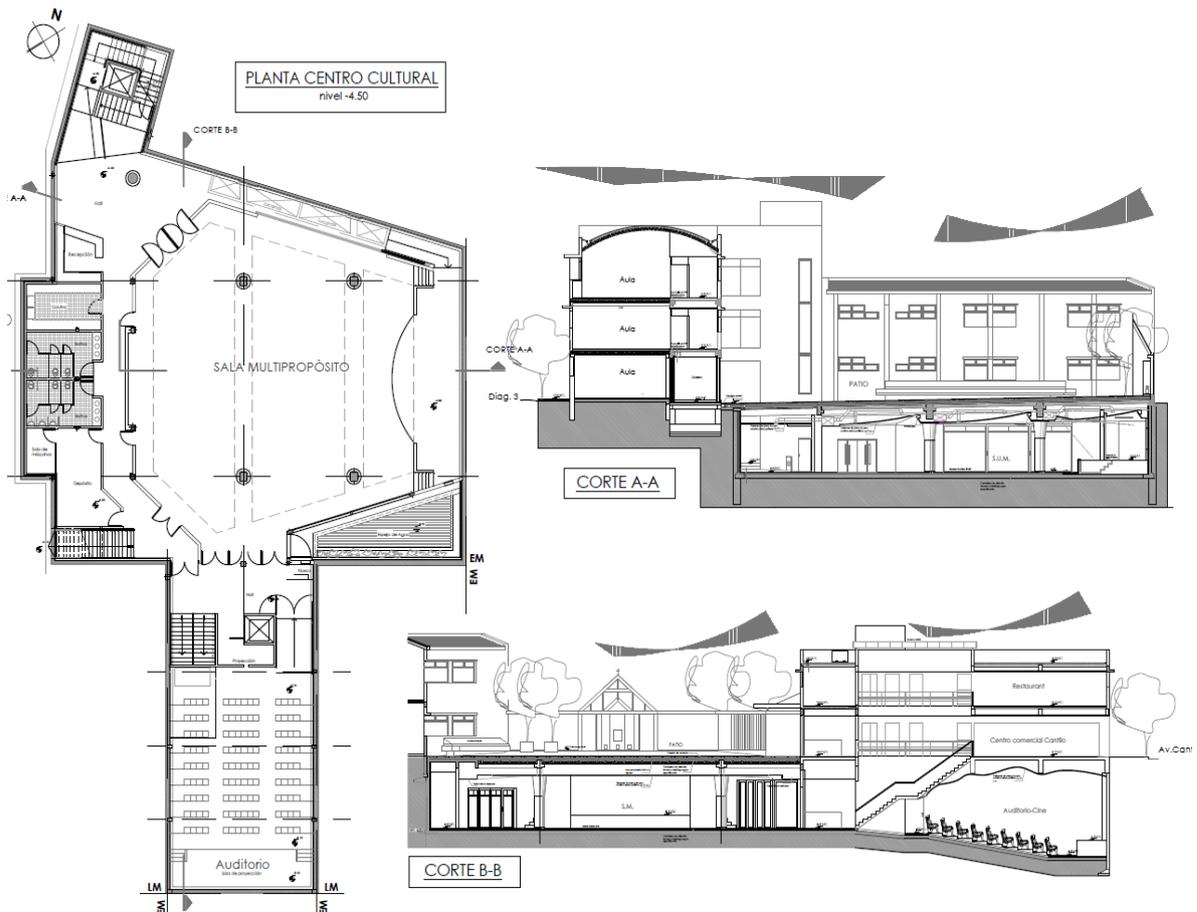


Figura18: Planta y cortes principales de la Sala Multipropósito y Auditorio del Centro Cultural, elaboración propia

Tanto el edificio escolar como el Centro Cultural no se encuentran terminados. Al colegio le resta incorporar un sector de 6 aulas completando el 3<sup>a</sup> nivel del colegio frente a la diagonal 3. Del Centro Cultural solo está construida la SM, restando anexar el auditorio-cine, los locales comerciales y la estación de radio.

## Sala Multipropósito

La SM, como indica su nombre fue pensada para desarrollar actividades propias del colegio como actos, clases especiales, muestras o bien culturales abiertas a la comunidad. Posee una superficie de 700 m<sup>2</sup> con capacidad para 450 personas sentadas. Este edificio, junto con el patio, puede funcionar simultáneamente con el centro cultural. La SM y el patio han sido terminados en el año 2015 siendo la última intervención de acuerdo al plan maestro.

La SM se apoya en cuatro columnas centrales, que sostienen la cubierta-patio (Figura 19). La sala se encuentra rodeada por una circulación perimetral que conecta los dos foyeres, uno el del establecimiento y otro del centro cultural. Cada uno de estos foyeres posee núcleos verticales independientes brindando así una mayor conectividad, seguridad y accesibilidad universal. Completa este sistema circulatorio, una salida de emergencia hacia la diagonal 3.

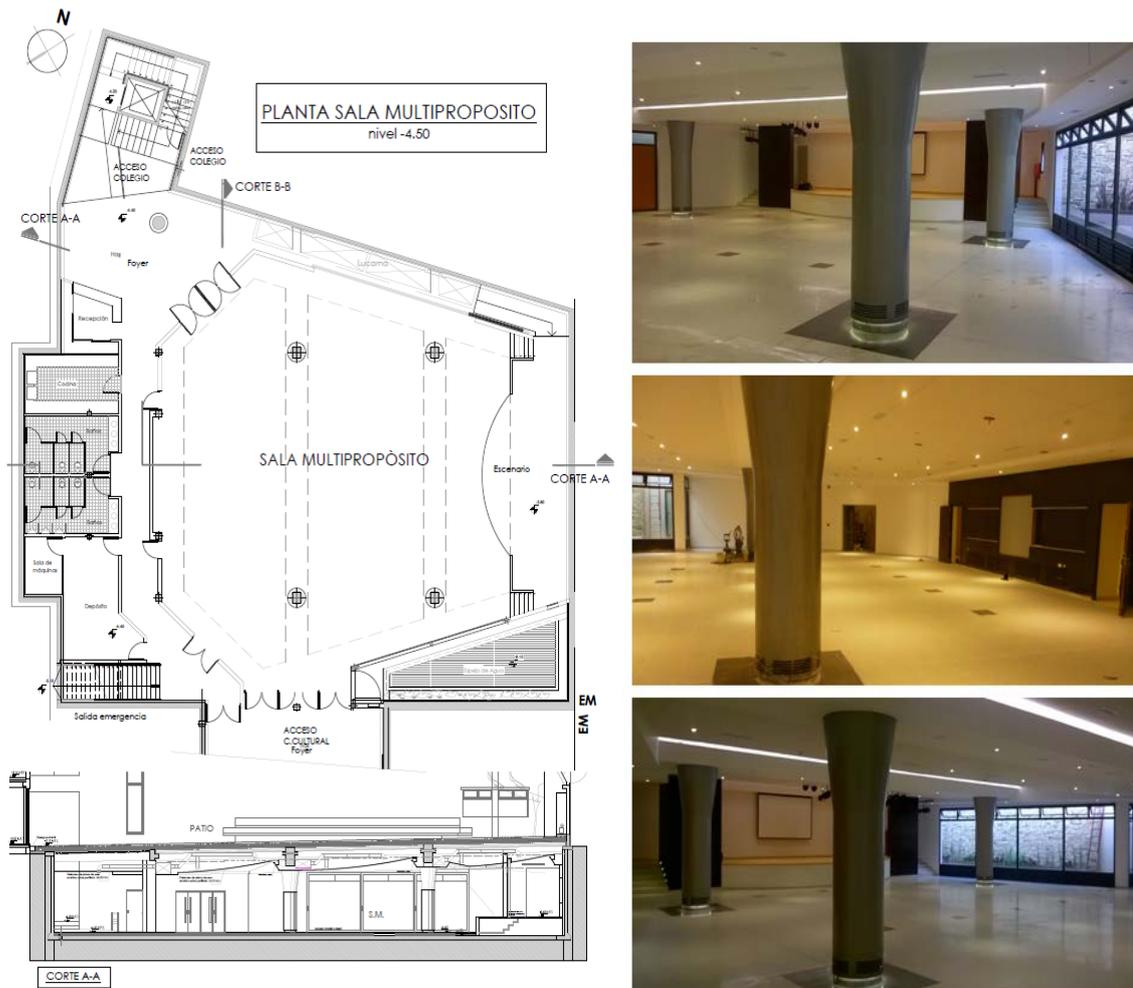


Figura 19. Plano de la SM e imágenes, fuente propia

Del proyecto han participado asesores en distintas disciplinas como: confort térmico, calidad ambiental, eficiencia energética, acústica arquitectónica, sonido e imagen (Audio, Video e Iluminación) y seguridad edilicia. Este trabajo interdisciplinario ha posibilitado el abordaje del diseño, considerando la diversidad y alcance del proyecto, el carácter cultural de la propuesta y las consideraciones ambientales establecidas.

### Proyecto bioclimático para la SM

La SM fue concebida para ser un "edificio de bajo consumo energético", adoptando una serie de estrategias bioclimáticas con el fin de minimizar la demanda y lograr una mayor eficiencia y economía en su funcionamiento, sin resignar confort ambiental. Estas estrategias se basan en utilizar los recursos disponibles del sitio de emplazamiento del edificio en función del clima como la ventilación, la iluminación natural y la tierra. Estos recursos permiten que los sistemas convencionales de climatización sean utilizados únicamente en momentos puntuales del año, ya sea por factores climáticos o de ocupación.

A las estrategias iniciales de diseño se incorporaron las indicadas por el Laboratorio de Hábitat y Arquitectura Sustentable de la UNLP, realizando aportes claves al proyecto original de la SM en etapa de construcción.

Las condiciones climáticas que ofrece el lugar son las indicadas en la Tabla 2.

Ciudad	La Plata	La ciudad pertenece a sub-zona IIIb de la norma IRAM 11603, es la zona templada cálida, se distingue por veranos e inviernos marcados, pero no rigurosos, con temperaturas medias entre 20°C y 26°C durante los veranos, máximas medias que superan los 30°C y temperaturas de diseño de 35 a 36 °C. En invierno: medias entre 8 y 12°C y mínimas medias entre 5 y 8°C. Temperatura mínima de diseño 1°C. La humedad relativa media se encuentra entre 70 y 85 %. Su característica principal es su alto nivel de temperatura durante todo el año con amplitudes térmicas menores a los 14°C. En esta sub-zona se concentra el 60% de la población del país
Latitud	-34°97'	
Longitud	-57°90'W	
Altura s.n.m.	23 m	
Temperatura media (°C)	11,08 °C	
Temp. de diseño mínima invierno (°C)	-2,5 °C	
Temp. de diseño máxima verano	35,5 °C	
Humedad Relativa invierno	83 %	
Grados día de calefacción base 18°C	1210	
Velocidad media del viento	13 kmh	

Tabla 2: Condiciones climáticas de la ciudad de La Plata. Fuente Norma IRAM 11603/11

De acuerdo a los recursos y clima del sitio se definen las estrategias bioclimáticas implementadas en la SM. Estas son: la ventilación pasiva, la aislación de la envolvente, la masa de acumulación térmica y la iluminación natural, operando de manera combinada para alcanzar el confort higrotérmico de la sala.

Se detallan a continuación los aspectos centrales del diseño bioclimático incorporados al diseño de la SM.

### Ventilación natural

Por ubicarse en un subsuelo, la SM requiere de un sistema de ventilación permanente para mantener la salubridad y confort ambiental. En general los edificios en subsuelo aseguran su ventilación a partir de la renovación de aire forzada proveniente de un sistema de climatización. Este edificio tiene en cambio un sistema de ventilación natural en base a rejillas y chimeneas que garantizan la entrada y salida de aire natural de manera permanente. Esto no solo permite ventilar sino climatizar de forma pasiva, economizando el uso y mantenimiento del edificio.

Este sistema aprovecha el ingreso de aire nocturno de menor entalpía debido a la diferencia de temperatura, para hacer el intercambio energético, cediendo el calor acumulado del interior de la SM producto de la ocupación y las actividades del día. Esto se logra utilizando la escalera central a modo de chimenea, generando un efecto de doble flujo. Desde el mediodía hasta las tres de la madrugada la SM puede evacuar naturalmente el aire sobrecalentado y húmedo, para ello requiere del aporte de aire fresco de una segunda ventilación ubicada en la salida de emergencia.

Otro ingreso de aire es a través de una rejilla de ventilación ubicada en el paño inferior de la carpintería que linda con el patio inglés. Este cuenta con una fuente que permite el enfriamiento evaporativo a partir del contacto con el agua para refrigerar refrescando de manera natural el aire antes de ingresar a la SM. Además se suma la existencia de una lucarna lateral ubicada en la cubierta asegurando una ventilación cruzada entre esta y el patio inglés(Figura 20).

Considerando la cantidad de calor que se acumula en el entretecho (entre el cielorraso y losa) se colocaron dos chimeneas solares metálicas a cada extremo del escenario. Esto permite evacuar el aire caliente de la SM y reduce la amplitud térmica de los conductos de aire acondicionado, ahorrando energía y mejorando la capacidad de enfriamiento del sistema.



Figura 20. Imágenes de la chimenea escalera central, ventilación lateral patio inglés y lucarna lateral

De esta manera se regulan tres zonas térmicas: la sala central, la circulación perimetral y el entretecho, previéndolas distintas épocas del año con el propósito de alcanzar condiciones de confort para una temperatura interior en un rango de 17 a 18 °C en invierno y de 24 a 25°C en verano, considerando una carga por ocupación moderada a baja (50-60 persona/día). Esto permite retardar el uso de equipos de climatización activos.

En síntesis, la estrategia de ventilación permite eliminar el exceso de calor y humedad del recinto, en combinación con refrescamiento evaporativo que proporciona la fuente, optimizando el nivel de confort higrotérmico de la SM, sin generar gasto energético alguno.

### **Aislamiento térmico**

En la cubierta de la SM se extremaron las medidas de aislamiento térmico, siendo ésta la cara más compleja ya que se encuentra expuesta continuamente a la radiación solar. Como aislante se utiliza un contrapiso ultraliviano con perlas de EPS de 18 cm de espesor, apoyado sobre placas de EPS de 50 mm de alta densidad. Por debajo de la losa pretensada se encuentra el entretecho que posee un espesor variable de 30 cm que funciona como cámara de aire ventilada. Por encima del cielorraso acústico suspendido se coloca una lana de

vidrio de 70mm de espesor, que posee una doble función la de aislar térmica y acústicamente a la sala.

Las paredes no cuentan con aislación térmica para aprovechar la inercia térmica proporcionada por el contacto con la tierra. En los pisos se colocó aislamiento compuesto por placas de EPS de 30 mm de alta densidad ya que el sistema de calefacción por suelo radiante lo requiere.

Todas las carpinterías, como la lucarna lateral y el cerramiento que linda al patio inglés poseen superficies vidriadas compuestas por DVH tonalizados 4+4+12+4+4. En la Tabla 3 constan los elementos que componen la envolvente y el coeficiente de transmitancia térmica de cada uno de ellos calculados en el ANEXO 1 según Norma IRAM 11601/02.

Componentes de la Envolvente	Coef. Transmitancia Térmica K (W/m <sup>2</sup> k)
Muro contacto con Tierra	0,86
Cubierta Sala	0,17
Cerramiento Lucarna-Patio Inglés	2,59

Tabla 3: Transmitancia de los componentes envolvente según ANEXO 1, elaboración propia

### Masa de acumulación

Producto de la inercia térmica que se genera dentro del edificio al estar enterrado manteniendo una temperatura estable entre los 16 y 18°C debido al contacto con la tierra, esto posibilita diferenciar la temperatura exterior de la interior facilitando entrar con facilidad en la zona de confort. En invierno, una vez que deja de funcionar el sistema de climatización, puede mantener la temperatura interior por varias horas debido a esta inercia. En verano logra mantenerse fresco el ambiente antes de encender el sistema activo dependiendo en todo caso del grado de ocupación de la sala.

### Iluminación natural

El ingreso de luz natural se produce por dos sitios: la lucarna y el patio inglés (Figura 21). La primera se orienta noroeste permitiendo el ingreso de rayos solares en forma directa e indirecta, ya que se enfrenta a una pared blanca de dos niveles que sirve de pantalla difusora, reflejando la iluminación hacia el interior. El patio inglés recibe el sol de toda la tarde, ya que se encuentra ubicado al noroeste. De esta manera la SM recibe el sol de mañana y tarde logrando que el edificio quede iluminado durante el día. Este recurso persigue dos objetivos: mejorar la calidad ambiental de un edificio enterrado y un ahorro sustancial de energía eléctrica en iluminación.



Figura 21. Imágenes de día de la SM, elaboración propia

En Figura 22 se observa el esquema de funcionamiento bioclimático con todas las estrategias incorporadas al edificio.

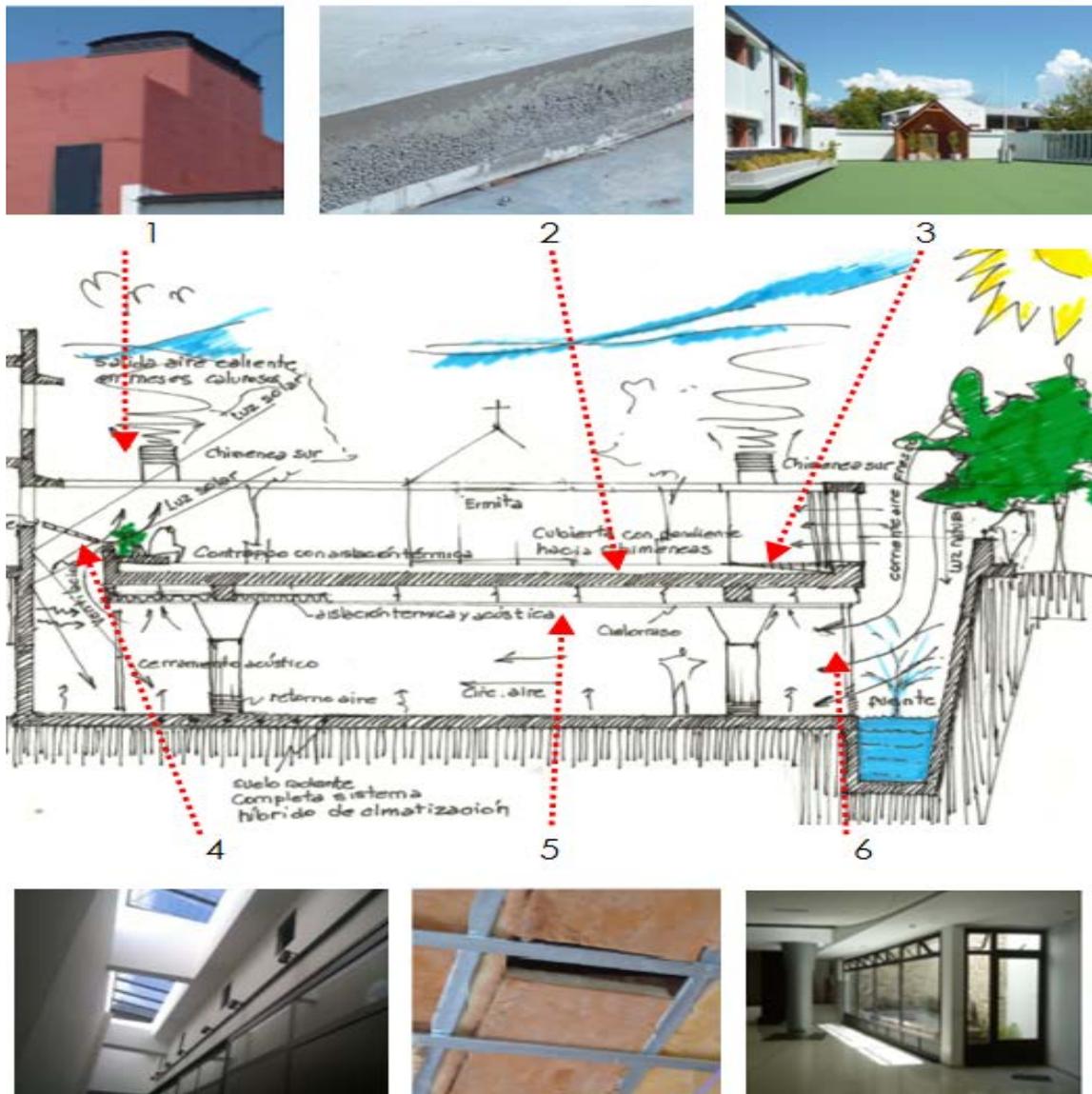


Figura 22. Esquema funcionamiento bioclimático SM: 1.Chimenea y ventilaciones, 2. Aislación cubierta, 3.Patio-cubierta, 4. Lucarna, 5. Aislación cieloraso acústico, 6. Ventilación patio ingles, elaboración propia

## Otras tecnologías aplicadas

### Sistemas de climatización activos

En determinadas circunstancias los sistemas pasivos no llegan a cubrir las necesidades de confort higrotérmico de la SM, para ello se diseñaron sistemas de climatización activos. Por ejemplo, en verano, cuando las temperaturas son superiores a los 30°C y existen elevadas cargas internas por ocupación, se dificulta alcanzar las condiciones de confort mediante las estrategias pasivas mencionadas.

Esto ocurre cuando se reúnen 400 a 500 personas realizando actividad moderada, generando una carga de 28 a 35 kWh promedio que requiere un sistema de refrigeración para ser extraída. Se adopta para climatizar la SM un sistema de aire acondicionado central con dos equipos tipo Roof top de 20 TR de potencia por cada uno.

En invierno, en cambio, el edificio goza de temperaturas cercanas al confort con abrigo ligero, y las cargas internas mejoran esta condición, pero cuando este recurso no alcanza, se activa el sistema de calefacción, que consiste en un piso radiante alimentado por agua caliente generada con dos calderas murales de baja potencia (2 x 16.000 kcal/h) a gas natural. Este sistema climatiza toda la superficie de manera homogénea como una gran placa radiante. Este recurso puede ser utilizado también para climatizar en verano pero recirculando el agua de la fuente para refrescar el ambiente.

### Acondicionamiento acústico y diseño AVL

El diseño de la SM contempla un especial tratamiento acústico, basado en estudios que optimizan su comportamiento. Se busca alcanzar el control del nivel de ruido del edificio y el diseño del campo acústico interior de acuerdo a sus funciones. Este acondicionamiento se materializa con el diseño del cielorraso, en base a una estructura flotante y placas de roca de yeso microperforadas. El diseño con curvas en abanico hacia el escenario consigue fluctuaciones en las distintas bandas de frecuencia, rompiendo al mismo tiempo con la morfología regular de la SM (Figura 23). Esta acústica posibilita utilizar la SM para conciertos, coros, festivales o conferencias, permitiendo alternativas de uso. Este tratamiento incorpora la aislación necesaria para controlar y minimizar las emisiones de ruido al exterior para evitar el impacto en su entorno inmediato.



Figura 23 Sistema cielorraso acústico

El edificio cuenta además con un diseño de vanguardia en audio, video e iluminación (AVL) que busca ampliar la calidad en la prestación de servicios que cuenta el edificio, en base a un sistema de audio de funciones múltiples, automáticas e inteligentes aplicada al audio, video y proyección, datos, control, cobertura Wi-Fi local para accesibilidad de operaciones y mantenimiento, control de iluminación escénica, sistema de traducción simultánea con asistencia para personas con hipoacusia. El equipamiento técnico es aplicable a instalaciones artísticas, audio-visuales, interactivas y de espectáculos.

Las condiciones de diseño de la SM permiten lograr con 300 watts una amplificación que en ambientes normales se alcanza con 2000 watts. Toda la iluminación artificial, el audio y el video de la SM se encuentra sincronizada con este sistema, manejado con dos dispositivos Rack AVL, uno en el escenario y otro en el contra escenario para el manejo a distancia para conciertos o presentaciones de bandas musicales (Figura 24 y 25).

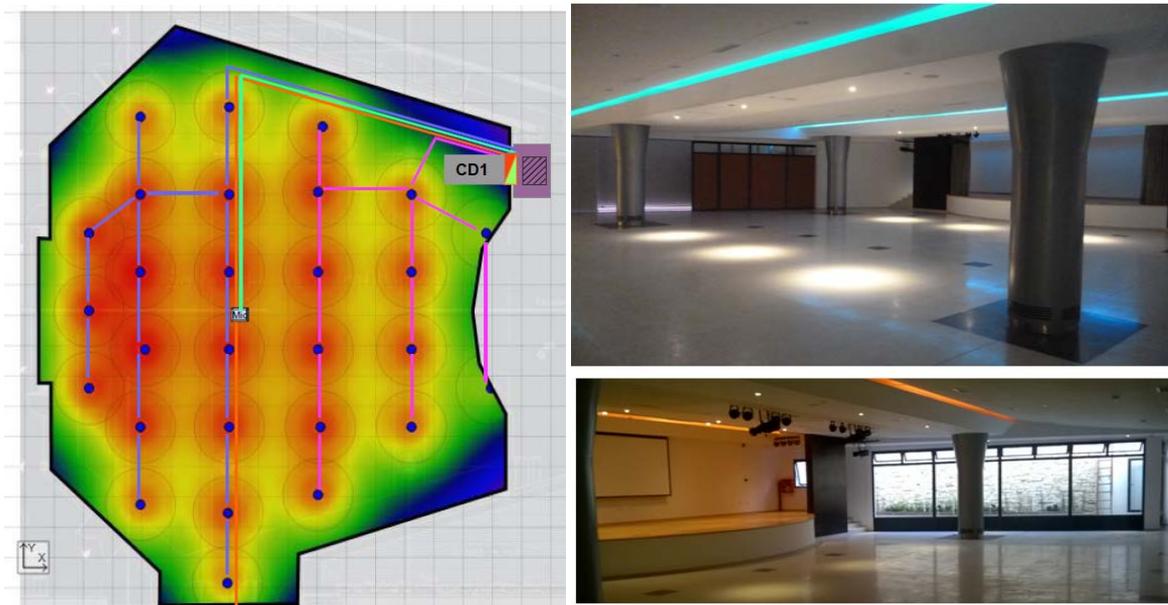


Figura 24. Esquema y disposición de parlantes audio. Figura 25. Detalle de la iluminación, elaboración propia

La iluminación fue diseñada con artefactos Led en su totalidad, constituyendo un aporte concreto en el ahorro energético, evitando generar además con este tipo de luminarias un aporte mayor de calor en el interior de la SM. Existen dos tipos de iluminación una cenital ubicada en las gargantas lineales del cielorraso y otro local con equipos multiposición (Figura 24).

### Accesibilidad universal y seguridad edilicia

Con respecto a la seguridad y accesibilidad edilicia, se cumplen estándares como la Ley 962/03 vigente en CABA para la seguridad y accesibilidad física de personas con necesidades especiales. Los sistemas circulatorios compuestos por escaleras y ascensores que interconectan los distintos niveles eliminan las barreras arquitectónicas a fin de permitir el desplazamiento en todos los niveles en silla de ruedas y por personas no videntes, en pos de lograr una accesibilidad universal.

La SM cuenta además con una red contra incendios provista por un sistema de detección y alarma sonora y luminica que permite la evacuación frente a siniestros. En la actualidad existen dos salidas de emergencia a la que se sumara una tercera con salida a la calle Cantilo una vez concluido la totalidad del centro cultural. El sistema de extinción de incendios se compone de una red de hidrantes y rociadores automáticos (sprinklers) instalados en toda la superficie del cielorraso. Este sistema cuenta con una cisterna de 4000 litros ubicada debajo de la fuente que abastece al resto del sistema cubriendo todas las plantas del establecimiento escolar, brindando seguridad a la totalidad del establecimiento escolar.



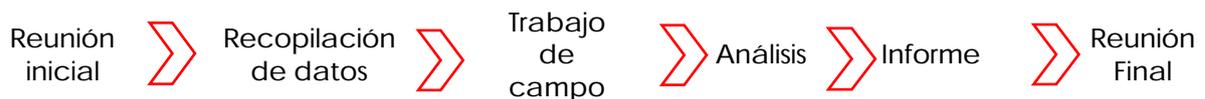
## 5 Alcance de las estrategias de diseño bioclimático aplicadas a la Sala Multipropósito

### Descripción del procedimiento

La Auditoría Energética Ambiental (AEA) permite evaluar si las estrategias implementadas han sido eficaces en base a un estudio técnico que verifica la performance del edificio desde cuatro puntos de vista: funcional, energético, confort y calidad ambiental. Este estudio se realiza a través de relevamientos, encuestas y mediciones de campo. Obtenida la información, se evalúa los resultados haciendo análisis cuali-cuantitativos y comparativos para diagnosticar el comportamiento del edificio (J. D. Czajkowski, 2012).

Existen variados procedimientos para realizar auditorías en edificios. Este trabajo se apoya en dos de ellos: la norma europea UNE –EN16247-2 y el instrumentado en la investigación para el análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana (CEN, 2014; J. D. Czajkowski, 2012).

La norma UNE brinda un servicio a instituciones con el fin de identificar oportunidades, desde la mejora de la eficiencia energética de un edificio, hasta poder diseñar un sistema de gestión de la energía para todo el edificio y su manutención. La instrumentación de la norma la realiza un auditor energético, siendo el intermediario entre la autoridad de aplicación de la norma y la institución del edificio. El procedimiento de la auditoría se estructura de la siguiente manera:



Este procedimiento busca:

- Reducir consumo de energía y costes
- Reducir el impacto ambiental
- Cumplir con las legislaciones o normas de carácter voluntario

De esta manera se evalúa el desempeño energético de todo el edificio para luego identificar las oportunidades de mejora a introducir. Los resultados obtenidos se contrastan con indicadores de desempeño energético de referencia en edificios según el caso. Este procedimiento al estar estructurado mediante una guía metodológica, facilita su utilización y posibilita llegar a resultados de manera consensuada entre el comitente y la institución. Esto conduce a una mayor celeridad en la instrumentación de los cambios a introducir en el edificio para mejorar su eficiencia.

La auditoría para el análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana- AEA(J. D. Czajkowski, 2012) permite analizar el comportamiento del edificio respecto del uso de la energía y confort, determinando claramente dos ciclos de estudio:

- A) El ciclo energético, describe la situación actual del edificio, haciendo un análisis de costes y usos comprobando la gestión energética. Una vez que se verifica se pasa a la fase de propuesta o mejora, identificando dónde y cómo debe corregirse, en caso de necesitar hacerlo(J. D. Czajkowski, 2012).
- B) El ciclo ambiental, íntimamente ligado al concepto de confort, comprende un conjunto de propiedades y características del edificio que deben satisfacer las exigencias de sus ocupantes. La mayor importancia reside en el confort higrotérmico, acústico, olfativo y visual de los ocupantes del edificio(J. D. Czajkowski, 2009).

La AEA permite:

- Cuantificar los consumos de energía
- Discriminar la energía por vectores y usos
- Conocer el nivel de satisfacción de confort de los usuarios
- Conocer las condiciones de confort ambiental (temperatura, humedad, iluminación, ruidos, calidad del aire interior, contaminantes, etc.)
- Determinar las acciones a seguir para mejorar el comportamiento del edificio y cuantificar emisiones.
- Conocer el costo e impacto ambiental del edificio en su vida útil (Análisis del Ciclo de Vida)

La auditoría se estructura en tres pasos metodológicos:

- Trabajo de campo
- Trabajo de Gabinete
- Conclusiones

El Trabajo de campo consiste en el relevamiento de las instalaciones, colocación de instrumentos de medición para realizar los distintos monitoreos, relevamiento lumínico, registro de los consumos mediante el análisis de facturas de medidores de gas/electricidad y realización de encuestas socio-ambientales. Durante el trabajo de gabinete, el auditor energético recoge las mediciones obtenidas y la información del consumo energético de la sala proveniente de las facturas y las encuestas socio-ambientales, y analiza toda la documentación para luego arribar a los resultados.

Al igual que la norma UNE, esta metodología evalúa y compara los resultados obtenidos con los indicadores de desempeño energético-ambiental, en este caso, corresponden las normas IRAM 11604,11605 y la Ley Provincial 13059/03(Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2010; IRAM, 1996, 2001;

Legislatura de la Provincia de Buenos Aires, 2003). Como se observa existen muchas coincidencias entre ambos procedimientos que persiguen los mismos objetivos, diferenciándose básicamente en aspectos metodológicos para alcanzarlos.

Para instrumentar la auditoría en la SM se utiliza el procedimiento AEA, ya que abarca no solo aspectos de índole energética sino de confort ambiental adaptadas a nuestro medio local, logrando una evaluación integral del edificio, dejando para una segunda instancia instrumentar los pasos metodológicos de la norma UNE en lo que respecta al informe final y devolución a la institución con los resultados obtenidos de esta auditoría.

La AEA implementada se divide en dos fases, una evaluativa y otra comparativa. En la primera se evalúa el comportamiento del edificio desde el punto de vista energético y ambiental. En la segunda se realiza un análisis comparativo de la SM en dos instancias, una en etapa de diseño y otra en la de funcionamiento. En la Tabla 4 se sintetiza el procedimiento de la AEA, las fases y contenidos de la misma.

AEA	VARIABLE	FASE EVALUATIVA	FASE COMPARATIVA	
		ANÁLISIS	DISEÑO	OPERACIÓN
CONFORT HIGROTÉRMICO	T (°C) y HR (%)	Confort invierno- verano según mediciones y encuestas	Con simulación Energy+	Con caso análogo
CONFORT ACÚSTICO	Decibeles	Reverberación norma ISO 3382/1997 según mediciones y encuestas	-	-
EFICIENCIA ENERGÉTICA-AMBIENTAL	Gas (m <sup>3</sup> ) y electricidad (KWh)	Balance energético Auditcad-Registro y datos de consumo	-	Con caso análogo

Tabla 4: Síntesis de la AEA, elaboración propia

La AEA estudia el comportamiento del edificio en base a tres variables: el Confort Térmico, el Confort Acústico y la Eficiencia Energética-Ambiental de la SM. Cada una es auditada para llegar a un diagnóstico integral del comportamiento del edificio.

La **Fase Evaluativa** analiza:

**Confort Térmico:** a partir de un monitoreo higrotérmico de la sala con dispositivos Data loggers onset Hobo ubicados en distintos sitios de la SM. Estos registran datos de temperatura y humedad relativa dentro y fuera del edificio, evaluando el comportamiento en función de las características ocupacionales de la SM.

**Confort Acústico:** a partir de registrar valores de tiempo de reverberación, parámetro que se utiliza para cuantificar la permanencia de un sonido en un recinto y del campo acústico interior, determinando la calidad acústica de la SM.

**Eficiencia Energética-Ambiental:** utilizando el programa "Auditcad" (J. D. Czajkowski, 2009) que modeliza la información dimensional y tecnológica del edificio a partir de un balance térmico estacional en función de la demanda

energética requerida para el funcionamiento del edificio. Estos valores se comparan con registros de consumo de gas natural y electricidad, determinando pérdidas y ganancias de energía a través de su envolvente.

Al análisis del confort térmico y confort acústico se suma una evaluación subjetiva de los usuarios que completa la evaluación ambiental del edificio, recogidas en encuestas socio-ambientales según el modelo del ANEXO 3. Éstas indagan sobre el grado de satisfacción alcanzado en la SM respecto del confort térmico (NTP 74,1983), acústico, lumínico y ambiental. Las encuestas fueron realizadas en el inicio del ciclo 2018, a 110 alumnos y 11 profesores del ciclo secundario, de un total de 440 y 18 respectivamente. La elección de la fracción encuestada responde a que tanto alumnos como profesores han utilizado por más de tres años la SM.

La **Fase Comparativa** evalúa en instancias de:

**Diseño:** con la simulación dinámica Energy Plus realizada por el Laboratorio de Hábitat y Arquitectura Sustentable (LAyHS) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de Universidad Nacional de La Plata, como parte del asesoramiento de proyecto. Luego de la puesta en funcionamiento de la SM, se comparan las predicciones de dicha simulación con datos monitoreados in-situ.

**Funcionamiento:** comparándola con otro edificio de similares características ocupacionales y funcionales. Se trata de un auditorio construido en la ciudad de Gral. Pico, perteneciente a la Universidad Nacional de La Pampa, evaluado en (Flores Larsen et al., 2008). Una vez inaugurado el edificio se estudia su comportamiento energético haciendo foco en sus características funcionales que son compartidas por la SM: el uso intermitente de las instalaciones y las altas cargas internas debido a factores por ocupación. Este estudio publicado en el año 2008 posibilita extraer datos y realidades del comportamiento del auditorio en comparación con la SM, permitiendo analizar analogías y diferencias de dos edificios que poseen características de diseño bioclimático.

Los resultados obtenidos de la AEA permiten aproximarse a evaluar el grado de sostenibilidad alcanzado por el edificio, proponiendo además medidas correctivas para optimizar la performance de la SM.

## AEA-Fase Evaluativa

### Confort Térmico

#### Medición

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se efectuaron a partir del 2 de mayo del 2015 hasta el día 20 de febrero del 2016, cubriendo períodos de refrigeración y calefacción.

Los registros se realizan mediante sensores de temperatura y humedad relativa con micro adquirentes de datos onset HOBO temp/RH logger. Estos dispositivos se ubican en el centro de la sala y accesos en contacto con la circulación perimetral en función de registrar posibles diferencias térmicas de acuerdo al lugar. Un cuarto sensor se coloca en el patio exterior dentro de un protector de radiación (Figura 26).



Figura 26. Ubicación de los hobos para monitoreo de la sala, elaboración propia

El análisis energético global requiere medir en períodos de 5 a 7 días con una frecuencia diaria, bi-horaria u horaria, en función del tipo de instrumental. Para evaluar el comportamiento energético de los habitantes, se sugiere frecuencias menores o iguales a 15 minutos (J. D. Czajkowski, 2009).

Este monitoreo mide un periodo de seis meses en intervalos de 10 minutos, enfatizando los períodos con ocupación intensiva y con activación o no de los sistemas de climatización. El Anexo II contiene los datos completos.

### Resultados de la evaluación de confort térmico en periodo de calefacción

Las mediciones comienzan el 4 de mayo y finalizan el 15 de julio, día en el que inicia el periodo de receso invernal de ese año. Los registros pertenecen a los sensores H3 y H5 ubicados en sitios de relevancia para el análisis, ya que el primero se encuentra en el sector ventilado naturalmente por la lucarna superior de manera permanente. El segundo, en el centro de la SM, donde existe mayor concentración de público en los eventos.

Entre el 10 y el 23 de mayo la sala cuenta con una ocupación de 50 personas/día. El registro de la temperatura exterior indica una mínima de 5°C y una máxima de 17°C, por debajo de los frecuentes en esta estación. Las temperaturas interiores oscilan entre los 15 y 20°C. Se observa en la Figura 27 cómo la temperatura interior replica la temperatura máxima a horario coincidente con la temperatura interior, pero con menor magnitud, manteniéndose siempre sobre los 15°C. En este período no se activa el equipo de calefacción y la sala adopta temperatura de confort sólo mediante cargas internas de ocupación.

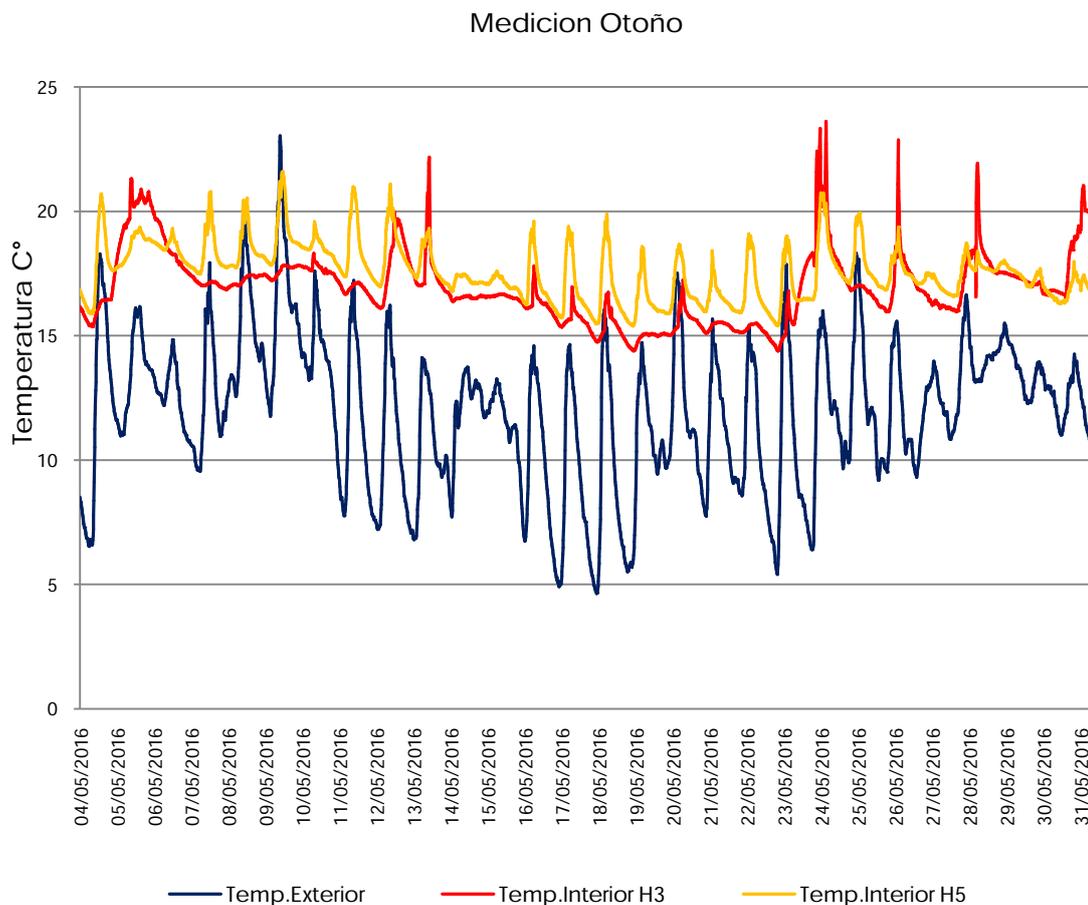


Figura 27: Registros de la semana del 4/05/2016 al 31/05/2016.

En la última semana de mayo del 24 al 31 (Figura 28) se realizan 4 eventos donde participan entre 50 y 300 personas, pudiéndose analizar el comportamiento con ocupación intensiva y el sistema de climatización encendido en todos ellos.

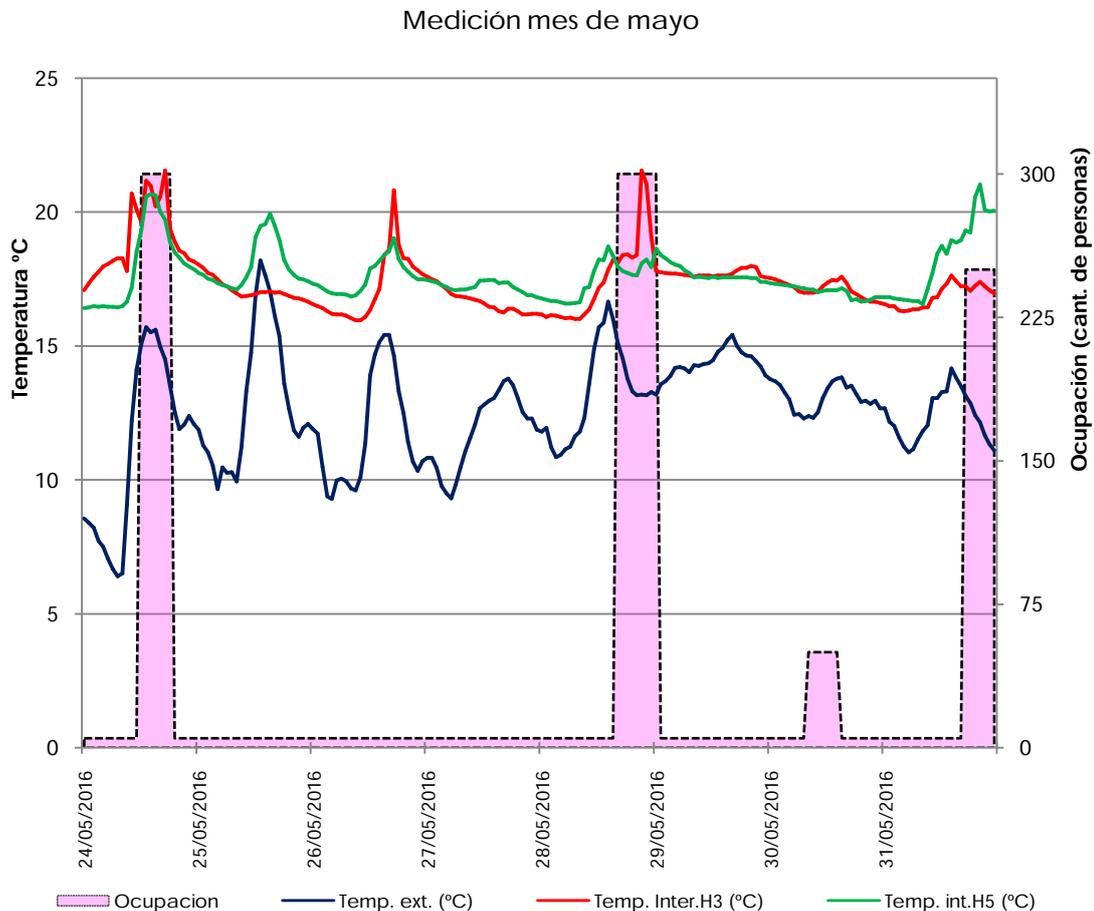


Figura 28: Registros de la semana del 24 al 31 de mayo con ocupación en la sala

Los picos de temperatura interior se dan los días de los eventos, ya a la calefacción se le suma las cargas internas por ocupación. Se observa cómo la temperatura desciende durante el fin de semana del 29 y 30 de mayo, evidenciando la diferencia entre la temperatura exterior e interior, sin aportes energéticos por climatización.

Para evaluar la estación invierno se utilizan las mediciones de la semana del 4 al 8 de julio, tomado los registros de tres días específicos, volcados en un diagrama psicrométrico de Givoni (Figura 29). Este diagrama determina una zona de confort higrotérmico fijando condiciones de temperatura y humedad de confort según el clima. En el día 7 se desarrollan dos eventos uno a las 11.00 y otro a las 17.00 hs con una concurrencia de 200 personas en cada uno. Aquí se observa el comportamiento térmico del edificio considerando la carga interna por ocupación y el sistema de calefacción encendido. Los registros ubicados dentro del polígono azul son los que se hallan en zona de confort.

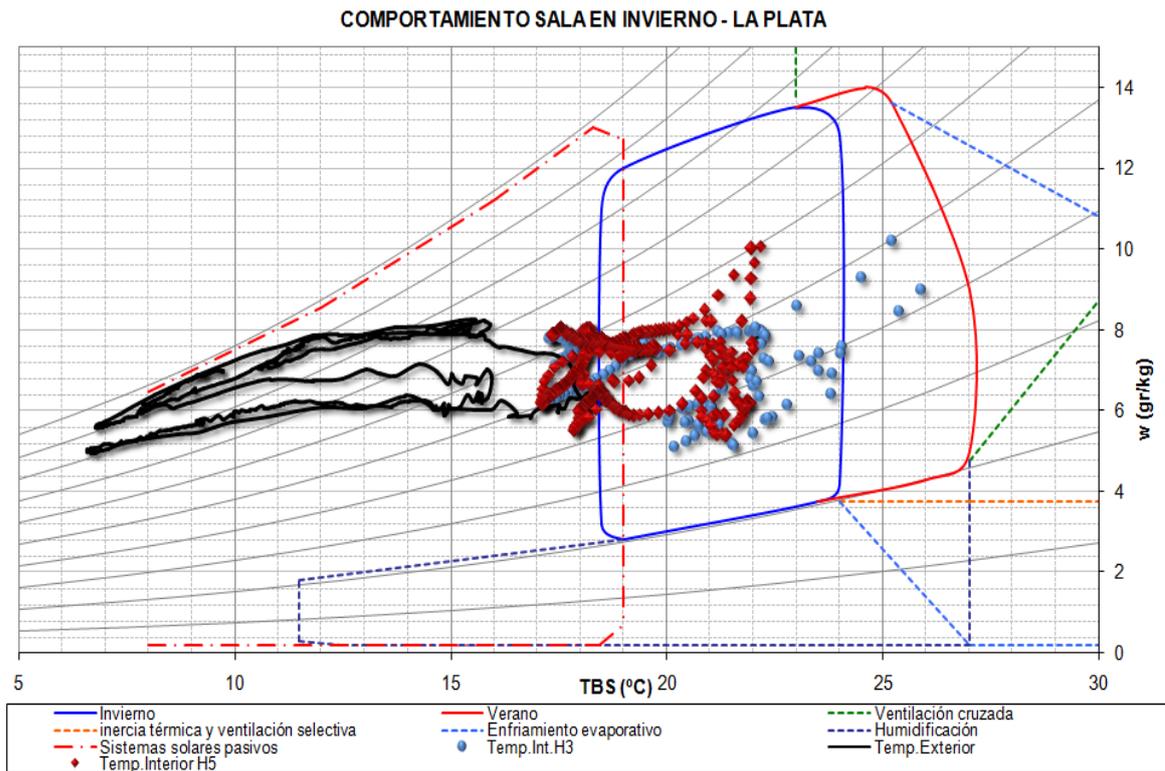


Figura 29. Diagrama psicrométrico de Givoni de la semana 6-7-8/07/2016

Los registros ubicados por fuera de esta zona se corresponden con los momentos donde no ha sido encendida la calefacción esto puede verse analizando de forma exclusiva el día 7 de julio donde se observa en la Figura 30 como el interior del edificio en las primeras horas de la mañana no alcanza los 22°C de temperatura para entrar en la zona de confort, ya que hasta ese momento no había entrado en régimen el sistema de calefacción. A las 10.00 hs, faltando una hora para el primer evento, la temperatura del centro de sala se ubica a un grado de la de confort.

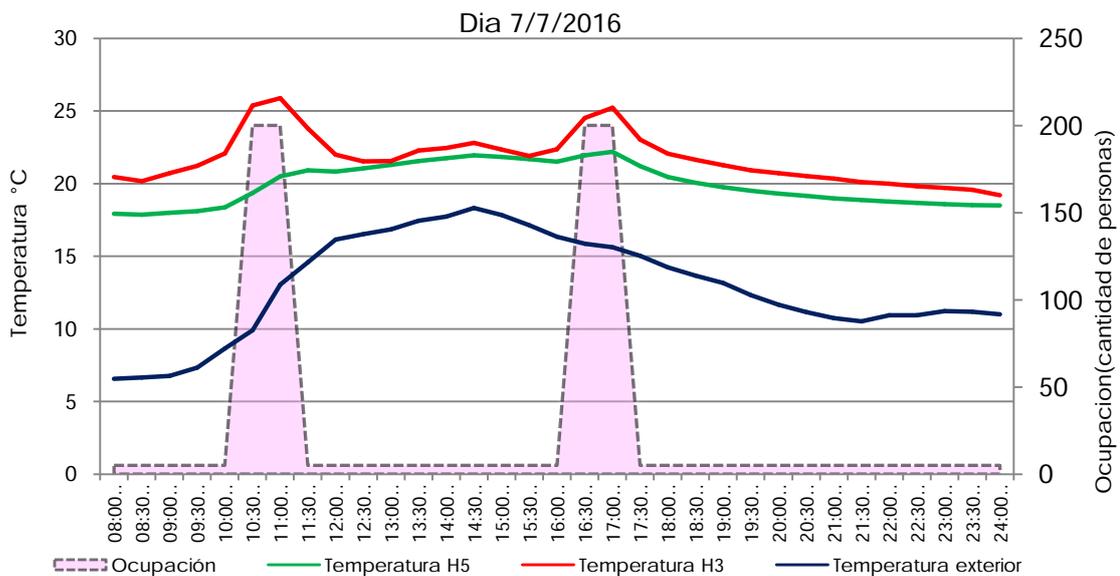


Figura 30: Medición del Hobo 3 en el centro de la sala

El diagrama de Givoni del día 7 (Figura 31) muestra las mediciones que se encuentran dentro de la zona de confort, salvo las que se registran en las primeras horas de la mañana y algunas que exceden los 25°C con una humedad relativa que va del 50% al 60 % respectivamente. Esto sucede a las 17.00 horas, momento en donde se desarrolla el segundo evento con la presencia de 200 personas. Estos registros pertenecen al Hobo 3 ubicado en el centro de la sala.

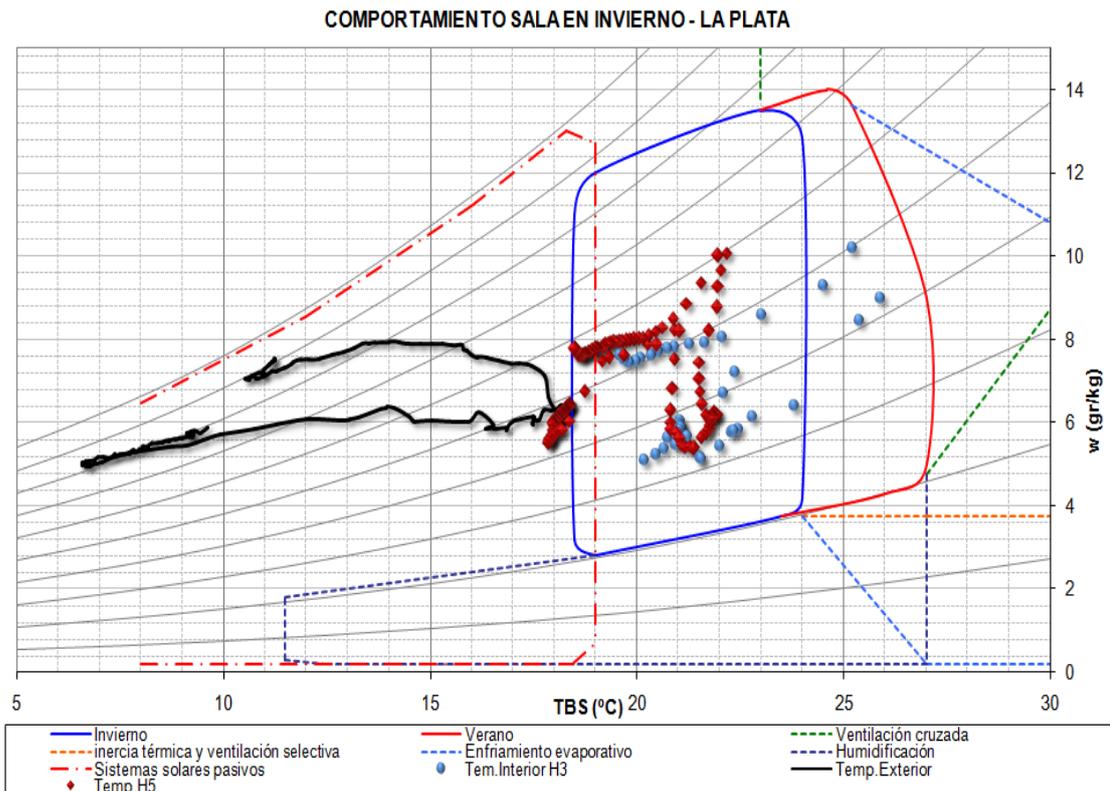


Figura 31: Diagrama psicrométrico de Givoni del día 7/7/2016, día del evento

Algunos registros del hobo H5 ubicado en el pasillo lateral, muestran temperatura y humedad relativa fuera de la zona de confort, esto puede deberse a que el sector se encuentra más ventilado por la lucarna ubicada por encima del sensor.

### Resultados de la evaluación de confort térmico en periodo de refrigeración

Las mediciones se realizan a partir del 1 de diciembre al 20 de febrero y se analiza en particular la semana del 12 al 18 de diciembre. Esta semana contó con tres eventos, los días 13, 16 y 17 de diciembre, con una concurrencia de 400 a 450 personas por cada uno. Los equipos de refrigeración fueron encendidos solamente los días de los eventos.

Las temperaturas exteriores oscilaron entre los 25°C y 32°C alcanzando picos de 34°C. En el diagrama psicrométrico de Givoni (Figura 32) se muestra el comportamiento del edificio en esta semana.

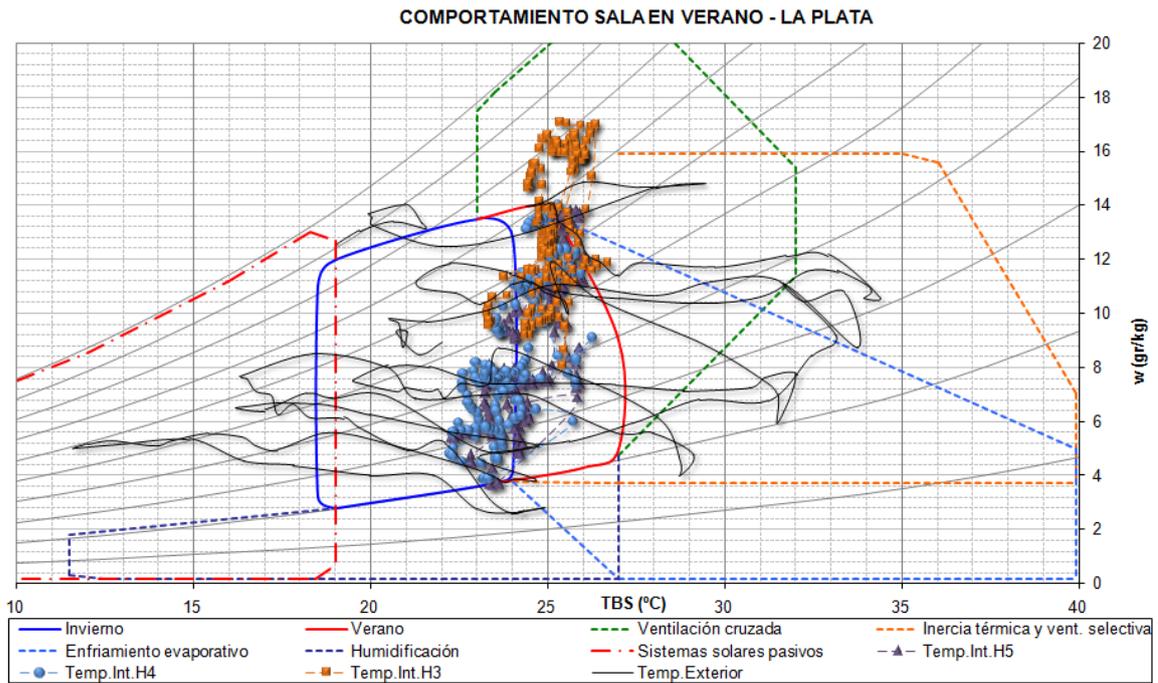


Figura 32: Diagrama psicrométrico de Givoni de la semana del 12 al 18 de diciembre

Los registros se ubican dentro de la zona de confort y solo un 15% se encuentra por fuera, debido a exceso de temperatura y humedad dentro de la sala. Esto se debe a dos factores: la humedad disipada por las personas sobre todo en días de calor con alta ocupación y por otro la inercia térmica del edificio debido a la elevadas temperaturas registradas en estos días.

En la Figura 33 y Figura 34 se analiza el funcionamiento de la sala los días 12 y 16 respectivamente, ambos con temperaturas exteriores de 32°C. El lunes 12 no hubo ocupación, sumado a la inactividad del fin de semana, situación que sirve para analizar el comportamiento de la sala en su fase pasiva. El viernes 16 en cambio se realizó un evento a las 15.00 hs, razón por la cual se incrementó abruptamente la humedad superando el 80% a pesar de tener encendido uno de los equipos de aire acondicionado, que mantuvo la temperatura entre 25 y 26°C.

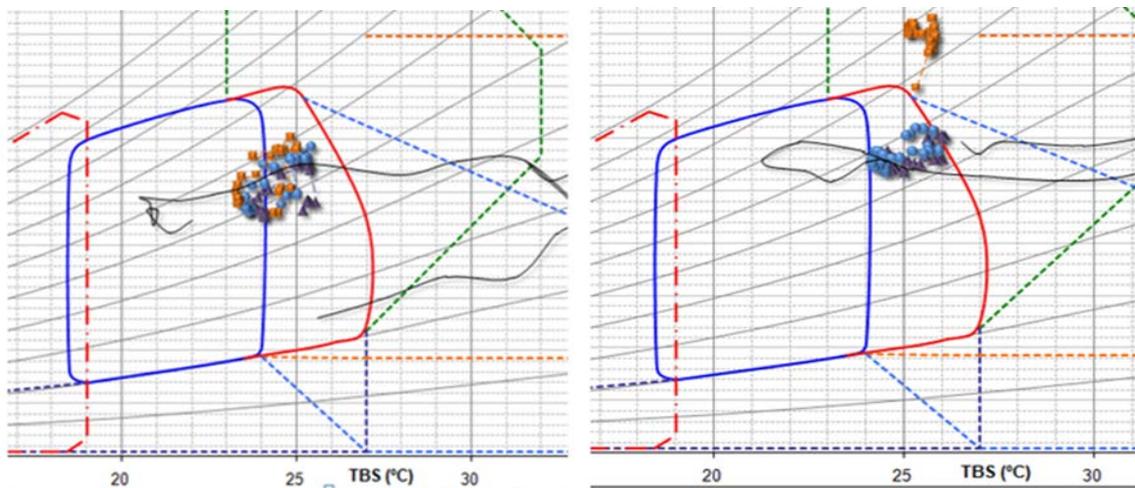


Figura 33. Diagrama día 12 sin ocupación y climatización      Figura 34. Diagrama del día 16 con 400 personas y sin climatización

Estos gráficos evidencian dos realidades: que la sala sin ocupación intensiva mantiene una temperatura estable entre los 23°C y 25°C ubicándose dentro de la zona de confort. En cambio con una ocupación de 300 personas requiere de refrigeración, utilizándose solo el 50% de la capacidad del sistema para mantener la condición de confort.

La Figura 35 muestra las mediciones de la semana del 12 al 18/12. Los registros indican que las temperaturas exteriores fluctúan normalmente, en cambio la temperatura interior se mantiene homogénea aun en los días que no tienen encendido el sistema de refrigeración (día 12 y 15). También se observa la incidencia de la carga interna por ocupación, que en muchos casos llega a elevar 3°C promedio la temperatura interior, al igual que lo indica la bibliografía (Flores Larsen et al., 2008). Al igual que en el período de invierno, los registros de temperatura del pasillo H5 muestra una menor temperatura que los obtenidos por el H3 del centro de la sala.

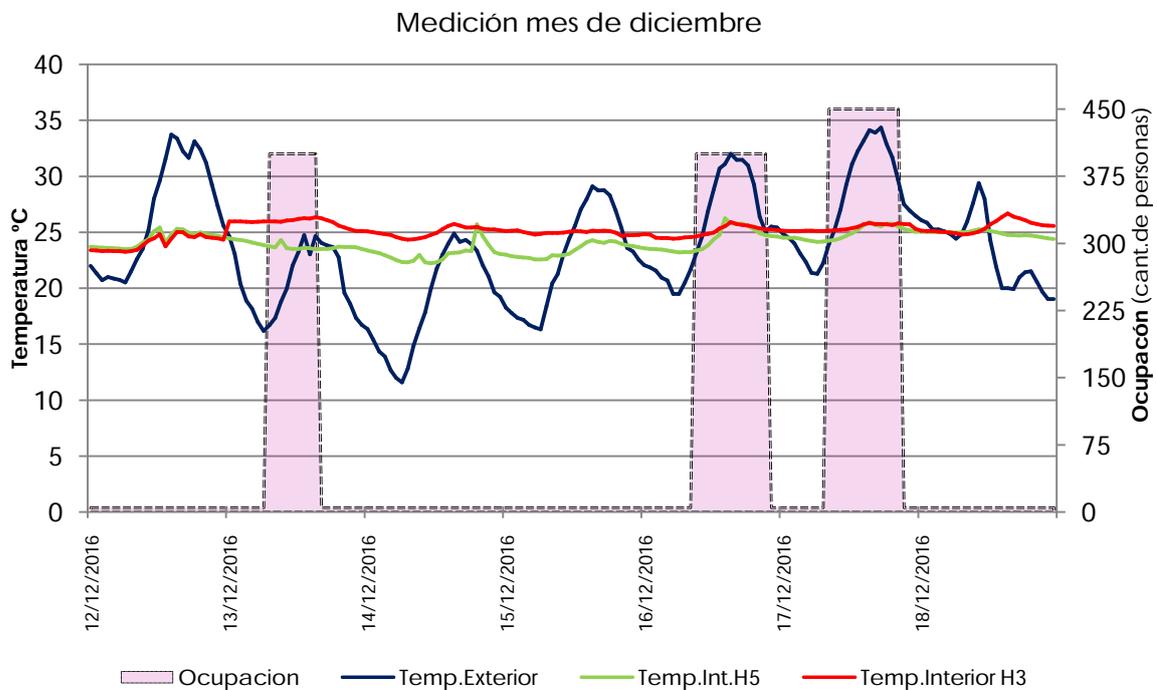


Figura 35: Mediciones diciembre con ocupación en la sala

Finalmente se muestra en la Figura 36 el resumen de los seis meses monitoreados con los registros de las temperaturas promedio. En invierno se observa que la temperatura exterior e interior se separan con una diferencia promedio de 5 °a 7° C. Este grado de independencia permite a la SM estar en un rango de 17°C-18°C, a 3 o 4° grados de la temperatura de confort, posibilitando que los sistemas activos entren en funcionamiento solamente para compensar esta diferencia. No sucede lo mismo en verano donde la temperatura exterior e interior son similares y constantes rondando los 25 ° C. Manteniendo esta temperatura y sin ocupación intensiva la sala está dentro de la zona de confort, no así si se ocupa la sala de

manera intensiva. Bajo estas circunstancias se deberán encender los sistemas de climatización para alcanzar la temperatura de confort requerida.

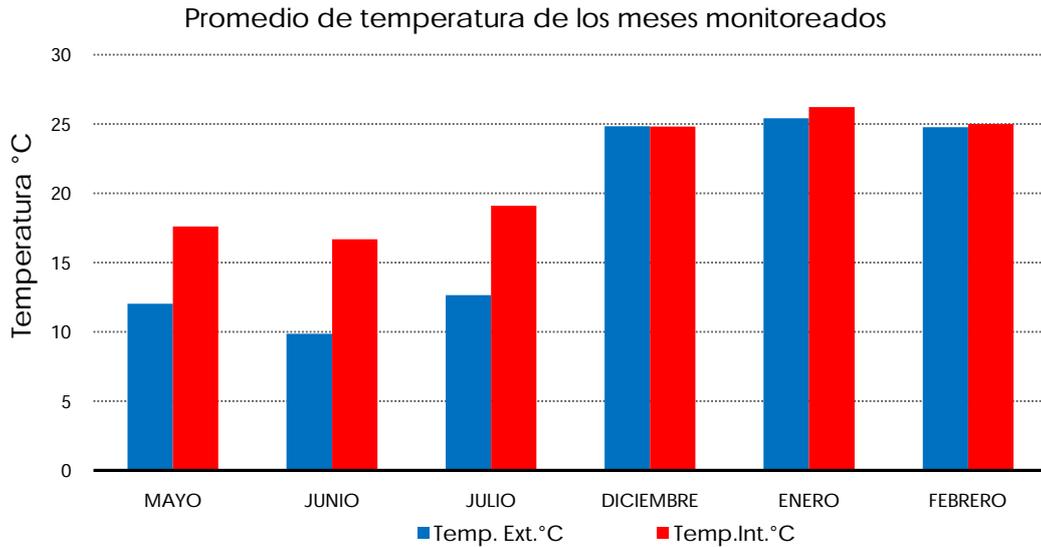


Figura 36: Temperatura promedio exterior e interior de los meses medidos, elaboración propia

### Evaluación subjetiva de los usuarios

En este punto se analiza el resultado de las encuestas sobre confort ambiental, confort térmico, luminosidad interior y calidad de la edificación de la SM. En la Figura 37 se observa la opinión de los alumnos en referencia al confort ambiental donde un 98% del alumnado percibe a la SM como un espacio como agradable y muy agradable, y sólo un 2% desagradable.

La Figura 38 hace referencia a los aspectos de confort térmico de la SM existiendo una gran disparidad de sensaciones. Un 41% del alumnado no siente ni frío ni calor en la SM, el resto la percibe como cálida y muy cálida en un 32%, y un 27% como fría y muy fría. Esto indica conclusiones: la heterogeneidad térmica señalada y la percepción de sentir a la SM más cálida que fría.

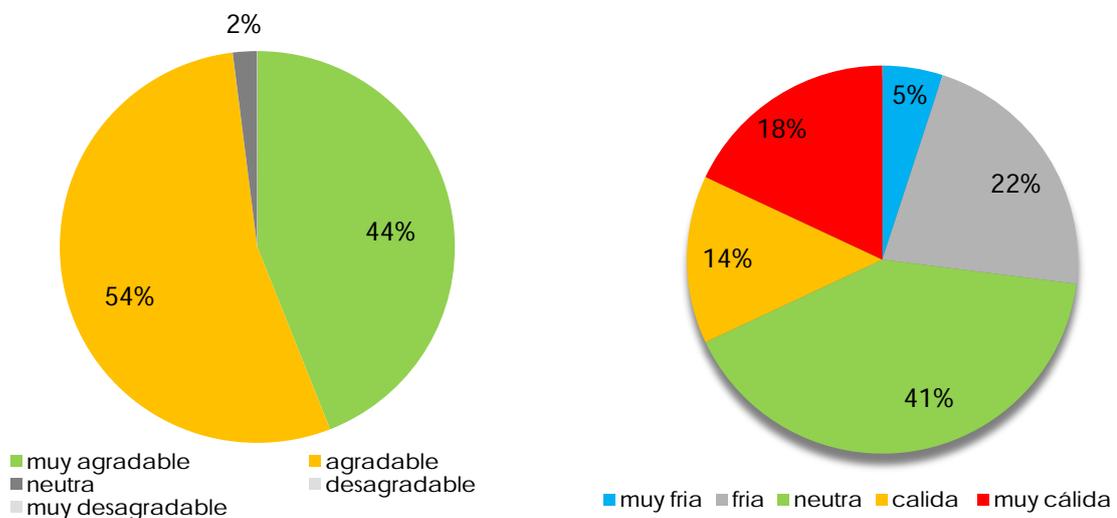


Figura37: Opinión de alumnos sobre confort ambiental. Figura 38: Opinión alumnos sobre confort térmico

Los profesores en cambio perciben un alto grado de satisfacción con respecto al confort ambiental, donde un 100% percibe a la SM como agradable, superando más del 50% lo que sienten a la sala como muy agradable (Figura 39). Con respecto al confort térmico la Figura 40 indica que un 64% encuentra a la SM como normal y un 27% como cálida, percibiéndola solo un 9% como muy cálida. Aquí se observa un grado de satisfacción elevado y se diferencia de los alumnos que perciben la SM más cálida que fría.

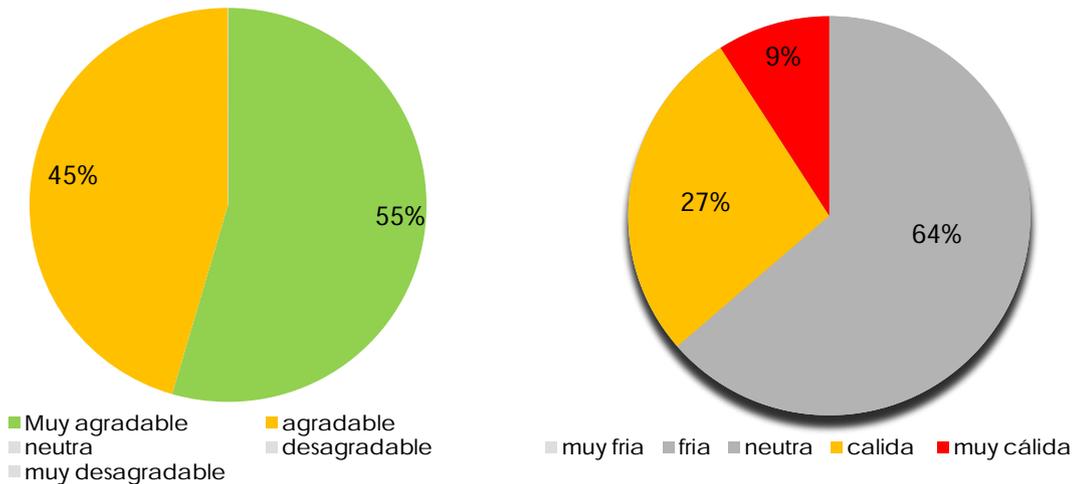


Figura 39: Opinión de docentes sobre confort ambiental. Figura 40 : Opinión docentes sobre confort térmico

Dentro de la calidad ambiental se incluye cómo se percibe a la SM en relación a la luminosidad interior y a su calidad constructiva. La luminosidad es central en edificios ubicados en sub-suelo, que por lo general se perciben como oscuros y lúgubres.

Los alumnos consideran que la SM es luminosa alcanzando aproximadamente un 65% de los encuestados y solo un 15% como oscura, el resto neutra (Figura 41). Con respecto a la calidad de edificación ubican a la SM en un 99% entre buena y muy buena y solo un 1% como mala. Esto se puede apreciar en la Figura 42

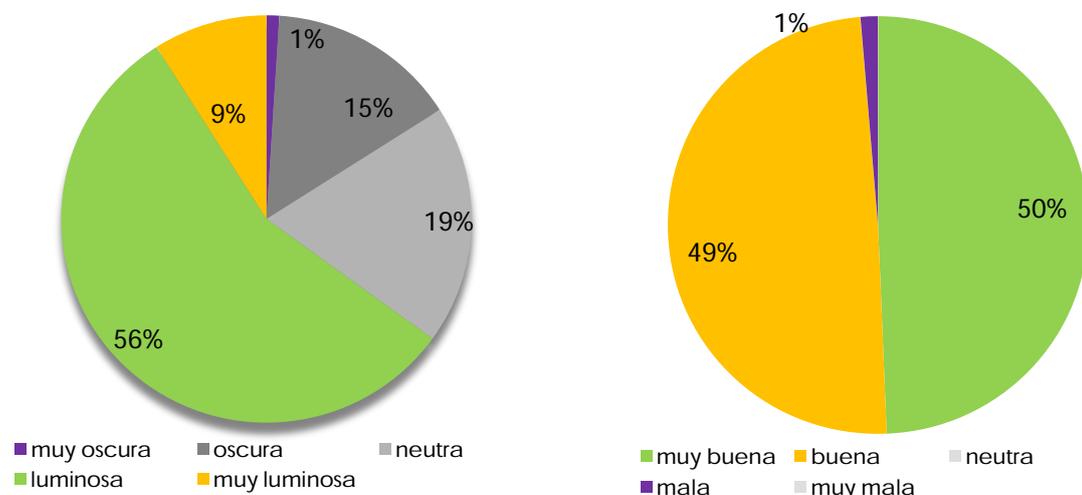


Figura 41: Opinión de alumnos sobre luminosidad

Figura 42: Opinión alumnos sobre edificación

En cambio, el 73% de los docentes hallan a la SM como luminosa, un 18 % como muy luminosa y solo un 11% oscura (Figura 43). Con respecto a la calidad constructiva de la SM, un 64% la considera como muy buena y un 27% como buena. El 9% la indica como mala(Figura 44).

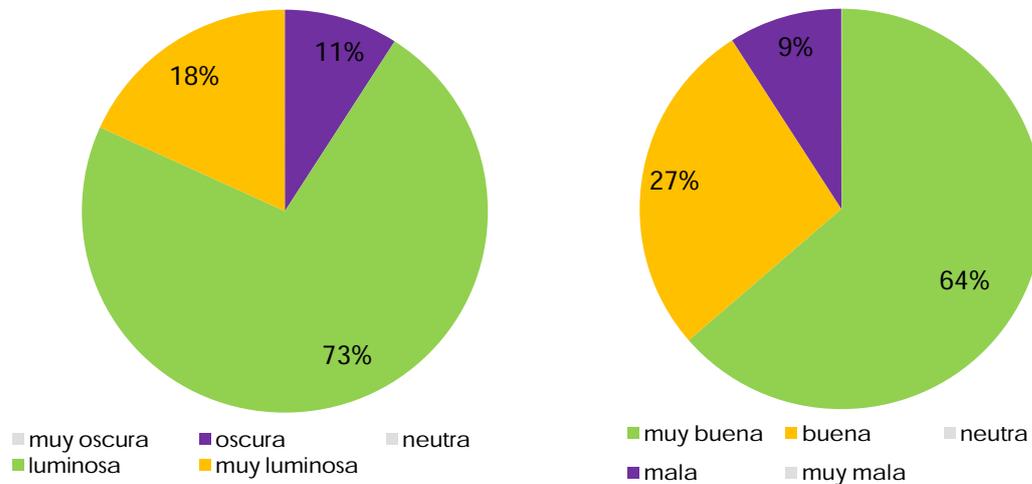


Figura 43: Opinión docentes sobre luminosidad Figura44 : Opinión docentes sobre edificación

En conclusión, existe un consenso generalizado en el grado de satisfacción percibido dentro de la SM en lo que respecta al confort y calidad ambiental, pero con respecto al comportamiento térmico existen sensaciones muy disimiles, sin embargo, de acuerdo a los datos obtenidos, tanto alumnos como docentes, se encuentran a gusto en el edificio.

## Confort Acústico

### Medición

Para la medición se tuvo en cuenta la condición más desfavorable, esto es que la SM se encuentre vacía y que se desarrollen actividades normales por fuera de ella, sobre todo en el patio que está encima de su cubierta. El día elegido para la medición es el 5 de julio de 2015 a las 15.30 hs, haciendo coincidir este horario con un recreo del ciclo primario, actividad que se desarrolla en este patio. De esta manera se verifican las propiedades acústicas del interior de la sala y la aislación que presenta la cubierta frente a los ruidos externos.

Las mediciones para el análisis del confort acústico se realizan con un decibelímetro HP-882A calibración conforme ISO 17025, notebook HP, grabador digital, y set de micrófonos externos. Estos se ubican en tres posiciones del interior de la SM con el objeto de evaluar la homogeneidad acústica-espacial y las fuentes impulsivas en el centro del escenario con una altura de la fuente emisora ubicada sobre el nivel de escenario a 1,5 m.

### Evaluación mediante instrumental

Para analizar el confort acústico en gabinete se compara las mediciones obtenidas con la norma ISO 3382(ISO, 2010)a fin de determinar los valores de

tiempo de reverberación (TR) que caracteriza a la sala en su estado actual. El TR es el tiempo que queda emitiéndose un sonido dentro de un recinto una vez que la fuente de emisión deja de sonar.

Los valores obtenidos a partir de las mediciones del día 5 de julio se detallan en la Tabla 5 y se representan en la Figura 45, en ambos se observa el tiempo de reverberación.

Frecuencia [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Posición A - Fuente centro escenario	0,86		1,55	1,37	1,3	1,18	0,85
Posición B - Fuente centro escenario	1,11	1,17	1,39	1,47	1,46	1,28	0,96
Posición C - Fuente centro escenario	1,01	1,44	1,62	1,52	1,47	1,22	0,94
<b>T30 Promedio general</b>	<b>0,99</b>	<b>1,31</b>	<b>1,52</b>	<b>1,45</b>	<b>1,41</b>	<b>1,23</b>	<b>0,92</b>

Tabla 5: Valores de TR por banda de frecuencia

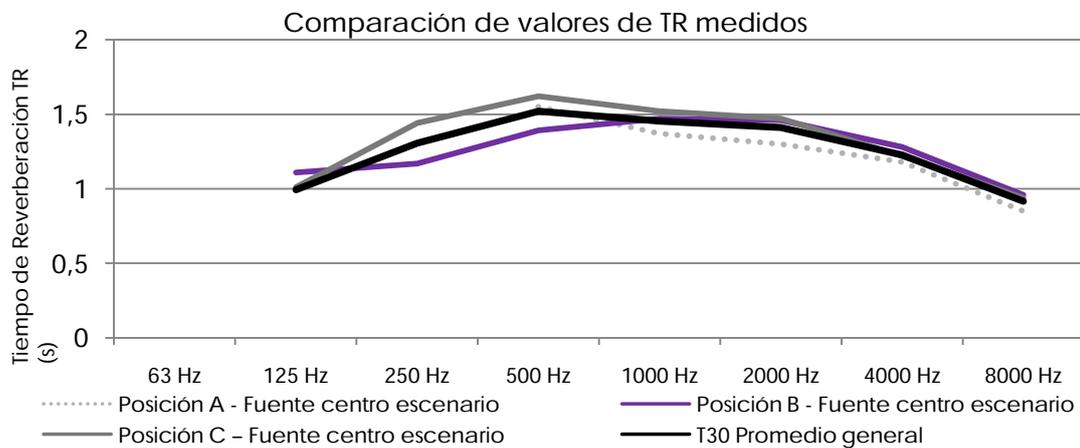


Figura45: Valores de TR por banda de frecuencia

Los resultados obtenidos del TR son los esperados según el criterio de diseño que para estos tipos de salas que poseen múltiples funciones, los que no deben superar valores de 1,5 segundos por la norma mencionada. Este parámetro, si bien no es el único que se utiliza en la evaluación, se relaciona en parte, con la inteligibilidad de la palabra. Un tiempo de reverberación alto es más adecuado para música, de esta forma una nota se solapa con la otra debido al tiempo que queda el sonido en el recinto. En una sala donde el uso principal es la palabra, el tiempo de reverberación debe ser más corto para evitar que una sílaba se solape con la otra y se pierda la inteligibilidad del discurso. Los valores alcanzados en la sala permiten un adecuado balance entre las distintas actividades que pueden llevarse a cabo en el lugar.

Las mediciones se realizaron en distintos puntos de la sala para simular las distintas ubicaciones que puede adoptar el público, los valores medidos son similares, lo que corrobora la homogeneidad acústica del ambiente permitiendo que las condiciones de escucha sean similares para todo el público.

Las fluctuaciones de los valores en las distintas bandas de frecuencia se encuentran dentro de los márgenes de diseño y se relacionan con los materiales usados como revestimientos interiores que son compatibles con el uso que se le da al espacio. Por último se indica que la presencia de público en la sala absorbe energía acústica provocando que la curva se aplane, evitando así fluctuaciones que se observan en la medición.

### Evaluación subjetiva por parte de usuarios

Las encuestas reflejan en las Figura 46 y Figura 47 cómo perciben tanto los alumnos como los docentes el grado de acústica de la sala. El 73% del alumnado percibe a la sala como buena y muy buena, el resto normal. En cambio el 100% de los docentes la percibe como buena y muy buena alcanzando el 73% en este aspecto. Por lo tanto los usuarios están satisfechos con la sala desde las condiciones acústicas.

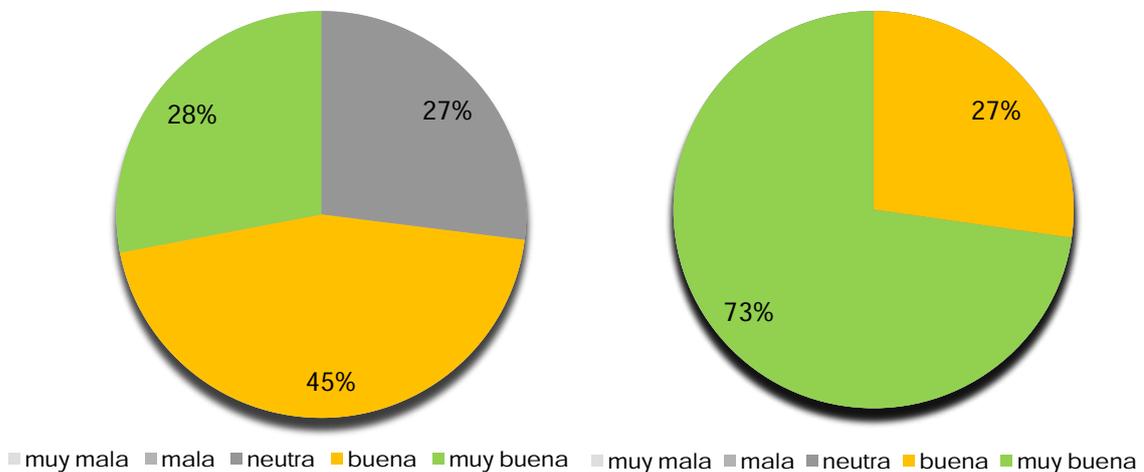


Figura 46: Opinión de los alumnos sobre acústica

figura 47: Opinión docentes sobre acústica

### Eficiencia Energética

Para evaluar la eficiencia energética se instrumentan dos procedimientos: la herramienta Auditcad (J. D. Czajkowski, 2009) y el consumo de gas y electricidad en base al análisis de facturas de las prestadoras de servicios. Ambos métodos permiten establecer los estándares energéticos alcanzados por el edificio.

El primer procedimiento consiste en la utilización del sistema informático "Auditcad", utilizando datos sobre aspectos dimensionales y tecnológicos de la SM para hacer una modelización del funcionamiento de la SM en la primera semana de julio. Auditcad es una personalización para Autocad versión 14 que integra bases de datos de sistemas constructivos y bioclimáticos y permite predecir las necesidades de energía para mantener las condiciones de confort. Auditcad cuenta con bases climáticas de 80 localidades del país conteniendo datos medios mensuales de temperaturas, humedad relativa y tensión de vapor, velocidad del viento, índice de claridad atmosférica KT y radiación solar sobre el plano horizontal. Posee una galería de componentes constructivos desarrollados

capa por capa detallando tipos de muros, techos, puertas y ventanas. Estos archivos forman parte del módulo de cálculo de la resistencia térmica y coeficiente K del elemento, denominado "K\_CAD". Este módulo realiza la verificación para cualquier localización geográfica y condición climática según el método de la Norma IRAM 11605.

Procesados los datos, Auditad compara el balance térmico estacional que hace el sistema en base a la demanda energética requerida para ese mes con el consumo real de gas natural y electricidad extraído de las facturas. El programa muestra las pérdidas y ganancias a través de cada elemento de la envolvente.

El segundo procedimiento consiste en tomar los datos de las facturas y determinar el consumo de electricidad y gas natural de los últimos cinco y tres años respectivamente. Este análisis permite conocer el consumo histórico de la SM y su impacto desde su inauguración respecto del edificio escolar.

### Evaluación con Auditcad

Una vez introducidos los datos generales de diseño (Tabla 6) y las características constructivas de la envolvente de la SM, se procede a calcular los aspectos térmicos-energéticos del edificio.

Hs.med. consumo energía	168	hs	Días de medición	7	
Consumo energía eléctrica	1	KWh	Consumo de gas natural	85	M3
Temperatura ext. media	8	°C	número de ocupantes SM	50	Hab
Temperatura int. media	12	°C	renovaciones de aire	1	ra
Área habitable estudiada	847	m <sup>2</sup>	Volumen climatizado estudiado	1963.50	m <sup>3</sup>

Tabla 6. Datos de la semana elegida para el estudio del 6 al 11 de julio 2016

En la Tabla 7 se observa los datos de demanda de energía calculados por balance y los registrados a partir de las mediciones.

NECESIDADES DE ENERGÍA CALCULADAS POR BALANCE	4128,97	MJ	en %
Aportes de energía debidos al Gas Natural	1758,73	MJ	48,30%
Aportes de energía debidos al Gas Envasado	0	MJ	0,00%
Aportes de energía debidos a la energía eléctrica	3,6	MJ	0,10%
Aportes de energía debidos a la ocupación	1360,8	MJ	37,40%
Aportes de energía debidos a la insolación	519,02	MJ	14,30%
<b>APORTES DE ENERGÍA S/REGISTROS 3642,15MJ</b>			
<b>Diferencia porcentual entre consumo calculado y medido 13,37%</b>			

Tabla 7: Auditcad, datos de consumo y necesidades según balance comparados con datos reales

Del cálculo de las necesidades energéticas se desprende que el 37,4% son ganancias por ocupación, esto representa un alto porcentaje ya que solo son

50 personas/día. Aquí se refleja el grado de incidencia que posee el aspecto ocupacional sobre el comportamiento térmico del edificio.

En la Tabla 8 se observan las pérdidas por cada componente de la envolvente expresadas en porcentajes, y las características generales del edificio con respecto a los aspectos térmicos, donde se registra un coeficiente global de pérdida  $G = 0,65 \text{ W/m}^3\text{k}$ , ubicándose muy por debajo del admisible según norma IRAM 11604 (IRAM, 2001) que es de  $1,80 \text{ W/m}^3\text{k}$ .

CONSUMO DEBIDO A PERDIDAS POR			en %	COMPACIDAD	0.71	u
MUROS	41	W/°C	3,18	FACTOR DE FORMA	0.61	u
TECHOS	423	W/°C	32,99	FACTOR DE EXPOSICIÓN	0.99	u
VENTANAS	743	W/°C	5,74	CARGA TERMICA DEL EDIFICIO	53323	kWh
PUERTAS	14	W/°C	1,08	COEFICIENTE UA DEL EDIFICIO	1783	W/°C
PISO	45	W/°C	3,5	COEFICIENTE UA UNIDAD DE AREA	1.52	W/m <sup>3</sup> °C
REN.AIRE	687	W/°C	53,55	COEF. UA POR UNIDAD DE VOLUMEN	0.65	W/m <sup>3</sup> °C

Tabla 8: Audtcad, tabla de asignaciones por pérdidas en las componentes de la envolvente

En la Figura 48 se observa con más detalle la proporción de pérdidas de la envolvente según tipo de cerramiento, lo que orienta la intervención para lograr un mejoramiento de las condiciones térmicas del edificio, como es el caso de la cubierta. En el ANEXO 4 se propone una alternativa constructiva concreta que posibilita este mejoramiento.

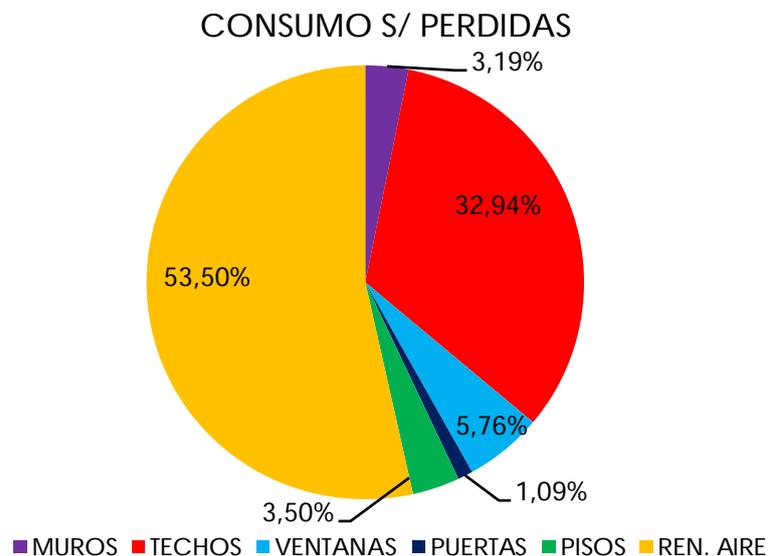


Figura 48. Pérdidas según balance

La Figura 49 indica el valor admisible de pérdidas globales en función del volumen del edificio a calefaccionar y en la Tabla 9 el Coeficiente Global de pérdidas calculado según Norma IRAM 11604, verificando su cumplimiento con la norma, pudiéndose verificar también con el resultado del Audtcad.

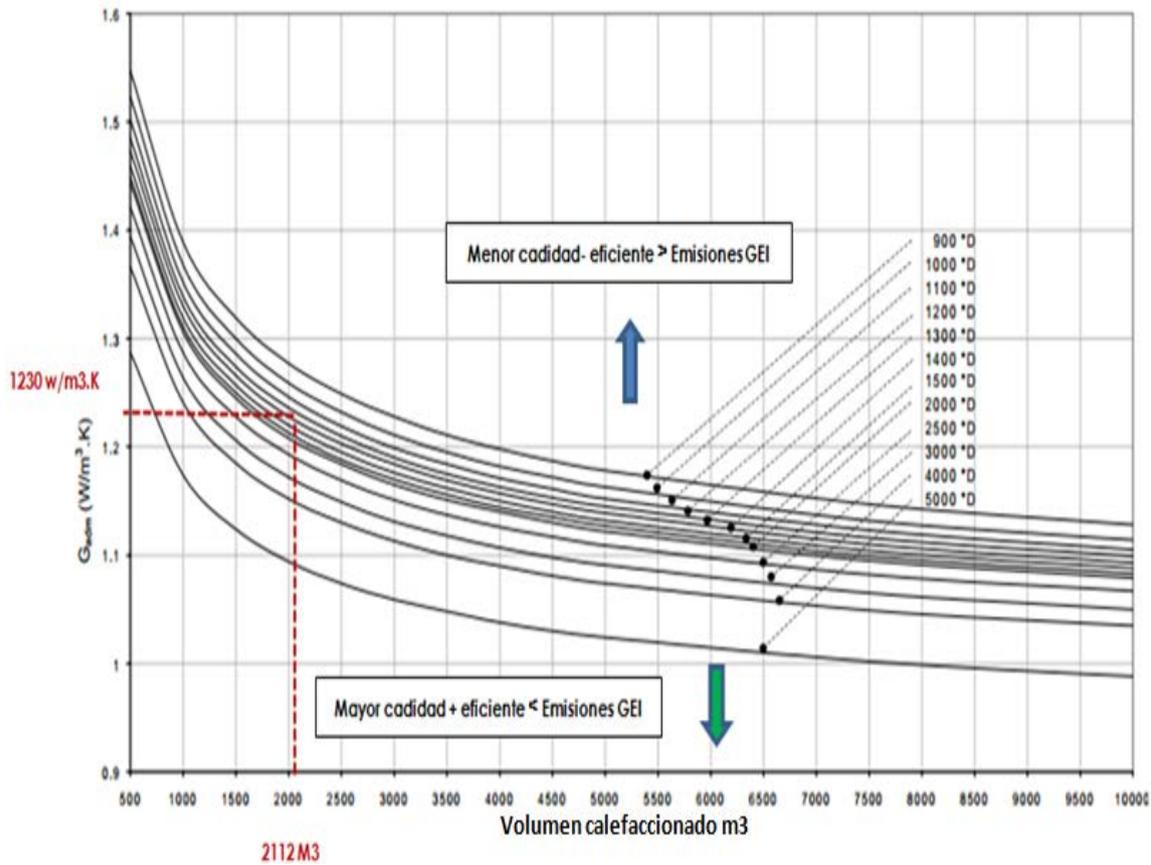


Figura 49. Valores máximos admisibles ( $G_{adm}$ ) para edificios en función del volumen calefaccionado IRAM 11604, elaboración propia

<b>PERDIDAS VOLUMÉTRICAS GLOBALES</b>	<b>G cálculo</b>		<b>0,62</b>	W/m3K
	<b>G admisible</b>		<b>1,23</b>	W/m3K
<b>SI</b>	<b>CUMPLE G cal &lt; G adm NORMA IRAM 11604</b>			

Tabla 9. Cálculo de pérdidas volumétricas globales según IRAM 11604, elaboración propia

Del análisis energético la SM se concluye que la SM cumple con los estándares exigidos en la Provincia de Buenos Aires Ley 13059, Decreto 1030/12. En relación al nivel de eficiencia energética y confort higrotérmico el edificio recibió la etiqueta "B" en energía en calefacción según IRAM 11900/09 (Figura 50) en instancias de diseño (2014).

Esta etiqueta califica la eficiencia energética en calefacción a través de un sistema comparativo, compuesto por ocho categorías identificadas por letras, donde la letra A se adjudica a los edificios mejor calificados hasta terminar en la H, siendo este el de menor rango. Esta norma establece una metodología simplificada para el cálculo del nivel de eficiencia energética de las envolventes de los edificios susceptibles de ser calefaccionados y las características de la etiqueta de eficiencia energética (cuerpo de la norma 11900). La implementación de esta norma se apoya además sobre aspectos normativos establecidos por las IRAM 11549, IRAM 11601y IRAM 11603.

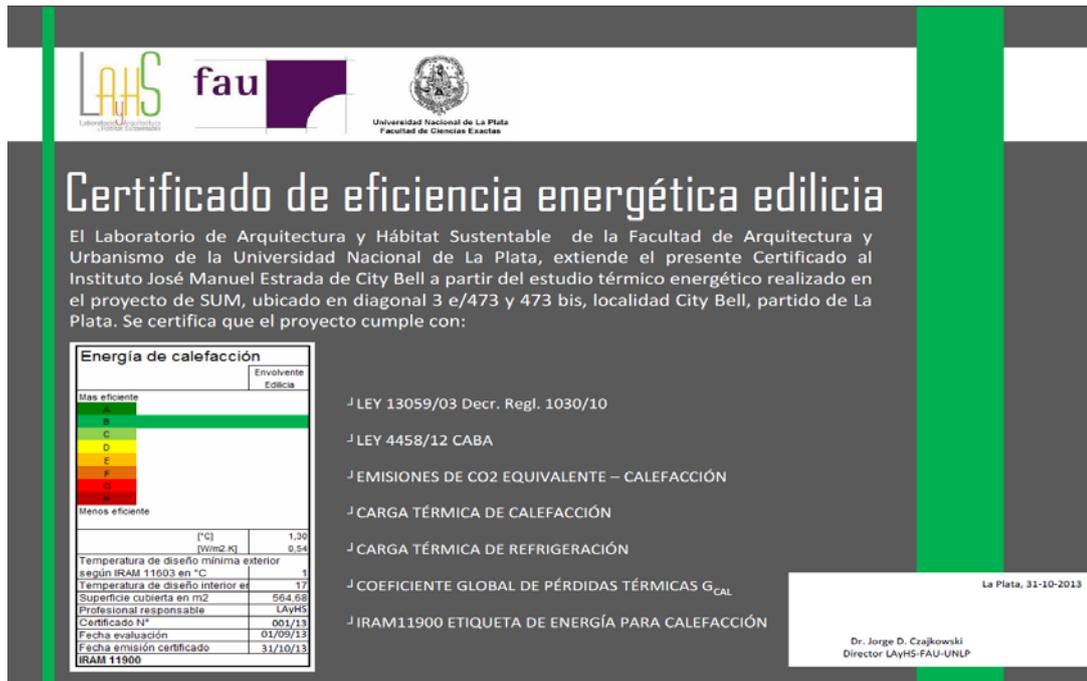


Figura 50: Certificación según IRAM 11900/09 otorgada por el Laboratorio de hábitat y Arquitectura Sustentable, FAU, UNLP

### Evaluación a partir de registros y datos de consumo

El segundo procedimiento para evaluar el comportamiento energético es a partir de analizar los consumos extraídos de las lecturas de medidores correspondientes a las facturas de cada servicio. En lo que respecta a electricidad de la SM comparte el mismo medidor que el colegio, a diferencia del gas natural que posee uno propio. En la Figura 51 se representa el consumo eléctrico del edificio escolar de los últimos 5 años.

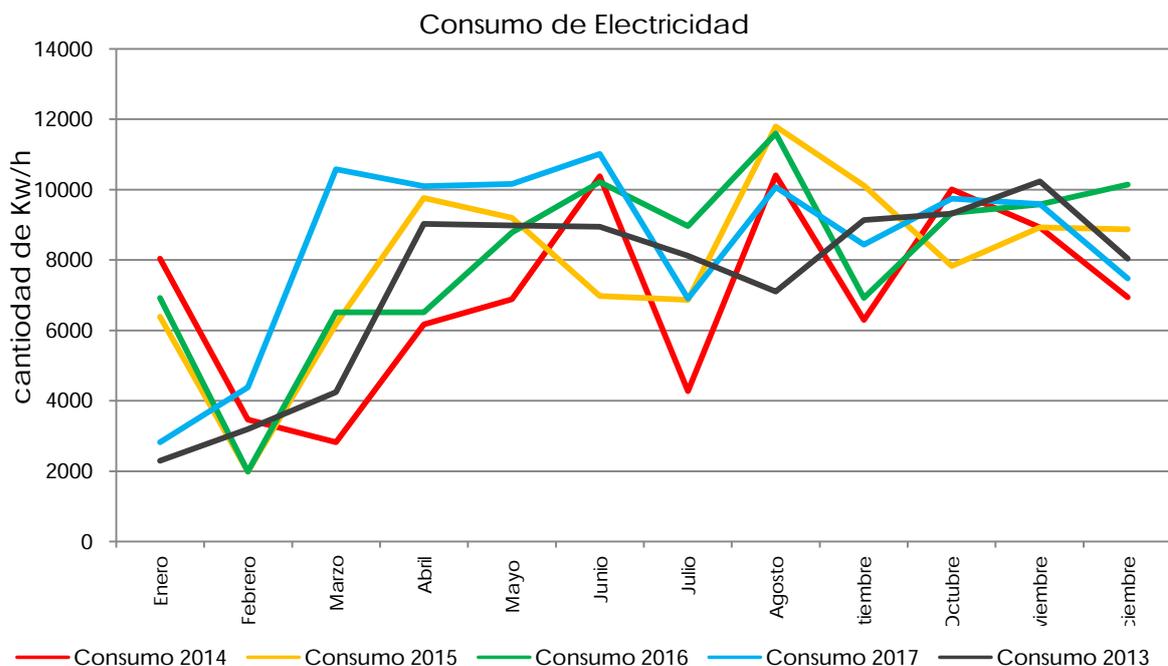


Figura 51: Valores de consumo de electricidad anuales del edificio escolar, elaboración propia

Se observa que el consumo es variable año a año, registrándose un incremento promedio del 16 % a partir de la inauguración de la SM en junio del 2015. En invierno se registran los mayores consumos esto se debe a la utilización de equipos individuales split frío-calor de 6000 cal instalados en todas las aulas, ya que la SM no requiere de energía eléctrica para calefaccionar en invierno. Estos equipos de aire se terminaron de instalar a fines del 2014 en reemplazo de estufas a gas natural tiro balanceado.

La Figura 52 muestra el consumo y costo de energía eléctrica de todo el colegio en los últimos 10 años. El mayor salto de consumo se produce entre el 2008 y 2012, registrando una tendencia en alza del 30%. Esto también puede deberse a la instalación de los equipos Split, que se fueron instalando hasta ese momento en distintos sectores pedagógicos y administrativos. Entre los años 2012 y 2017 se observa un incremento del 15%, este porcentaje es el verdadero desfasaje de consumo que se da desde la incorporación de la SM.

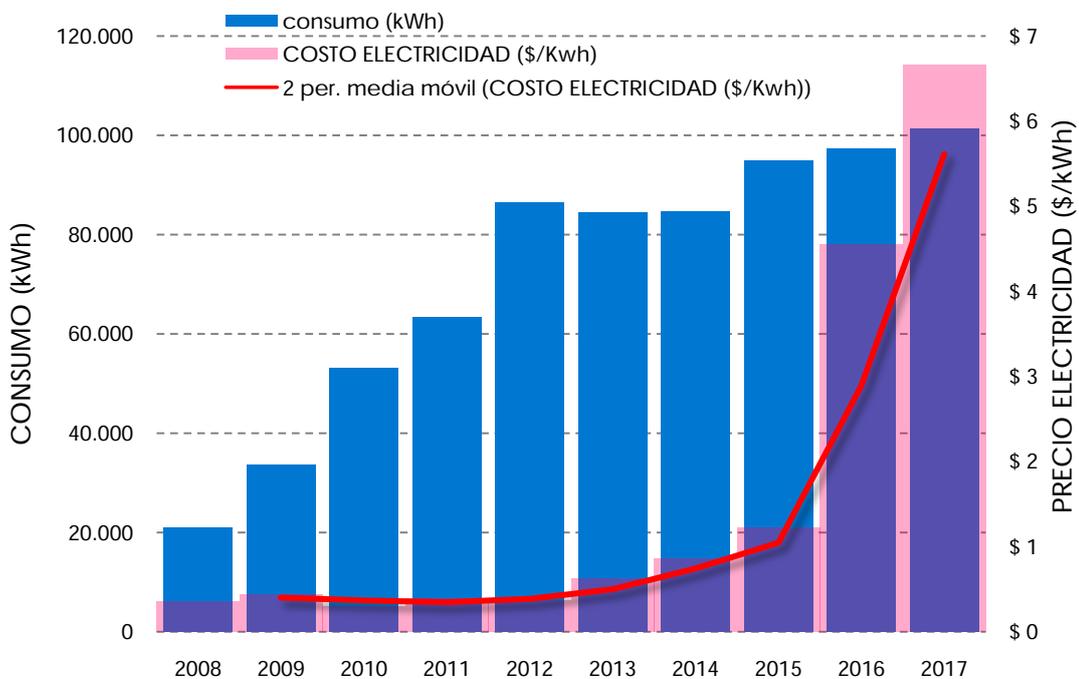


Figura 52: variación de consumo y valor energético entre los años 2008 y 2017, elaboración propia

La línea de tendencia indica cómo ascendió el costo de la energía eléctrica a fines del 2015 cuando se deja de subsidiar por parte del estado nacional. Se observa que lo abonado en el año 2014 fue de 0,7\$/KWh y 4,9 \$/KW al finalizar el 2017, lo que indica un 600% más de lo que se abonaba tres 3 años atrás. Esto se debe al incremento de las tarifas y al aumento del 15% de consumo a partir del funcionamiento de la SM. En la Figura 53 se observa la cantidad de KWh consumidos en referencia a los m<sup>2</sup> de superficie cubierta existente, desde que se inició la rehabilitación edilicia en el año 2008 cuando el edificio contaba con 1000 m<sup>2</sup>, hoy posee 3000 m<sup>2</sup>. Esto indica que a pesar de haber incrementado la superficie en un 300%, el consumo no ascendió en la misma proporción. Esta realidad se refleja específicamente entre el 2012 y el 2016, primer año completo

en donde funciono la SM, registrando una diferencia que alcanzo el 25% de consumo en menos por m<sup>2</sup> cubierto.

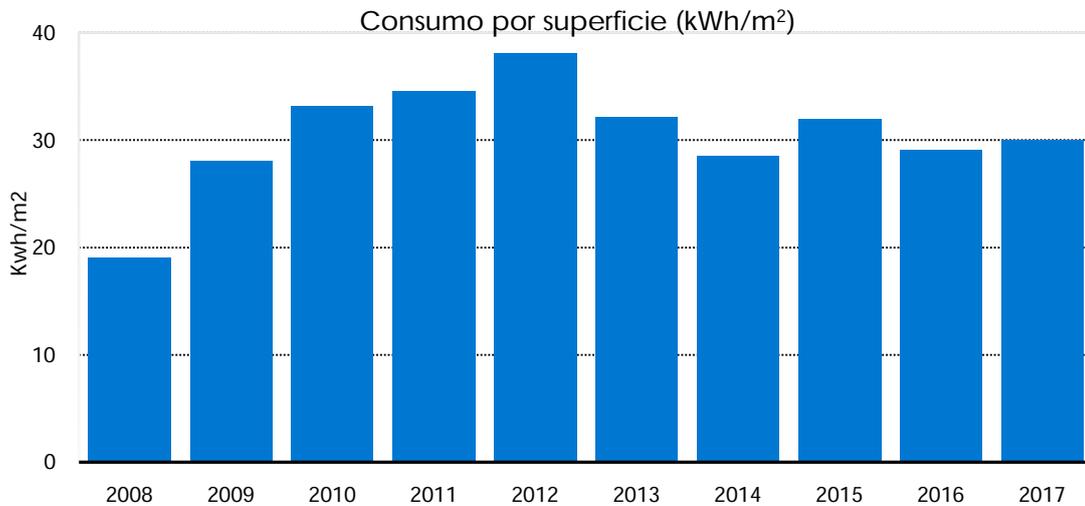


Figura 53: variación de consumo por unidad de superficie entre los años 2008 y 2017, elaboración propia

Si se hubiese mantenido la tendencia de incremento del 30% en el consumo registrada entre los años 2008 y 2012 con las mismas características constructivas tradicionales hasta el 2017, la factura de este año sería de \$775.000. Sin embargo, se pagó \$110.000 menos a partir de introducir diseño DAC en la construcción de la SM.

Con respecto al consumo de gas natural se consideran los últimos tres años registrados en el medidor instalado a partir de la inauguración de la SM en el 2015. Se observa en la Figura 54 que el consumo ha bajado aproximadamente un 30% desde su inauguración. Esto puede deberse a que en el 2017 hubo temperaturas de invierno mas bajas con respecto a los dos años anteriores, pero también a que lentamente la SM ha entrando en regimen, ya que una vez terminada la construcción se requiere de dos años para que el edificio funcione de manera estable en referencia a las temperaturas (Czajkowski J., 2012).

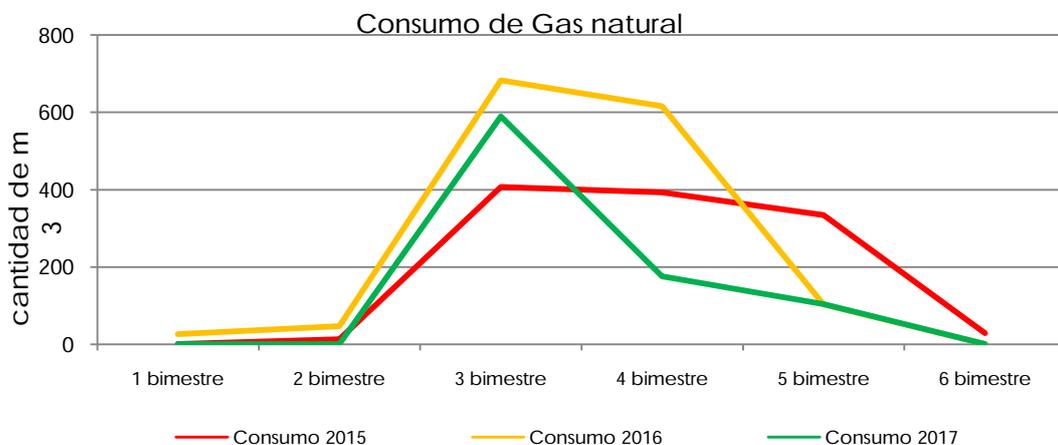


Figura 54. Valores de consumo de gas naturales anuales de la SM en particular, elaboración propia

## AEA-Fase Comparativa

### Comparación del desempeño teórico y real

En esta comparación se utilizan los datos del monitoreo higrotérmico realizados en la SM contrastándolos con los de la simulación numérica realizada durante la instancia de proyecto y ejecución con el programa EnergyPlus. La simulación estudia el comportamiento del edificio en tres estadios: condición bioclimática (sin ocupación ni sistemas de climatización encendidos), condición de confort (con sistemas de climatización encendidos sin ocupación), condición real (edificio con ocupación intensiva y equipos de climatización encendidos).

Este análisis comparativo consiste en estudiar la condición bioclimática y real de la SM y simulación en los meses de invierno y verano.

### Comparación invierno

En la Figura 55 se muestran los datos de temperatura monitoreados y los simulados correspondientes al mes junio. Ambas temperaturas exteriores oscilan entre los 3°C y 18°C. La temperatura interior de la simulación se ubica entre los 15°C y 21°C recibiendo el aporte de energía ya que la calefacción se encuentra encendida. En cambio, la monitoreada se ubica entre los 14° y 18°C, sin aporte de energía, salvo los días 6 y 30 que asciende a los 21-22° donde fue encendido el sistema de calefacción para la realizar dos eventos.

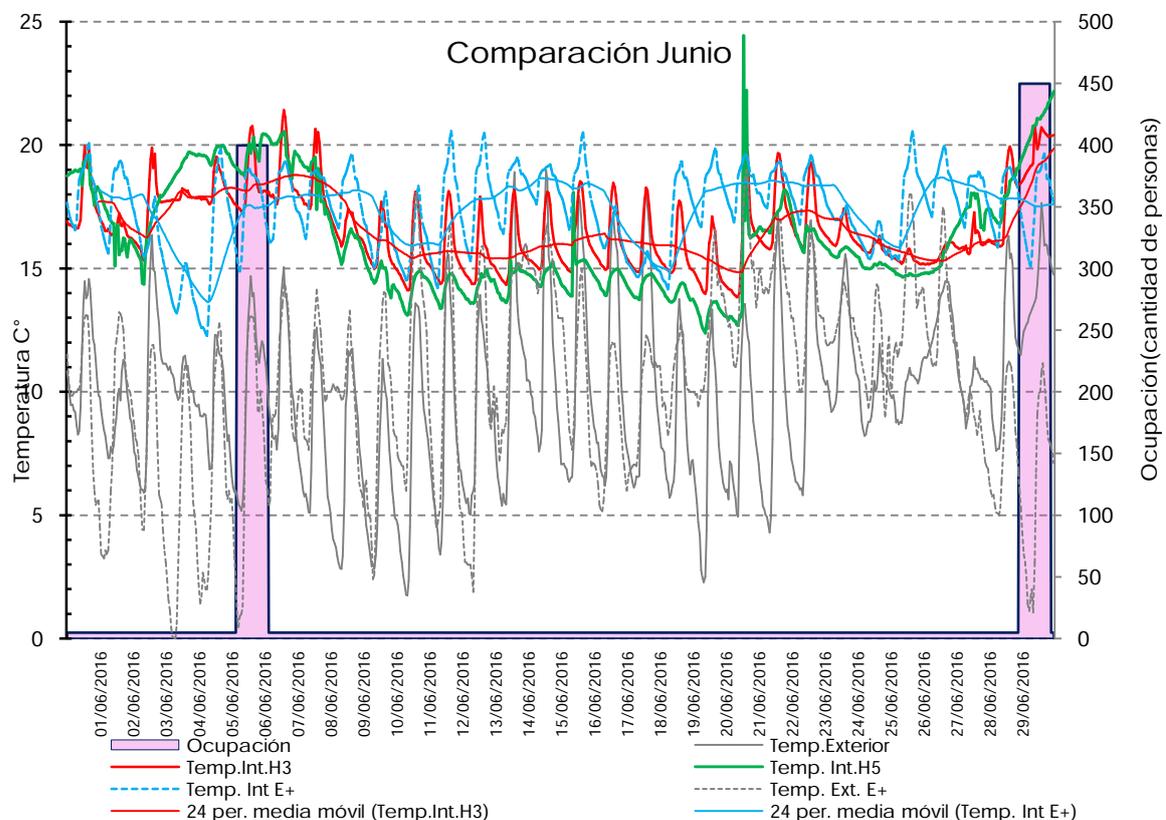


Figura 55: Comparación de temperatura y HR monitoreado en la SM y las simuladas por programa

La figura 55 muestra que a lo largo del mes la temperatura interior monitoreada se encuentra entre 2° a 3°C por debajo de la simulada, sin aporte de energía y con temperaturas exteriores similares. También se observa que para alcanzar la temperatura de confort se requiere del aporte de energía. En ambos casos la temperatura interior copia las variaciones de la temperatura exterior no pudiendo independizarse, aun cuando hay aporte de energía extra.

Si se compara la semana del 3 al 7 junio, se observa en la Figura 56, que la temperatura monitoreada se mantiene entre 14 y 20°C al igual que en la simulación, pero con menores variaciones diarias, aún cuando existe una ocupación intensiva.

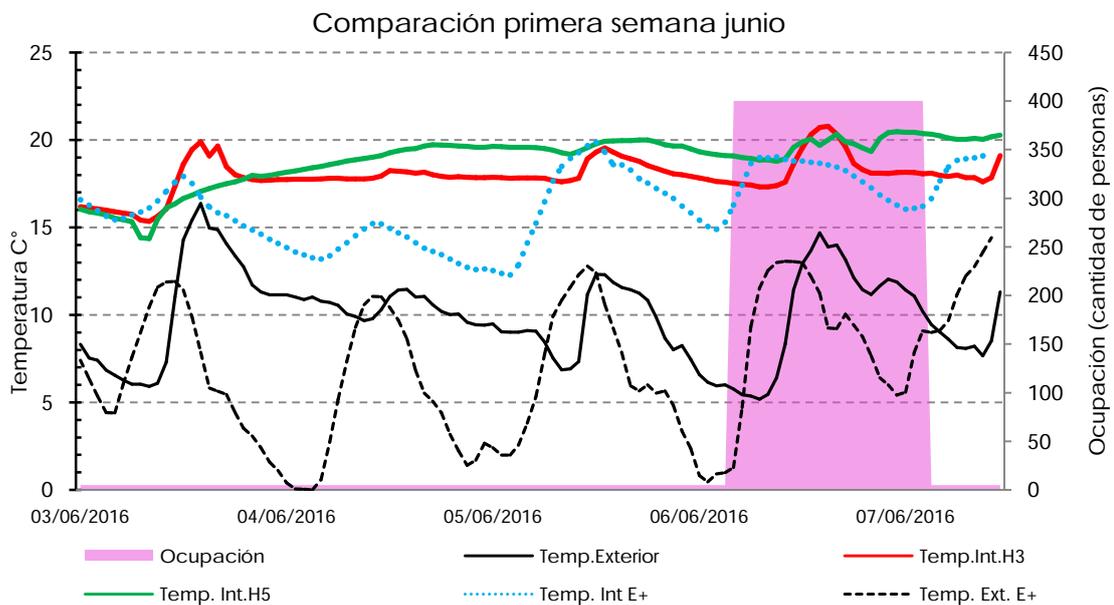


Figura 56. Comparación de temperaturas monitoreada y simulada en la SM

### Comparación verano

En la Figura 57 se muestran los registros monitoreados y los simulados correspondientes al mes diciembre. La simulación predice una temperatura interior entre 20 y 26 °C, con una media de 23°C con aire acondicionado encendido. En el monitoreo real las temperaturas se encuentran 2°C por encima de estos rangos y solamente alcanza la temperatura de confort una vez encendido el equipo de climatización. Aun así, la temperatura interior de la SM se mantiene cercana la zona de confort posibilitando la utilización del 50% de la capacidad del sistema, generando un ahorro de consumo. La temperatura promedio exterior monitoreada supera en 5°C a la de simulación, alcanzando los 35°C, por tanto, el funcionamiento bioclimático de la SM mejoraría la predicción de diseño respondiendo a temperaturas más extremas.

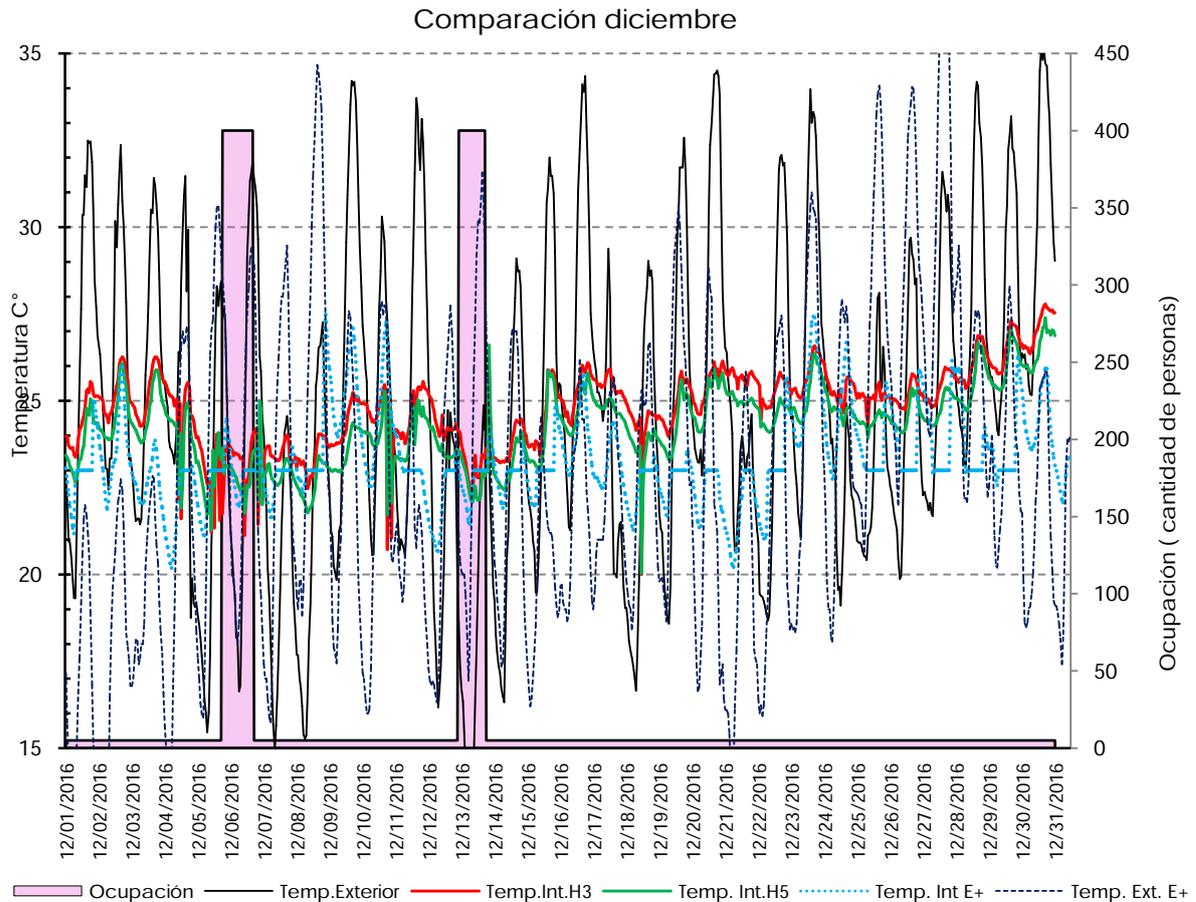


Figura 57. Monitoreo mes de diciembre 2016

La comparación evidencia que el comportamiento térmico de la SM es más favorable en invierno que en verano, requiriendo en esta estación sistemas activos para lograr confort. Esta observación había sido expresada en el informe definitivo de la simulación. Sin embargo, el comportamiento bioclimático del edificio real es más eficaz que el predicho por la simulación, ya que responde a temperaturas más elevadas que las de diseño, teniendo aún mayor intensidad de ocupación.

### Comparación del desempeño en etapa de funcionamiento con caso análogo

En esta instancia se compara la SM con el auditorio de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional de La Pampa, proyecto de las investigadoras Flores Larsen S., Filippin C. y Beascochea A. (2008). Uno de los requerimientos del proyecto fue que el consumo de energía del edificio en calefacción y refrigeración fuera menor al de otro tradicional, a fin de generar un ahorro en su funcionamiento, sin incrementar el costo de su construcción. El auditorio posee 252 m<sup>2</sup> y cuenta con una capacidad para 200 personas sentadas (Figura 58 y Figura 59). Una vez construido este edificio, se evalúa el comportamiento térmico en pleno funcionamiento.

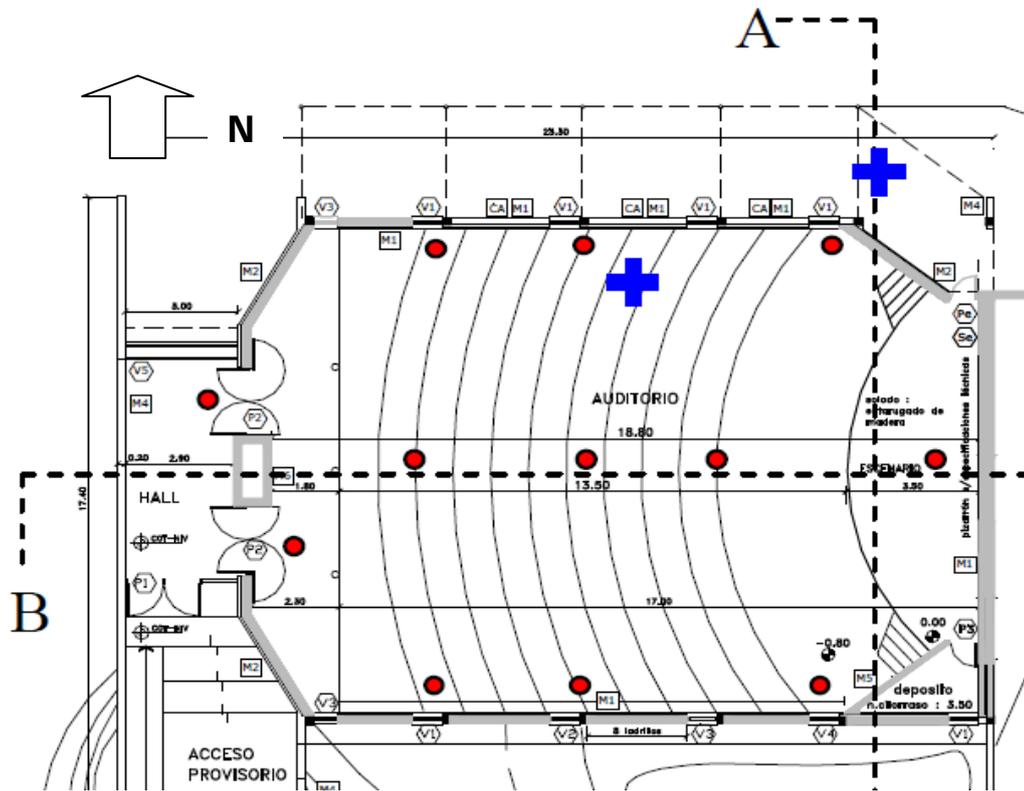


Figura 58: Planta del auditorio. Los círculos rojos indican la ubicación de los sensores de medición

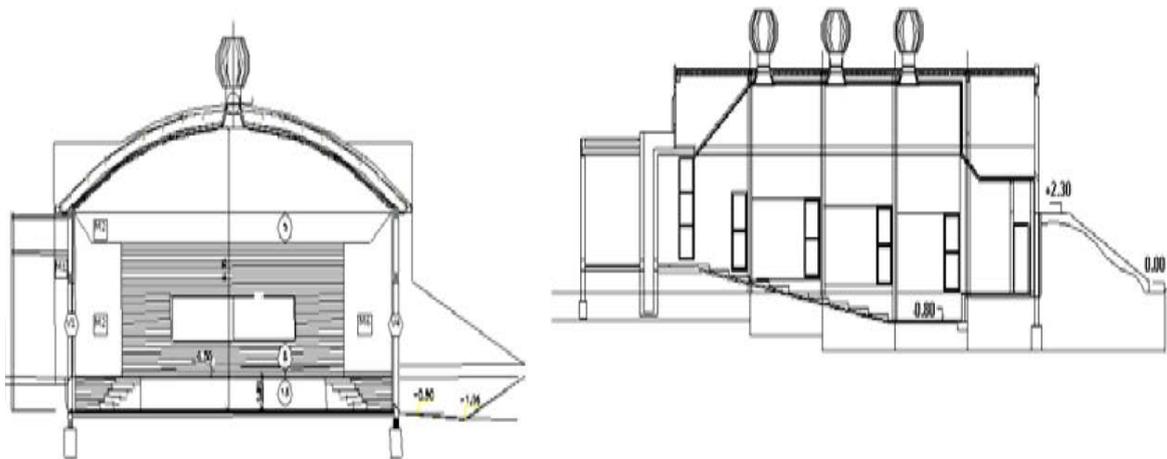


Figura 59: Auditorio pampeano cortes transversales A y B

La SM y el auditorio comparten características funcionales ya que en ambas salas se realizan actividades de uso intermitente y con altas cargas internas debido a la cantidad de público. Ambas construcciones fueron realizadas con tecnología tradicional, la diferencia central radica en que el auditorio se encuentra apoyado sobre el nivel de terreno natural con algunos sectores semi-enterrados, en cambio la SM está totalmente enterrada.

Ambos edificios están emplazados en la zona III según la Norma IRAM 11.603 (IRAM, 2011), pero el auditorio pertenece a la zona IIIa, templado cálido seco y la SM a la zona IIIb, templado cálido húmedo. En la Tabla 10 se pueden observar los datos climáticos de ambas localidades.

VARIABLES A COMPARAR	GENERAL PICO	LA PLATA
Ubicación	LAT: -35°7', LONG: -63°81'	Lat:-34,97, LONG: -57,90'
ASNM	145m	23m
<b>INVIERNO</b>		
Temperatura media	10,4 <sup>a</sup> C	11,08 <sup>a</sup> C
Temperatura max. media	16,6 <sup>a</sup> C	15,7 <sup>a</sup> C
Temperatura min. media	4,2 <sup>a</sup> C	6,5 <sup>a</sup> C
Temperatura de diseño mínima	-6,2 <sup>a</sup> C	-2,5 <sup>a</sup> C
Humedad Relativa	75%	83%
Velocidad media del viento	11 kmh	13 kmh
Grados día de calefacción base 18 <sup>a</sup> C	1271	1210
Grados día de calefacción base 22 <sup>a</sup> C	2244	2228
<b>DATOS CLIMÁTICOS VERANO</b>		
Temperatura media	22,58 <sup>a</sup> C	21,89 <sup>a</sup> C
Temperatura max. media	29,4 <sup>a</sup> C	27,4 <sup>a</sup> C
Temperatura min. media	15,8 <sup>a</sup> C	16,4 <sup>a</sup> C
Temperatura de diseño máxima	-6,2 <sup>a</sup> C	35,5 <sup>a</sup> C
Humedad Relativa	66%	76,2%

Tabla 10: Datos climatológicos de ambas ciudades, fuente propia

Teniendo en cuenta las características climáticas, los autores definen las estrategias de diseño del auditorio a aplicar para los meses más extremos del año:

- Para invierno: ganancia directa e indirecta por colectores solares y la aislación térmica de toda la envolvente. Sistema de calefacción para los meses de mayo a septiembre.
- Para verano: ventilación natural, renovaciones de aire controlada mediante ventilación superior forzada con aspiradores eólicos, masa de acumulación a través de superficies semienterradas, dispositivos de sombreado exterior (vegetación y toldos) y el aislamiento térmico de su envolvente en especial la de su cubierta que posee una cámara de aire ventilada en su interior.

La estrategia apunta a disminuir el consumo y costo energético basándose en el aprovechamiento de energía solar, utilizando colectores solares de aire caliente que se encuentran en los muros exteriores orientados al norte, los cuales trabajan por convección natural, climatizando en forma pasiva el auditorio en invierno. Cuando este sistema no llega a cubrir las necesidades de confort, se enciende la calefacción mediante estufas de TB a gas natural. En verano se considera que las estrategias pasivas incorporadas podrían hacer prescindir del aporte de energía auxiliar cuando la temperaturas exterior no superen los 30°C (Flores Larsen et al., 2008). Con estas estrategias, sumado el aislamiento térmico de toda la envolvente

se busca que el auditorio alcance autosuficiencia energética en las épocas climáticas más extremas.

Algunas de estas estrategias son compartidas por la SM ya que tanto en invierno como en verano la masa térmica, la ventilación pasiva o activa y la aislación térmica de toda la envolvente operan de manera combinada para alcanzar el confort higrotérmico de la sala.

Los edificios poseen objetivos similares, sobre todo el de fomentar la eficiencia energética para disminuir el consumo sin poner en juego el confort ambiental. En la Tabla 11 se resumen las características constructivas de ambos edificios, detalles de cada una de sus envolventes y las estrategias implementadas para alcanzar los objetivos señalados.

AUDITORIO	Sup. 250 m <sup>2</sup>	Datos de la envolvente		Resistencia Térmica	Estrategias pasivas	
		Elemento	Composición	R (m <sup>2</sup> k/W)		
Cap. 200 personas	muro exterior		ladrillo común macizo de 0.18m de espesor, aislación térmica y revestimiento interior de madera machihembrada,	2,13	Aislación térmica de la envolvente	
					Ganancia directa	
	cubierta		una cubierta parabólica de chapa galvanizada, aislación térmica y cielorraso interior de madera	2	Renovación de aire controladas	
					Ventilación natural	
aberturas		La carpintería perfilaría de aluminio y vidrio doble	3,5	Masa de acumulación a través de superficies semi-enterradas		
SALA MULTIPROPÓSITO	Sup. 600 m <sup>2</sup>	muro exterior	en contacto con la tierra: revoque interior, muro de 0,15 ladrillo hueco, membrana asfáltica tabique de H°A° 0,15 espesor, suelo natural	1,16	Aislación térmica de la envolvente	
					Iluminación natural	
	Cap.450 personas	cubierta		cielorraso acústico, lana de vidrio 0,07 esp., losa pretensada 0,12 esp., capa de compresión, contrapiso termoaislante 0,18 m esp. Carpeta cemento, aislación hidrófuga	5,9	Ventilación natural cruzada
						Masa de acumulación
aberturas		La carpintería de aluminio y vidrio DVH 6+12+6	0,38	Renovación de aire		

Tabla 11: Datos de la envolvente y estrategias de ambos edificios, elaboración propia

Dentro de este análisis comparativo se evalúa el comportamiento térmico-energético de ambos edificios para los meses de invierno y verano.

### Comparación invierno

En invierno, el auditorio es monitoreado en dos momentos: en vacaciones con el edificio vacío y sin sistemas activos para analizar estrategias bioclimáticas, y el

segundo en plena actividad, con ocupación y cargas internas. Las temperaturas promedio de la primera semana oscila entre los 9°C en el exterior y 15°C en su interior. El monitoreo de la segunda semana registra una temperatura exterior promedio de 9,5°C y de 22,8 °C la interior, con la calefacción encendida. La temperatura promedio general fue de 20°C siendo prácticamente independiente de las exteriores. Para este periodo se midió un consumo de energía de 0,94 KWh/m<sup>2</sup> día (Flores Larsen et al., 2008).

Para la época de invierno la SM registra una temperatura promedio de 9,5°C y 18°C interior sin ocupación ni cargas internas. En la semana del 6 al 8 de julio la sala fue ocupada por 300 personas registrando una temperatura de 9,8 °C en el exterior y 21,5°C en su interior. Por lo tanto, el promedio es de 20 °C al igual que en el auditorio. Para este periodo se midió un consumo de 0,82 KWh/m<sup>2</sup> extraído de los datos de Auditcad de la EAE. En las Figura 60 y 61 se observa las semanas de ambos edificios funcionando con sistema de calefacción y ocupación intensiva. La primera semana de septiembre fue la elegida para el auditorio y la primera de junio para la SM.

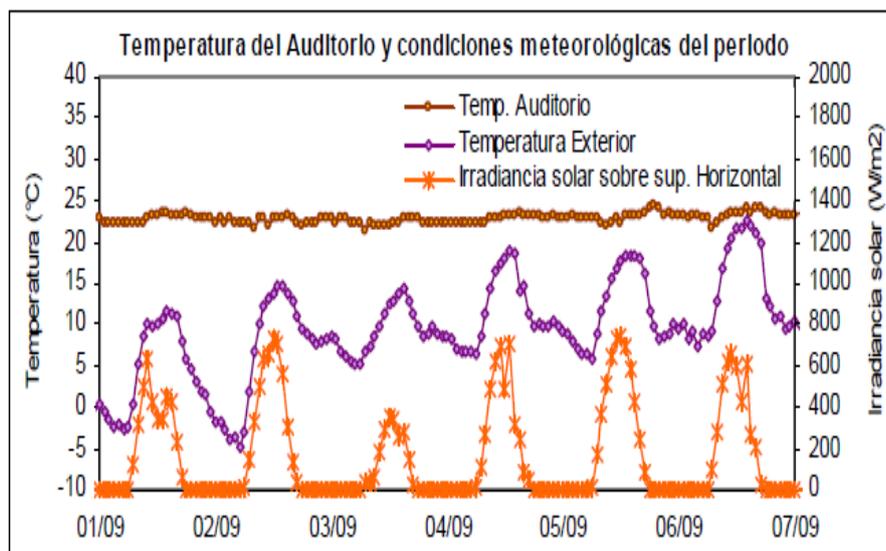


Figura 60: Comportamiento térmico del auditorio mes de septiembre. Fuente: Flores Larsen, 2008

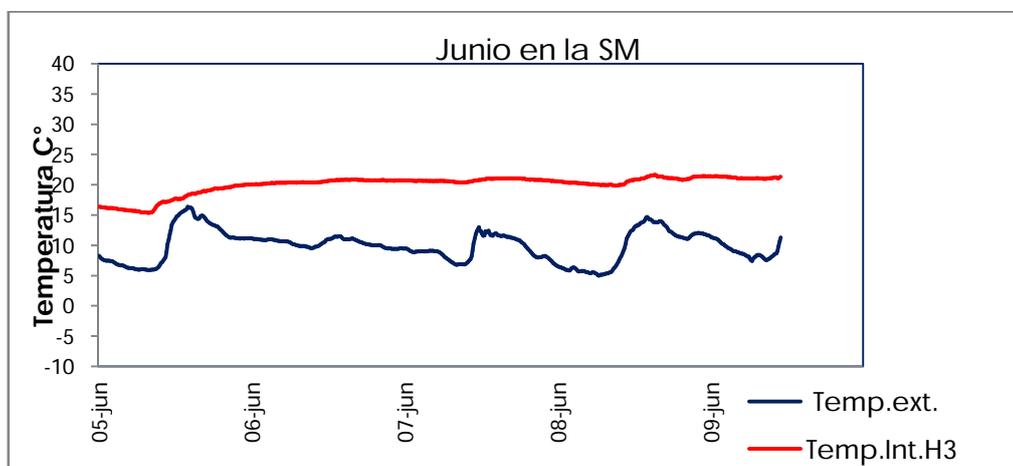


Figura 61: Comportamiento térmico de la Sala mes de junio, fuente propia

## Comparación verano

Según indican las autoras, "un edificio no residencial de ocupación discontinua en fase solar, el comportamiento térmico durante las horas de sol es más peligroso" (Flores Larsen et al., 2008, p. 45). Las mediciones de temperatura interior del auditorio se ubica entre 23,3°C y 27°C, cuando la exterior varía entre los 20,8°C y 30°C en la segunda semana de noviembre (Figura 62).

Por tanto, el edificio alcanza el confort ya que raramente se llega a los 27°C de temperatura en su interior. Para el caso de llegar a los 28°C se requiere de un equipo de refrigeración adicional (Flores Larsen et al., 2008).

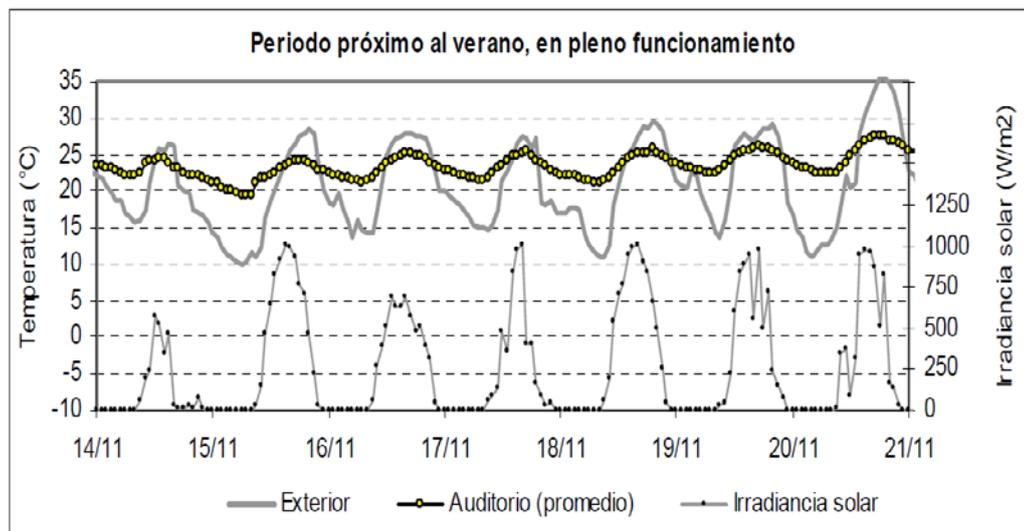


Figura 62: Confort térmico del Auditorio medido en el mes de noviembre. Fuente Flores Larsen, 2008

El comportamiento de la SM para la primera quincena de diciembre indica una temperatura interior promedio de 25°C y una exterior que se ubica entre los 25°C y 35°C (Figura 62). Durante el monitoreo se realizan dos eventos el día 6 y 14, que cuentan con una ocupación de 400 a 450 personas respectivamente. Para mantener las condiciones de confort se encendió uno de los dos equipos de refrigeración, utilizando el 50% de la capacidad de los mismos.

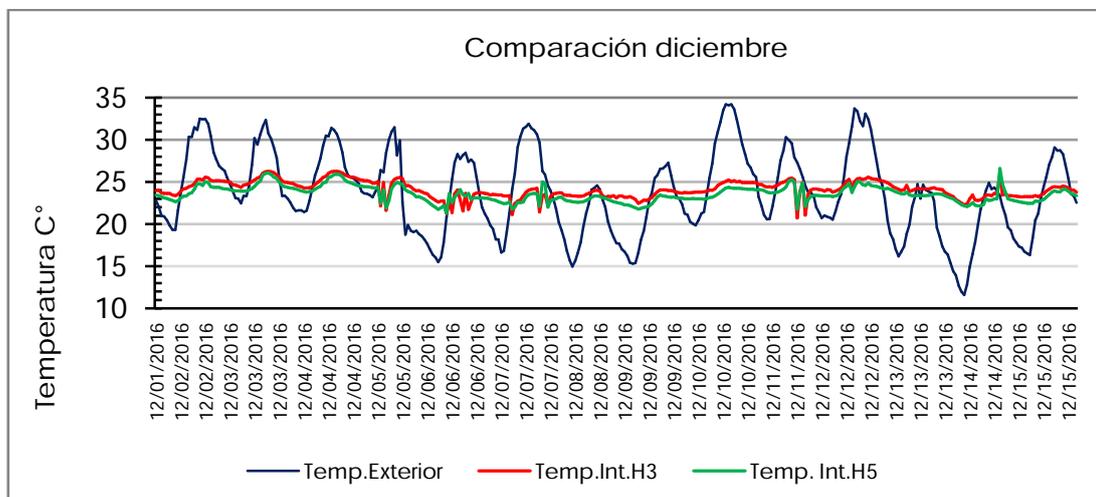


Figura 63: Comportamiento térmico SM diciembre, elaboración propia

La puesta en marcha del equipo resulta como consecuencia de la elevada ocupación y al calor acumulado gracias a la inercia térmica de la SM luego de varios días de altas temperaturas exteriores. Se puede inferir que en verano, al igual que en el auditorio, resulta más complejo alcanzar el confort sin recurrir al encendido de sistemas activos.

Una ventaja que posee el auditorio es que logra ventilar el ambiente durante la noche, eliminando el exceso de calor interior debido a la amplitud térmica existente en esa región. En cambio, en la SM esto sucede esporádicamente o de manera más lenta debido a que en la noche continúan las elevadas temperaturas.

En el Tabla 12 se resumen los resultados del comportamiento térmico de ambas salas en relación a las características espaciales y de sus envolventes. Ambos edificios cumplen con la norma IRAM 11604/86 ya que el coeficiente global de pérdida "G" se encuentra por debajo del valor admisible en ambos casos.

	Sup.	Vol.Calef.	Sup.Envol.	Capacidad	Indice comp.	Coef.Global.Perd. G	Consumo Energético
	m2	m3	m3	personas	%	IRAM 11604	
<b>AUDITORIO</b>	252	1800	937	200	88	0,89w/m3k	0,94 KWh/m2
<b>SM</b>	600	2112	1184	450	71	0,69 W/m3k	0,82 KWh/m2

Tabla 12. Comparativa de los edificios



## 6 Conclusiones

La aplicación de la AEA ha permitido mensurar los alcances logrados en la Sala Multipropósito del Instituto José Manuel Estrada de City Bell, proyectada y ejecutada en función de las estrategias bioclimáticas de diseño, y de su análisis se desprenden las siguientes conclusiones:

La SM funciona salvo puntuales excepciones sin el aporte de sistemas activos debido a que el funcionamiento bioclimático proporciona naturalmente condiciones de confort, esto contribuye al objetivo central de ser un edificio de bajo consumo. Las temperaturas interiores promedian los 18°C para invierno y 24°C para verano, generándose así una autorregulación térmica del ambiente, aunque en momentos específicos se requiera de energía para acceder al confort.

El principal motivo es el aislamiento térmico de la envolvente y la inercia térmica, ambos vinculados a la decisión proyectual de ser un edificio enterrado, ya que la temperatura de la tierra oscila entre los 16 y 18°C, compensando los saltos térmicos que se producirían si la sala se apoyara sobre la superficie. De esta manera se vuelve a ponderar el beneficio de utilizar los recursos que cuenta el sitio de emplazamiento, los cuales no generan ningún costo extra, todo lo contrario, producen ahorro.

Además de los aspectos térmicos, la alianza iluminación y ventilación natural provee confort sin utilizar tecnologías sofisticadas para un edificio enterrado, que en definitiva encarecen el uso y mantenimiento. Este binomio también ha contribuido a que los usuarios encuentren a la SM como un espacio agradable, basado en su calidad ambiental, acústica y constructiva. Resta resolver las divergencias respecto del confort térmico donde se evidencian disparidad de sensaciones. Estas afirmaciones se basan en las evaluaciones cuali-cuantitativas realizadas, siguiendo pautas metodológicas de la bibliografía.

Desde el punto de vista del consumo energético, el funcionamiento de la SM ha provocado un incremento del 15% respecto del edificio escolar, aun así logro revertir la tendencia de consumo que venía registrando el antiguo edificio en menos de un 25% por m<sup>2</sup> habiéndole sumado un tercio más a su superficie total. Este ahorro se explica al observar las estrategias bioclimáticas utilizadas en la adición, e impulsa a la incorporación de mejoras en otros sectores del edificio que se detallan en el ANEXO 3.

La simulación dinámica es una herramienta muy potente que se utiliza globalmente para evaluar la eficacia de distintas estrategias de diseño en instancias de proyecto. Sin embargo, no siempre se cuenta con la comprobación empírica de sus resultados, lo que atenta contra la fidelidad de ellos. El análisis comparativo presentado en este trabajo ha servido para validar la simulación dinámica como herramienta de predicción de la demanda energética. En el

presente caso de estudio, la simulación con Energy Plus permite reflejar la condición real con mayor precisión en periodos de calefacción que en periodos de refrigeración.

La fase comparativa para edificios no residenciales de uso intermitente y altas cargas internas también ha servido para concluir que el auditorio pampeano como la SM han logrado ahorrar energía implementando distintas estrategias, el primero con mayor aislación del edificio, ganancia solar directa e indirecta y masa por acumulación. El segundo también con aislación, pero en base a inercia térmica y ventilación natural. El consumo final del auditorio fue de 0,94 KWh y el de la SM de 0,84 KWh.

A modo de síntesis se anexa una tabla con los alcances logrados por la SM según indicadores de desempeño energético-ambiental en edificios:

U A	Estrategias	Parámetro medidos	INDICADORES				Observaciones	
			Norma	rango	Nivel alcanzado	Cumple		Reduce
ALA MULTIPROPOSITO	Eficiencia energética	Característica de la envolvente	IRAM 11605	invierno	"B"	SI	cumple con la norma 13059/03, decreto 1030/10	
		verano		"A"	SI			
		energía en calefacción	IRAM 11900/09	$t_m =$ entre 1 °C y 4 °C	1,29 °C Etiqueta "B"	SI	cumple con la norma 13059/03, decreto 1030/10	
		energía en refrigeración	IRAM 11659/2	G adm.= 17,8 w/m3	10,5 w/m3	SI	cumple con la norma 13059/03, decreto 1030/10	
		Coef.Vol.G (ahorro energía en calefacción)	IRAM 11604	G adm.= 1,23 w/m3k	0,62	SI	45%	El volumen de pérdida global G respecto del valor admisible
	costo del consumo energético					25%	Respecto consumo por m2 previo a SM	
	Calidad ambiental	Acústica	ISO 3382/97	1,5 TR	1,25 TR	SI		TR: tiempo de reverberación
		Confort Higrotérmico	IRAM 11601			SI		Según monitoreo de campo.
		según encuestas			85%			Nivel de aceptación SM
		Higiene y seguridad				SI		Según CABA 4458/03

Tabla 13: Tabla síntesis de las estrategias incorporadas y su grado de alcance en la SM, elaboración propia

Por último, este trabajo rescata la importancia de rehabilitar ambientalmente a los edificios escolares, promoviendo la autosuficiencia y eficiencia en el manejo de los recursos naturales. Esto no solo contribuye a obtener beneficios económicos o ambientales, sino sociales, ya que el nuevo andamiaje de la construcción sustentable comienza desde un cambio cultural, en este caso desde las etapas iniciales de la educación formal.

## Bibliografía

- Aranguren, J. J., Redondo, D., Roitman, M., Alzieu, P., Baigorria, S., Barbarán, G., ... Valles Puertas, D. (2017). *Escenarios Energéticos 2030 -MINEM- (ARGENTINA)*.
- Arcas Abella, J., Pagès Ramón, A., & Casals Tres, M. (2010). Habitabilidad, la otra clave de la edificación sostenible. In *SB10mad Sustainable Building Conference* (pp. 1–12). Madrid.
- Baragatti, A. M. (2016). La eficiencia y el ahorro energético. Bases conceptuales. In D. Pasquevich (Ed.), *Hacia el uso racional y eficiente de la energía en la Administración Pública Nacional* (IEDS-CNE, pp. 37–61).
- Buenos Aires Provincia. (2018). Censo Provincial de Matrícula Educativa 2017 Provincia de Buenos.
- Cavedo, C. (2015). *Infraestructura escolar 2016-2025*. Cámara Argentina de la Construcción.
- CEN. (2014). *EN 16247-2. Auditorías Energéticas. Parte 2: Edificios*.
- Czajkowski, J. D. (2009). Análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados.
- Czajkowski, J. D. (2012). *Eficiencia energética edificación. Modelización y simulación mediante tipos y simulación*. (E. E. A. Espanola, Ed.) (1a.).
- Czajkowski, J. D., & Gómez, A. F. (2007). *Arquitectura Sustentable*. (Clarín, Ed.) (1a.). Clarín.
- Czajkowski, J., Gil, S., & Strier, D. (2017). *CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE Eficiencia Energética en la Construcción : oportunidades para incrementar el confort del hábitat , ahorrar energía y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero*.
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549–561.
- Diulio, M. de la P., Ferreyro, C., Ferenz, V., Calisto Aguilar, M., Gómez, A., & Czajkowski, J. (2018). Experiencia en docencia de instalaciones: Gas natural y diseño ambientalmente consciente. In *Actas del Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA)* (Vol. 2, pp. 152–161). La Plata. Retrieved from
- Edwards, B., & Hyet, P. (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. (GG, Ed.). Barcelona: GG.
- Flores Larsen, S., Filippín, C., & Beascochea, A. (2008). Eficiencia energética en un edificio no-residencial de uso intermitente y altas cargas internas en Argentina. *Ambiente Construido*, 37–48.
- Gil, S. Introducción a la Energía Solar Térmica y Eficiencia Consumo residencial de gas natural Consumos pasivos en los sistemas de calentamiento de agua sanitaria (2018).
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Decreto reglamentario N° 1030/10 de la Ley N° 13059 "Condiciones de Acondicionamientos Térmico exigibles en la construcción de edificios" (2010).
- Godoy Muñoz, A. (2012). *El confort térmico adaptativo Proyecto Final de Mater (PFM)*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- IPCC. (2017). The IPCC and the Sixth Assessment cycle. *IPCC Leaflets*, 4.

- IRAM. (1996). *IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.*
- IRAM. (2001). 11604. Aislamiento térmico de edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites.
- IRAM. 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo. (2010).
- IRAM. (2012). *IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.*
- ISO. Norma UNE-EN ISO 3382-1. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos (2010).
- Legislatura de la Provincia de Buenos Aires. Ley N° 13059/03. Condiciones de acondicionamiento térmico exigibles en la construcción de los edificios. (2003).
- Margulis, D. (2014). *Análisis de los determinantes de la demanda residencial de energía eléctrica en argentina.* Universidad de Buenos Aires.
- Mazria, E. (1983). *El libro de la energía solar pasiva.* México: Gustavo Gili.
- Monterotti, C., Cuchí Burgos, A., & Serra Florensa, R. (2013). Universitat politècnica de catalunya departamento de construccions arquitectòniques i àmbits de investigació sobre la energia y el medio ambiente en la arquitectura, 296.
- Pezzi, C. (2010) *Un Vitruvio ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible.* Gustavo Gill.
- Prieto, R., Lezama, J. M., & Gil, S. (2014). *Potenciales ahorros de gas en la Argentina por mejoras en los sistemas de calentamiento de agua.*
- San Juan, G., & Discoli, C. (2003). Curso de posgrado en diseño ambiental. El Espacio Físico Educativo. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 25–30.
- Sánchez, D., Sánchez-Guevara, C., & Rubio, C. (2016). El enfoque adaptativo del confort térmico en Sevilla = The adaptive approach to thermal comfort in Seville. *Anales de Edificación*, 2(1), 38.
- Wadel, G., Álvarez-Ude, L., Volpi, L., & Serra Rocha, P. (2012). Modelo de rehabilitación ambiental para edificios terciarios: el caso del palacio de congresos europa de vitoria-gasteiz 1. In *Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes* (pp. 52–64). Sevilla.

# ANEXO 1 Aspectos constructivos de la SM

Cálculo de la transmitancia térmica de los componentes de la envolvente-Norma IRAM 11601/02

CUBIERTA SM				MURO EN CONTACTO CON TIERRA			
ELEMENTO: CUBIERTA	e espesor de cada capa m	$\lambda$ coef. Cond. Térmica W/m.K	R resistencia térmica m2K/W	ELEMENTO: MURO EN CONTACTO C/TIERRA CONSTRUCTIVO	e espesor de cada capa m	$\lambda$ coef. Cond. Térmica W/m.K	R resistencia térmica m2K/W
Resistencia superficial exterior	---	---	0,04	Resistencia superficial exterior	---	---	0,04
carpeta cemento	0,04	0,89	0,04	Revoque grueso	0,015	0,051	0,29
Contrapiso alivianado con perlitas	0,18	0,051	3,53	Ladrillo hueco 12x19x33	0,12	0,36	0,33
capa compresión	0,5	1,63	0,31	Membrana asfáltica	0,004		---
Losa pretensada	0,16	0,86	0,19	Muro de Hormigon Armado	0,15	0,41	0,366
Lana de vidrio	0,07	0,04	1,75		---	---	---
	---	---	---	Resistencia superficial interior	---	---	0,13
Resistencia superficial interior	---	---	0,13	TOTAL	0,289		1,16
TOTAL	0,91		5,99	Transmitancia térmica del componente W/m2.K			<b>0,86</b>
Transmitancia térmica del componente W/m2.K			<b>0,17</b>				

Figura 64: Calculo de transmitancia térmica envolvente

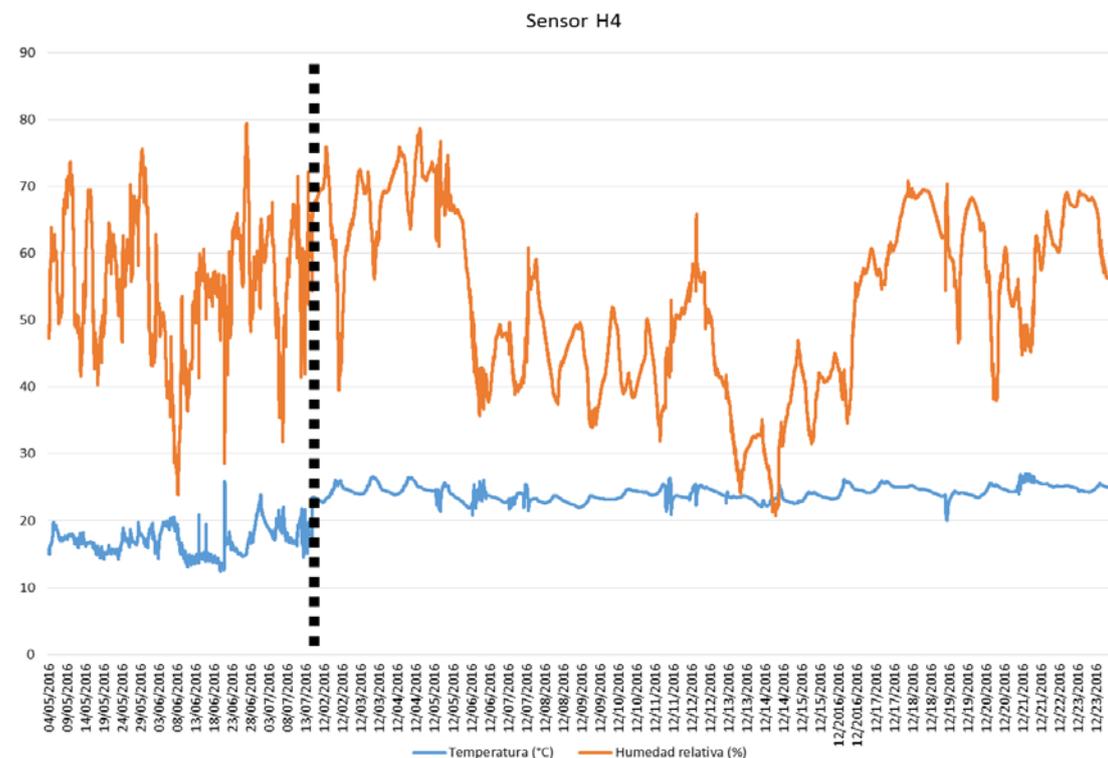
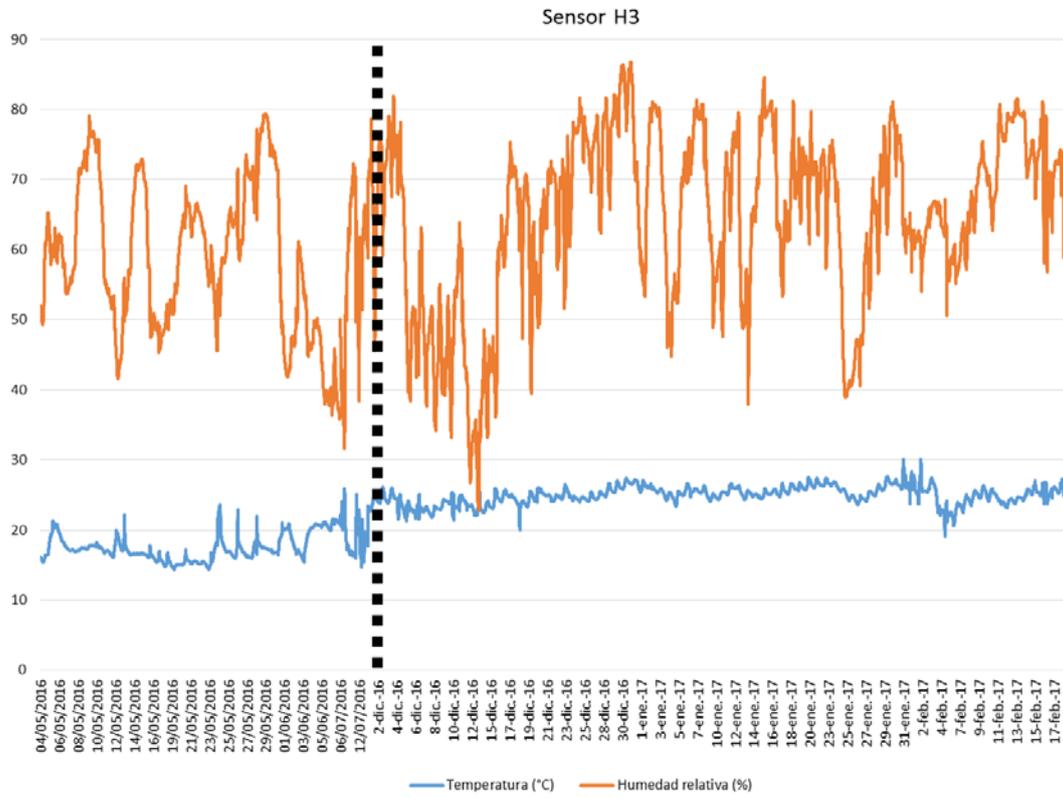
CERRAMIENTO DE ALUMINIO			
. Ventana simple Al. de 2 cámaras	K= 2,61 W/m2.K	vidrio	17 m2
. DVH inc-inc. 6-12-6	K= 2,8 W/m2.K	marco	9 m2
. Perfiles de Al cámaras con refuerzo	K= 2,2 W/m2.K	hoja	4 m2
Balances de superficies	$= \frac{\sum(K_i \cdot S_i)}{\sum S_i} =$	<b>total</b>	<b>30 m2</b>
			<b>= 2,59 W/m2.K</b>
		$\frac{77,84}{30}$	
		<b>2,59 W/m2.K</b>	es menor que $K_{adm} =$
			<b>4 W/m2.K</b>

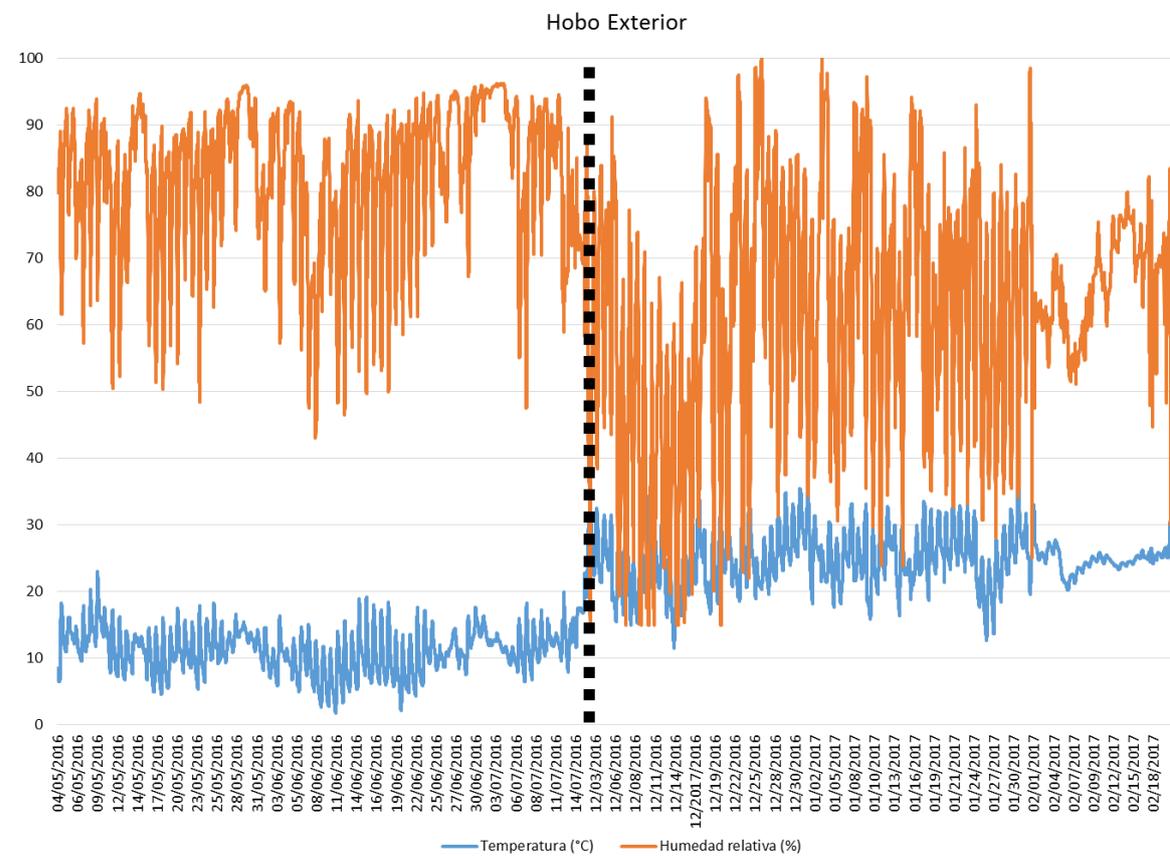
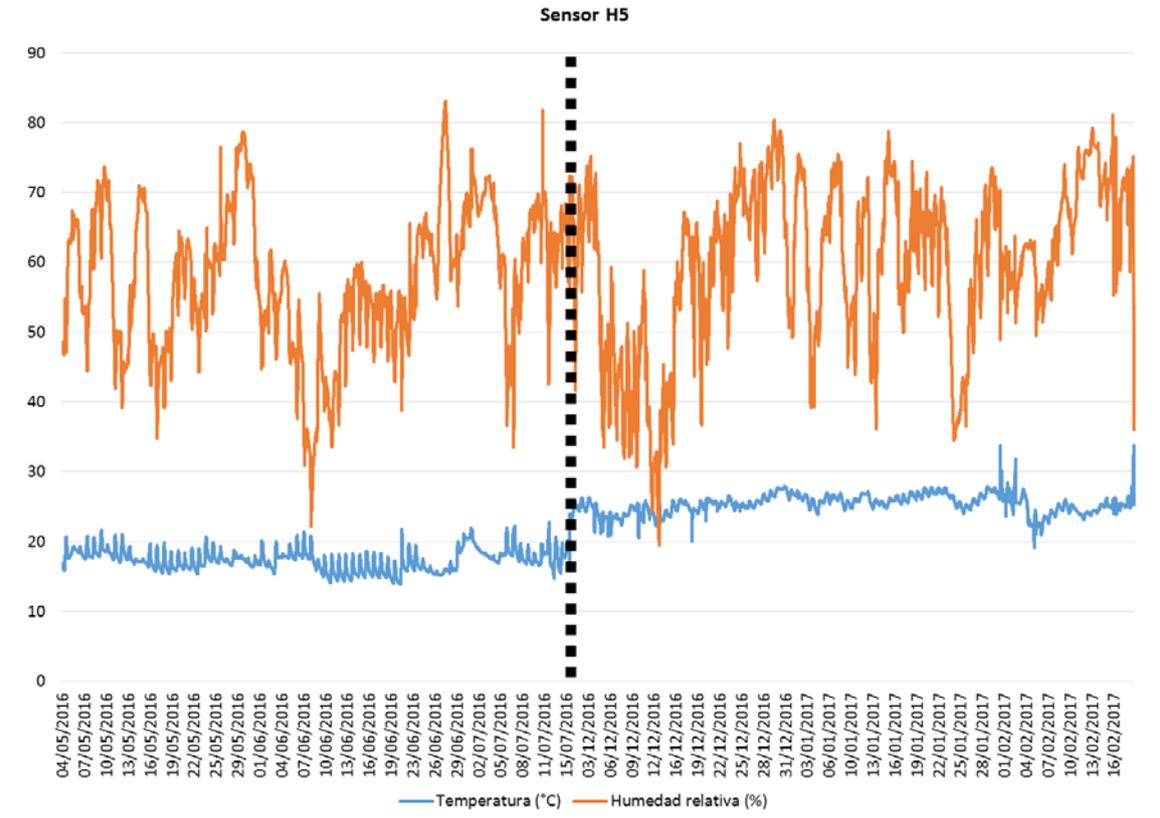
Figura 65. Transmitancia superficies vidriadas



# ANEXO 2 Mediciones en Sala Multipropósito

Registros obtenidos para la fase AEA evaluativa





## ANEXO 3 Encuestas socio-ambientales

1 SALA MULTIPROPÓSITO (SM)			
1. OPINIÓN DE CONFORTABILIDAD AMBIENTAL		marque con una cruz	comentarios
Para usted la sala es?			
1,	Muy agradable		
2,	agradable		
3,	neutra		
3,	desagradable		
4,	muy desagradable		
2. OPINIÓN SOBRE CONFORT TÉRMICO		marque con una cruz	comentarios
Para usted la sala es?			
1,	muy fría		
2,	fría		
3,	neutra		
4,	cálida		
5,	muy cálida		
3. OPINIÓN SOBRE LA LUMINOSIDAD (LUZ NATURAL)		marque con una cruz	comentarios
Para usted la sala es?			
1,	muy oscura		
2,	oscura		
3,	neutra		
4,	luminosa		
5,	muy luminosa		
4. OPINIÓN SOBRE LA SONORIDAD O ACUSTICA		marque con una cruz	comentarios
Para usted la sala es?			*
1,	muy mala		
2,	mala		
3,	neutra		
4,	buena		
5,	muy buena		
5. OPINIÓN SOBRE LA EDIFICACIÓN		marque con una cruz	comentarios
Para usted es ?			
1,	muy buena		
2,	buena		
3,	neutra		
3,	mala		
4,	muy mala		

Encuestado nombre y apellido:

rol que desempeña:



## ANEXO 4 Mejora en cubierta SM

De acuerdo a los resultados obtenidos en la AEA se pudo observar que el 33% de incidencias por pérdidas en la envolvente se produce en la cubierta de la SM, por lo tanto se propone dos alternativas para dar respuesta a esta problemática. La primera apunta a mejorar la aislación térmica de este elemento, la segunda intenta evitar la incidencia solar directa que eleva considerablemente las temperaturas del patio provocando el efecto "isla de calor", aminorándose así la temperatura interior de la SM en verano, siendo esta la época del año que presenta las mayores dificultades térmicas, sobre todo si se combina con factores de ocupación intensiva.

La propuesta se basa en colocar cobertores entramados tensados (Figura 66) por encima de la superficie del patio conformando sectores semi-cubiertos a los cuales se les puede asociar vegetación acorde y de estación. De esta manera se podrá disminuir la incidencia solar directa, posibilitando hacer más confortable la utilización del patio en meses de primavera y verano. Esta solución además protegerá de las altas temperaturas la erosión que hoy se produce sobre el acabado superficial del patio, siendo esta a base de caucho.



Figura 66 Cobertura tensada propuesta para el patio escolar

La segunda propuesta se basa en hacer un nuevo solado apoyado sobre tacos generando una cámara de aire entre este y la superficie de caucho actual a modo de techo sombrilla. El mismo puede ser ejecutado en baldosones de cemento alivianado apoyados sobre distribuidores de carga donde apoyan los vértices de las distintas lajas (Figura 67). Las dos propuestas presentadas no implican reformas estructurales del edificio actual.



Figura 67: Imágenes de la cubierta a modificar y de la tecnología elegida