



Pontificia Universidad Católica Argentina
“Santa María de los Buenos Aires”
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

Carrera Ingeniería Ambiental

Trabajo Final:

“Impacto del retrofit en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la resiliencia urbana en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires”

Fecha de Presentación: 01/10/2024

Alumna: María Eugenia Rant

Legajo: 15-190080-0

Director de Carrera: Mg. Pablo E. Buscemi

Tutor: Ing. Federico García Anaya

Índice

1. Introducción	3
2. Contexto Actual	6
2.1. <i>Problemática</i>	6
2.2. <i>Marco Regulatorio</i>	7
3. Objetivos	11
4. Hipótesis	12
5. Desarrollo y Análisis	13
5.1. <i>Metodología de cálculo y modelo</i>	13
5.2. <i>Definición de la Unidad Funcional</i>	14
5.3. <i>Definición de los Períodos</i>	19
5.4. <i>Parámetros e indicadores</i>	20
5.5. <i>Caso Inicial</i>	27
5.6. <i>Caso de Retroadaptación o Retrofit</i>	37
6. Evaluación de Resultados	53
6.1. <i>Evaluación Económica</i>	53
6.2. <i>Evaluación de Emisiones</i>	56
6.3. <i>Evaluación Social</i>	57
7. Conclusiones	59
Anexo 1: Tablas de factores y constantes	61
Anexo 2: Definiciones	69
Anexo 3: Plano Modelo de Unidad Funcional	71
Anexo 4: Presupuesto para Capa de Durlock	72
Referencias	76

Índice de Figuras

Figura 1: Modelo descriptivo del Efecto Invernadero.....	3
Figura 2: Distribución porcentual de las emisiones de GEI de la Ciudad de Buenos Aires para el año 2021 entre sectores y subsectores.....	6
Figura 3: Distribución según Tipo de Vivienda - Prueba Piloto	15
Figura 4: Distribución según Tipo de Vivienda	16
Figura 5: Distribución de ambientes climatizados y no climatizados.....	18
Figura 6: Distribución de zonas térmicas y de la envolvente	18
Figura 7: Temperaturas Medias del último año	19
Figura 8: Esquema de transmitancia de calor en elemento constructivo	20
Figura 9: Desglose del Requerimiento de Energía Primaria por Uso.....	21
Figura 10: Factor de forma según orientación de la cara	25

Figura 11: Estructura de una pared exterior	27
Figura 12: Estructura de una pared exterior con aislante	40
Figura 13: Plano Modelo de Unidad Funcional.....	71

Índice de Tablas

Tabla 1: $K_{MAX ADM}$ para cada tipo de cerramiento.....	10
Tabla 2: Distribución de Población según tipo de Vivienda.....	16
Tabla 3: Estadísticas Normales de Temperatura Media de los Meses a Evaluar	20
Tabla 4: Propiedades de materiales componentes de un muro exterior.....	29
Tabla 5: Valores de IPE según diversas fuentes y metodologías	37
Tabla 6: Criterios para Selección de Materiales.....	39
Tabla 7: Tabla de Resultados.....	53
Tabla 8: Variables para cálculo de período de reintegro.....	54
Tabla 9: Resultados de Período de reintegro (T)	55
Tabla 10: Resultados de la Tasa de incremento anual del precio de la energía (r).....	56
Tabla 11: Ahorro Total de Energía.....	56
Tabla 12: Emisiones equivalentes ahorradas	57
Tabla 13: Porcentajes de CO ₂ equivalente ahorrados	57
Tabla 14: Factor de conversión de energía neta a energía primaria	61
Tabla 15: Rendimientos medios de distintos equipos de calefacción.....	61
Tabla 16: Factor de corrección del intercambio térmico con ambientes no climatizados	62
Tabla 17: Resistencias superficiales en m ² K/W	62
Tabla 18: Factores de corrección por puentes térmicos	62
Tabla 19: Rendimientos medios de distintos tipos de equipos de refrigeración	63
Tabla 20: Parámetros de Materiales Aislantes.....	64
Tabla 21: Promedio de variables asociadas al IPE por tipología y promedio total (150 viviendas)	65
Tabla 22: Presupuesto de Materiales Aislantes Propuestos	66
Tabla 23: Conductividades térmicas de materiales.....	67
Tabla 24: Resistencia térmica de mampostería de ladrillos y bloques cerámicos	68

1. Introducción

A escala global, las temperaturas han subido como resultado del aumento de gases de efecto invernadero (GEI). En el Protocolo de Kioto de 1997 se definen los GEI, siendo estos el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Luego, en la Cumbre de Doha del 2012 se agrega a la lista el trifluoruro de nitrógeno (NF_3).

A continuación se muestra un esquema del efecto invernadero¹:

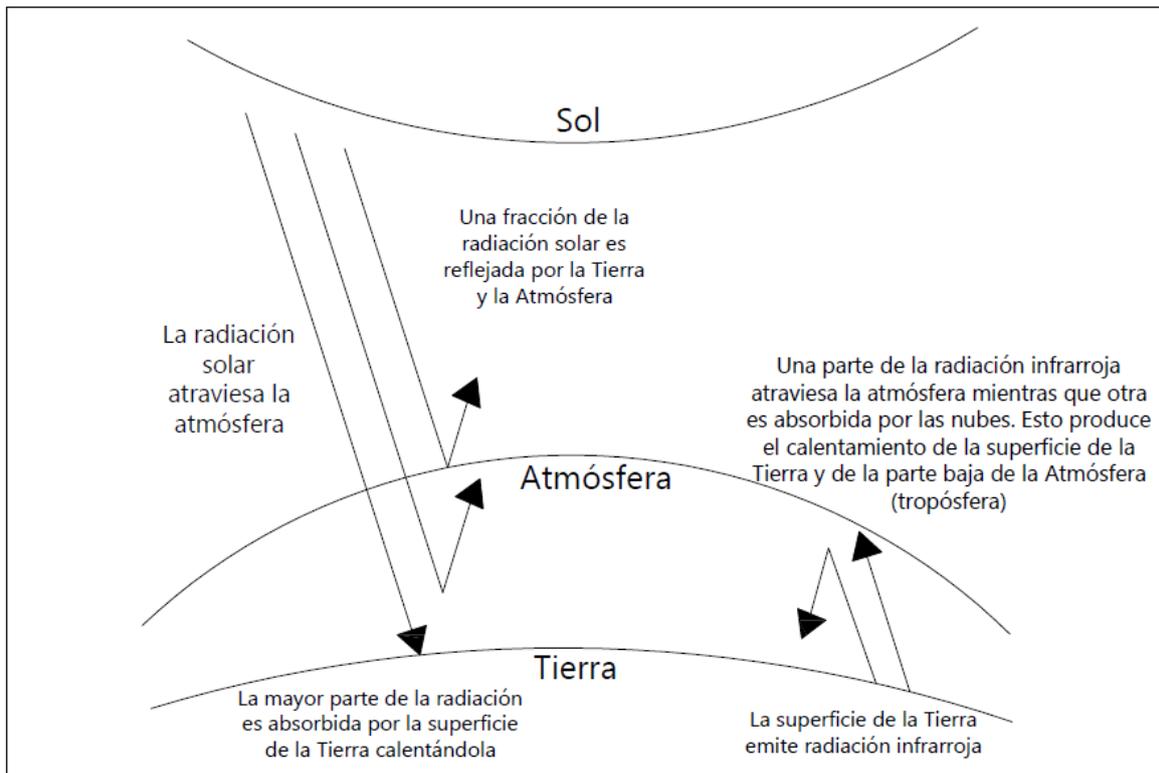


Figura 1: Modelo descriptivo del Efecto Invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno geofísico que permite la existencia de la vida en nuestro planeta, tal y como la conocemos. Se lo entiende como el aprisionamiento del calor procedente del Sol gracias a la existencia en la baja atmósfera, la troposfera, de gases como el CO_2 y el CH_4 , mencionados anteriormente, de tal forma que la temperatura media de la Tierra se mantiene en torno a un valor de, aproximadamente, 17°C , muy por encima del punto de congelamiento del agua (0°C).

Igualmente, cuando se habla de efecto invernadero se suele referir al sobrecalentamiento de la atmósfera atribuido al exceso de los GEI que absorben radiación infrarroja, emitida desde la superficie de la Tierra, pero que son transparentes a la ultravioleta y la visible, lo que implica un desequilibrio del balance térmico terrestre y una elevación de la temperatura media del planeta por arriba de los 17°C . Gran parte de la comunidad científica internacional afirma que la emisión continua y en aumento de gases productores de efecto invernadero es la causa del incremento de la temperatura media global que se viene registrando en los últimos cien años. Cuando la contaminación se emite a la atmósfera, los gases naturalmente existentes del invernadero aumentan. La abundancia de estos gases forma una manta, que atrapa calor adicional en la superficie de la tierra. El efecto que se produce es el aumento del

¹ Elaboración propia

efecto invernadero, que es lo que se conoce como Cambio Climático, el cual se puede definir como la “variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos” (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013).

Entre las principales causas del aumento de la concentración de los GEI en la troposfera se encuentran la generación de energía y calor a través de los combustibles fósiles ya que provoca una gran cantidad de emisiones gaseosas de CO₂ y N₂O, los cuales son potentes GEI. También, los productos de fabricación, ya que la industria y las fábricas producen emisiones, en su mayoría provenientes de la quema de combustibles fósiles destinada a generar energía, además de la maquinaria utilizada y otras emisiones que pueden existir en actividades particulares como la minería. La tala de los bosques para el uso del suelo es otra causa importante dado que cuando se talan sus árboles se libera el carbono que estos han estado almacenando. La producción de alimentos que provoca emisiones de CH₄, CO₂ y otros GEI de diferentes maneras en las que se incluye la deforestación y la roturación de tierras para la agricultura y el pastoreo, la alimentación del ganado bovino y ovino, la producción y uso de fertilizantes y el abono utilizado para los cultivos, además del uso de la energía que hace funcionar el equipo de las granjas o los barcos pesqueros, siendo normalmente con combustibles fósiles. El uso de transporte también, donde la mayoría de camiones, barcos y aeronaves funcionan con combustibles fósiles. Esto hace que el transporte sea uno de los sectores que más contribuyen a generar GEI, especialmente en lo que refiere a emisiones de CO₂. Los vehículos terrestres son responsables de la mayor parte de las emisiones, debido a la combustión de productos derivados del petróleo, como la gasolina, en los motores de combustión interna. El transporte es responsable de cerca de un cuarto de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía a nivel global. Y, por último, otra gran causa del aumento de GEI es la energía en los edificios y el consumo excesivo de esta. A nivel global, tanto los edificios residenciales como los comerciales consumen más de la mitad de la electricidad total². Como siguen utilizando carbón, hidrocarburos y gas natural para los sistemas de calefacción y climatización, estos emiten cantidades importantes de GEI. La creciente demanda de sistemas de calefacción y climatización, junto con el aumento en la adquisición de aparatos de aire acondicionado y en consumo eléctrico por parte de aparatos de iluminación y dispositivos conectados, ha contribuido a un aumento en las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía y que tiene su origen en las edificaciones, en los últimos años.

Haciendo énfasis en este último punto, se plantean medidas de reducción de emisiones de GEI originadas en ciudades no solo con cambios en los métodos de construcción desde cero sino también medidas de adaptación. La adaptación al Cambio Climático consiste en llevar adelante políticas, medidas y acciones que tiendan a minimizar los impactos de este fenómeno. Es una estrategia de gestión que se trabaja conjuntamente con las estrategias de mitigación. Estas medidas apuntan a trabajar sobre las consecuencias del Cambio Climático, reduciendo la vulnerabilidad de cada sector, y por consiguiente reduciendo el riesgo.

Por lo tanto, el presente trabajo se concentrará en este eje fundamental para evaluar la reducción de emisiones de GEI en las ciudades, en particular la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Siguiendo los lineamientos anteriores, el foco será en el consumo de energía eléctrica para acondicionamiento térmico en edificios residenciales de dicha ciudad. El consumo de la energía en edificaciones de condiciones estándares versus el consumo en edificaciones adaptadas según el Programa de Retrofit o Retroadaptación; el cual hace referencia al conjunto de medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética de un edificio existente, con el objetivo principal de reducir sus

² Organización de las Naciones Unidas, Acción por el Clima [ONU], s.f.

requerimientos energéticos y emisiones asociadas. Se parte para ello de una visión holística que contempla: componentes pasivos (envolvente edilicia), sistemas activos (acondicionamiento térmico, iluminación y agua caliente sanitaria), otros usos complementarios (equipos cuyos consumos energéticos resulten significativos) y aportes de energías renovables.

2. Contexto Actual

2.1. Problemática

Como se mencionó en la introducción, uno de los principales problemas asociados a grandes ciudades como es la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), es la emisión de GEI debido al gran consumo energético por parte de transporte, iluminación, calefacción, refrigeración y otras necesidades. Estas emisiones tienen gran impacto en la salud y el bienestar del hombre, además de efectos en el valor económico y social de los bienes. Algunos de los impactos asociados al consumo de energía son la contaminación atmosférica, el calentamiento global, la acumulación de calor en las ciudades -islas de calor- y un aumento de vulnerabilidad ante eventos extremos, entre otros.

La problemática se acentúa en ciudades como CABA debido a la alta densidad de fuentes de emisión. Son áreas de alto consumo -energético, de transporte, de productos, etc.- y no suelen ser terrenos extensos. Tienen alta densidad de población y muchas viviendas multifamiliares como son los edificios residenciales. En este caso particular, la Ciudad tiene un territorio de 203 km² y una población de 3.121.707 habitantes³, dando una densidad de población de 15.378 habitantes por km².

Una de las causas de las emisiones de GEI en ciudades son los edificios y la urbanización, ya que los edificios consumen energía para calefacción, refrigeración y electricidad. Además, el diseño urbano y la falta de áreas verdes pueden contribuir a la acumulación de calor, lo que se conoce como "isla de calor urbana", y aumentando las emisiones de GEI. Se genera así, un ciclo en la problemática.

A nivel nacional, en el 2022, el 27% del consumo total energético fue de uso residencial⁴. Y en particular en la Ciudad de Buenos Aires el 55% de las emisiones de GEI provinieron del sector energético, en específico un 28% del subsector de edificios residenciales⁵. Por lo tanto, alcanzar la sostenibilidad en el sector de las edificaciones y la construcción termina siendo esencial para poder avanzar de manera eficaz hacia un desarrollo sostenible reduciendo los impactos mencionados anteriormente. Para esto el Retrofit es una medida clave.

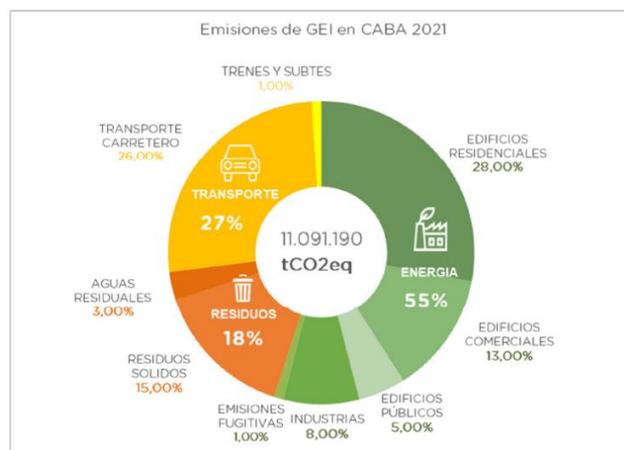


Figura 2: Distribución porcentual de las emisiones de GEI de la Ciudad de Buenos Aires para el año 2021 entre sectores y subsectores.⁶

³ Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados definitivos INDEC, 2023

⁴ Balance Energético Nacional de la República Argentina (2023), Subsecretaría de Transición y Planeamiento Energético

⁵ Informe de Inventario de Gases de Efecto Invernadero 2021 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

⁶ Inventario de GEI de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2021

Entonces, el problema que se plantea es aquel relacionado con la metodología actual para la construcción de un edificio tipo en la Ciudad de Buenos Aires, sin que se consideren las consecuencias de no realizar las aislaciones y la utilización de material adecuado para reducir el uso de acondicionamiento térmico activo dentro de la vivienda. Y por lo tanto, se plantea un análisis dedicado al usuario en donde se evaluará el ahorro de energía eléctrica utilizada para la climatización de un departamento comparando diferentes aislantes y un departamento sin estos.

2.2. Marco Regulatorio

En cuanto al marco regulatorio, la Ciudad ya tiene un avance en cuanto al mismo dedicado a la gestión ambiental y en particular a la sustentabilidad en la construcción. Posee un gran compromiso ambiental establecido como principio básico de la Planificación Urbanística de la Ciudad, es decir, su Código de Edificación. En el capítulo 3.7 se fijan las estrategias constructivas a tener en cuenta, las que promueven la sustentabilidad y aportan a la mitigación de los efectos del Cambio Climático. Algunas de las estrategias que establece el Código son de carácter obligatorio, mientras que otras son de carácter facultativo, pudiendo en ese caso formar parte de un sistema de incentivos que serán establecidos por las reglamentaciones pertinentes, a fin de motivar la construcción sostenible.

Por un lado, se proponen estrategias de diseño pasivas que son aquellas que se aplican al diseño arquitectónico con el fin de aprovechar al máximo lo que nos ofrece el entorno, y de ese modo reducir nuestra dependencia de las instalaciones para alcanzar el confort deseado. Las herramientas establecidas en la normativa urbanística deben implementarse según el alcance determinado en la misma y según los parámetros y características técnicas que se establecen en el Código y los Reglamentos Técnicos. Las herramientas que se indican como de cumplimiento obligatorio alcanzan a todas las obras nuevas; ampliaciones cuya superficie sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la superficie existente; y refuncionalizaciones según las condiciones establecidas en el artículo 3.7.3.2.1 “Progresividad de Aplicación” y/o las condiciones particulares de cada herramienta. Para el caso de refuncionalizaciones es de aplicación lo establecido en el Capítulo 3.10 “Edificios Existentes” en el mismo Código, así como las excepciones atribuibles a las condiciones previas del edificio que se describen en el mismo y según se establece en los Reglamentos Técnicos.

La Progresividad de Aplicación es conforme al principio ambiental de progresividad establecido en la normativa urbanística. Las herramientas establecidas con carácter obligatorio que no tengan reglas particulares de aplicación se deben implementar según las siguientes etapas:

- a. ***Etapa 1:*** Desde la entrada en vigencia de los Reglamentos Técnicos específicos de cada herramienta y hasta el tercer año de aplicación es obligatorio el cumplimiento para las Obras nuevas y/o ampliaciones correspondientes a Permisos de Ejecución de Obra Civil de Obra Mayor de superficie mayor a diez mil metros cuadrados (10.000 m²), a excepción de aquellos edificios con más del ochenta por ciento (80%) de la superficie total destinada a uso residencial.
- b. ***Etapa 2:*** Desde la fecha de término de la Etapa 1 y hasta el tercer año de aplicación es obligatorio el cumplimiento para las Obras nuevas, ampliaciones y/o refuncionalizaciones correspondientes a Permisos de Ejecución de Obra Civil de Obra Mayor de superficie mayor a diez mil metros cuadrados (10.000 m²), sin distinción de uso, y Obras nuevas y ampliaciones correspondientes a Permisos de Ejecución de Obra Civil de Obra Mayor.
- c. ***Etapa 3:*** Desde el término de la Etapa 2 y hasta el tercer año de aplicación es obligatorio el cumplimiento para las Obras nuevas, ampliaciones y/o refuncionalizaciones correspondientes a Permisos de Obra Civil de Obra Media.

- d. **Etapa 4:** Desde el término de la Etapa 3 es obligatorio el cumplimiento para todas las obras nuevas, ampliaciones y/o refuncionalizaciones.⁷

Las estrategias de compromiso ambiental que propone se centran en:

1. Prevención de Islas de Calor
 - a. Techos Fríos
 - b. Cubiertas o Techos Verdes
 - c. Fachada Vegetal, Muro Verde o Cortina Verde
 - d. Sombreado de pavimentos y solados exteriores
2. Prevención de Riesgo Hídrico
 - a. Ralentización del Agua de Lluvia
 - b. Infiltración y Sistemas de Drenaje
3. Restauración de Biodiversidad
4. Calidad Ambiental del Hábitat Construido
 - a. Confort Visual
 - b. Confort Acústico
 - c. Calidad de Aire Interior
 - d. Materiales Constructivos Sostenibles
 - e. Gestión de Residuos
 - f. Gestión Ambiental del Proceso Constructivo
5. Eficiencia Energética
 - a. Sistemas de Monitoreo y Medición de la Energía
 - b. Estrategias de Diseño Pasivo
 - i. Aislamiento Térmico de la Envolvente
 - ii. Protección Solar
 - iii. Ganancia Solar
 - iv. Ventilación Cruzada
 - c. Eficiencia energética en Sistemas Activos
6. Energías Renovables
7. Retroadaptación

Para cada una de estas se define el alcance y los parámetros a tener en cuenta. Además, establece que la Autoridad de Aplicación tiene la facultad para reglamentar estímulos a la edificación en caso de Obras que sean declaradas como unidades arquitectónicas en las cuales se apliquen, de manera óptima, los recursos de distribución, ventilación, asoleamiento, orientación, fachada, franqueabilidad, accesibilidad y, en particular, se alcancen estándares máximos de sustentabilidad y compromiso ambiental establecidos en el dicho Código.

Para este trabajo particular interesan los puntos 5.b.i y 7, es decir, Aislamiento Térmico de la Envolvente y Retroadaptación, respectivamente.

Respecto a la primera se habla de que hay que tener en cuenta desde la etapa proyectual, la incorporación de sistemas de monitoreo y medición de la energía, la adopción de estrategias de diseño pasivo, la elección de materiales y sistemas constructivos, y el diseño eficiente de las instalaciones de climatización, iluminación, agua caliente y fuerza motriz. Las estrategias deben considerar las condiciones climáticas locales para optimizar la habitabilidad en edificios reduciendo la demanda de energía y el impacto ambiental, mejorando las condiciones de salud, bienestar y confort higrotérmico. Por lo tanto, en cuanto al aislamiento térmico de la envolvente de los edificios, se deberá optimizar el mismo con el fin de reducir el consumo de energía para acondicionamiento térmico activo, tanto en calefacción como en refrigeración.

⁷ Código de Edificación de la Ciudad de Buenos Aires. 2019

Se entiende por componentes de la envolvente edilicia a los siguientes:

- a. Techos y cubiertas,
- b. Muros y cerramientos opacos exteriores en fachada,
- c. Muros y cerramientos opacos en muros medianeros y privativos,
- d. Pisos,
- e. Superficies o cerramientos transparentes o semitransparentes,
- f. Muros o tabiques divisorios interiores a locales no habitables (o no acondicionados), y
- g. Cerramientos en contacto con el terreno.

Como parámetro, se toma la de Transmitancia Térmica Máxima Admisible ($K_{MAX ADM}$). Se establece que es obligatorio el cumplimiento de valores máximos de transmitancia térmica K para los componentes de la envolvente edilicia según se establece en los Reglamentos Técnicos. El factor K se mide en $\frac{W}{m^2 \cdot K}$, y se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_n + R_{se}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

- R_t : es la resistencia total del elemento incluyendo las resistencias superficiales interior y exterior;
- R_{si} : es la resistencia superficial interior;
- R_{se} : es la resistencia superficial exterior;
- R_n : resistencias de n número de capas homogéneas de materiales incluso cámaras de aire R_c .

Siendo la resistencia:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

- e : es el espesor en m
- λ : es la conductividad del material en $\frac{W}{m \cdot K}$

En el Código se definen los valores de $K_{MAX ADM}$ para cada tipo de cerramiento:

Tipo de cerramiento	K máximo admisible [W/(m ² .K)] Base	K máximo admisible [W/(m ² .K)] Etapa 1
Techo o Cubiertas	0.48	0.38
Muros y cerramientos opacos exteriores en fachadas/Muros y cerramientos opacos en muros medianeros expuestos al exterior y privativos	1	0.74
Muros y cerramientos opacos en muros medianeros no expuestos al exterior; y particiones interiores a locales no habitables (o no acondicionados)	1.60	1.30
Piso sobre espacio abierto exterior	0.80	0.60
Superficies o cerramientos trasparentes o semitransparentes con inclinación igual o superior a 60° (vidrio)	2.80	2.80
Superficies o cerramientos transparentes o semitransparentes con inclinación igual o superior a 60° y parea igual o mayor al 60% del paramento vertical expuesto (vidrio)	1.80	1.80
Superficies o cerramientos transparentes o semitransparentes con inclinación inferior a 60° (vidrio en Lucernarios)	1.80	1.80

Tabla 1: $K_{MAX ADM}$ para cada tipo de cerramiento

Hasta tanto entre en vigencia la Etapa 1, son de cumplimiento obligatorio los valores indicados en la tabla 1 como “Base”.

En cuanto a la Retroadaptación el Código la define como *“la implementación de un conjunto de medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética de edificios existentes con el objetivo principal de reducir sus requerimientos energéticos y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas.”*

Sumado a lo que refiere el Código de Edificación de CABA, también cabe destacar que en 2009 la Ciudad se adhiere al Grupo de Liderazgo Climático, conocido como el C40, el cual está constituido por un grupo de ciudades que aúnan esfuerzos para reducir las emisiones de carbono en la atmósfera y adaptarse al cambio climático. Por lo tanto, en 2010 se establece el Primer Plan de Acción para la gestión de la acción climática con un plazo a 2030. Luego, en 2011 se sanciona la Ley N°3.871 de Cambio Climático. En 2016 se establece el Segundo Plan de Acción 2016 – 2020; en 2017 la Ciudad realiza el compromiso de ser carbono neutral, resiliente e inclusiva para 2050; en 2018 inicia la actualización del Plan de Acción Estratégica a Largo Plazo 2050 y en 2020 CABA alcanza el Plan de Acción Climático alineado al Acuerdo de París.

3. Objetivos

Como objetivo general este trabajo busca evaluar la reducción del consumo de energía eléctrica con la implementación de medidas de Retrofit o Retroadaptación para aislamiento en la construcción de edificios en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires para mitigar el impacto ambiental asociado. En particular la instalación de diversos aislantes térmicos en la envolvente.

Como objetivos particulares se busca evaluar la factibilidad económica de estas medidas de adaptación, y evaluar el potencial de reducción de emisiones de GEI mediante la implementación de medidas de Retrofit en edificaciones existentes extrapolando a los edificios residenciales a partir de un edificio estándar de uso residencial en la Ciudad de Buenos Aires.

4. Hipótesis

Como hipótesis se plantea que la implementación efectiva de medidas de retrofit, centradas en mejorar el aislamiento térmico y la eficiencia energética mediante la aplicación de aislantes internos en los muros de viviendas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, contribuirá a una reducción aproximada del 5% en las emisiones de GEI en un año. Este valor estimado se basa en los datos del uso residencial de la energía eléctrica en la Ciudad, donde el sector energético es responsable de una porción significativa de las emisiones de GEI, con un 28% proveniente específicamente del subsector de edificios residenciales. Se espera que este impacto se manifieste con un período de retorno de inversión en un plazo medio de 10 años, considerado razonable para inversiones de mediano costo en la Ciudad. Además de los beneficios ambientales, se proyectan mejoras sociales, como mayor calidad de vida, confort y salud, junto con beneficios económicos por la reducción de costos energéticos para los residentes.

5. Desarrollo y Análisis

Para la evaluación del problema se plantea analizar dos casos de tipos de construcción de viviendas; uno, a llamar *Caso Inicial* y el otro *Caso de Retroadaptación (Retrofit)*.

5.1. Metodología de cálculo y modelo

El consumo de energía primaria es la cantidad total de recursos energéticos consumidos, ya sea directamente o para su transformación en otra forma de energía. En este modelo se excluyen los usos no energéticos como son el gas natural que no se use para combustión, sino para fabricación de productos químicos; y aquellos usos energéticos no provenientes de fuentes eléctricas.

Es necesario calcular la energía útil que debe erogarse el sistema de calefacción o refrigeración según corresponda para compensar las pérdidas de calor y así mantener la temperatura constante en 20°C o 293 K durante todo el invierno y de 26°C o 299 K en verano. Para ello, es necesario realizar un balance térmico del inmueble para los períodos de invierno y verano respectivamente.

Se sabe que el intercambio de energía entre un inmueble y el ambiente exterior se considera un sistema dinámico ya que las variables exógenas que inciden sobre el comportamiento térmico del inmueble como la temperatura del ambiente exterior, la potencia de radiación solar en un plano determinado, la velocidad de viento, entre otras; varían con el tiempo. Mientras que, a su vez, el efecto de estas variaciones sobre el espacio interior del inmueble no es inmediato, sino que existe un retardo temporal entre la causa y el efecto. Por lo tanto, existen distintos modelos para elaborar un balance térmico de un inmueble tomando diferentes suposiciones. Entre ellos se encuentran los modelos dinámicos, los modelos estacionarios con correcciones dinámicas y los modelos estacionarios. La aplicación de un modelo u otro debe ser acorde al resultado que se busca obtener.

- a. *Modelos Dinámicos*: Consideran la variable tiempo y los efectos de la capacidad térmica de los materiales involucrados a través de los cuales se da la transferencia de energía. Existen para esto métodos computacionales de simulación. Para utilizar estos modelos las variables climáticas deben ser consideradas en base horaria. Son modelos complejos y arrojan información precisa.
- b. *Modelos Estáticos con Correcciones Dinámicas*: Son modelos estacionarios que mediante ajustes globales logran compensar y corregir el comportamiento del sistema para tener en cuenta los efectos dinámicos. Estos ajustes se realizan considerando los efectos de la capacidad térmica de los elementos constructivos. Son modelos simplificados.
- c. *Modelos Estáticos*: Consideran que para un período de tiempo dado (por ejemplo, un mes) todas las variables permanecen constantes e iguales a sus valores medios y los flujos de calor no dependen del tiempo. No consideran los efectos de la capacidad térmica. Son modelos simplificados en los cuales se pierde mucha información.

El cálculo de los requerimientos de energía útil para calefacción en invierno y refrigeración en verano que se establece para la determinación del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), se basa en un modelo estacionario con corrección dinámica de base mensual⁸. De esta forma, se considera que cada mes tiene todos sus días iguales, y cada día posee una temperatura constante igual a la media del mes

⁸ Modelo obtenido de la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe

considerado. Lo mismo sucede con la irradiancia solar que se asume igual a la media mensual, para todas las horas del día y todos los días del mes.

Además, para mayor simplificación, se opta por utilizar un modelo a parámetros concentrados, en el cual se considera que la temperatura interna es uniforme en todo el ambiente y las variaciones espaciales son despreciables. De esta manera, todo el aire confinado en un ambiente puede representarse como un punto.

Los flujos de calor a través de las distintas superficies que confinan el espacio que se desea climatizar no necesariamente son unidireccionales. En las esquinas, vértices o por la presencia de materiales no homogéneos las líneas de flujo dejan de ser perpendiculares al plano de la pared o elemento. Se introduce una simplificación al considerar que los flujos son unidireccionales, y perpendiculares a cada superficie de envolvente.

5.2. Definición de la Unidad Funcional

Se va a tomar como unidad funcional un departamento de piso intermedio con las siguientes dimensiones:

- Superficie: 56 m²
- Área de la envolvente a aislar: 101,90 m²
- Volumen climatizado: 140 m³
- Altura de Pared: 2,5 m

Estas dimensiones se basan en una distribución modelo de departamento (ver plano en Anexo 3) obtenido del estudio de arquitectura, "Estudio de Arquitectura Gustavo Guevara".

Lo principal a definir fue la superficie estándar de un departamento de piso intermedio. Para ello se utilizó de respaldo el informe de la Prueba Piloto de Etiquetado Energético De Viviendas – Ciudad Autónoma De Buenos Aires. Se utilizarán los datos de este informe dado que fue realizado para la Ciudad por parte de Facultad De Ciencias Exactas, Ingeniería Y Agrimensura, Universidad Nacional De Rosario, en el marco de la consultoría para la "Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas – Ciudad Autónoma de Buenos Aires" como parte del Proyecto "Mecanismos y redes de transferencia de tecnologías relacionadas con el cambio climático en América Latina y el Caribe" financiado por el GEF, el cual es gestionado por el BID, y ejecutado por Fundación Bariloche. Se utilizaron, además, datos brindados por la Secretaría de Energía de la Nación y datos de campo.

Se realizó en esta prueba piloto el análisis de diversos tipos de viviendas según si eran unifamiliar o colectivas:

- Vivienda Unifamiliar:
 - Adosada, dos o más plantas
 - Adosada, una planta
 - Aislada, dos o más plantas
 - Aislada, una planta
 - Pareada, dos o más plantas
 - Pareada, una planta
- Unidad en Vivienda Colectiva:
 - Departamento de pasillo en Propiedad Horizontal (PH)
 - Departamento en Planta Baja (PB)
 - Departamento en piso intermedio
 - Departamento en último piso

Como simplificación se eligió para este trabajo el estudio de una unidad en vivienda colectiva del tipo departamento de piso intermedio dado que, por un lado, en el mismo informe de la Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas, de las 150 viviendas evaluadas, 130 (87%) son colectivas y 20 (13%) unifamiliares. Dentro del parque de viviendas colectivas, la tipología de mayor ocurrencia fue el Departamento de Piso Intermedio (93, 62%) localizados en las comunas de mayor nivel socioeconómico, seguido del Departamento de último piso (21,14%) y Departamento de pasillo en PH (13, 8.7%). Se contó con 20 viviendas unifamiliares siendo la tipología de mayor ocurrencia la casa adosada de dos o más plantas (8, 5.3%)⁹. Por lo tanto, es evidente que los porcentajes más altos son del tipo unidad de departamento de piso intermedio.

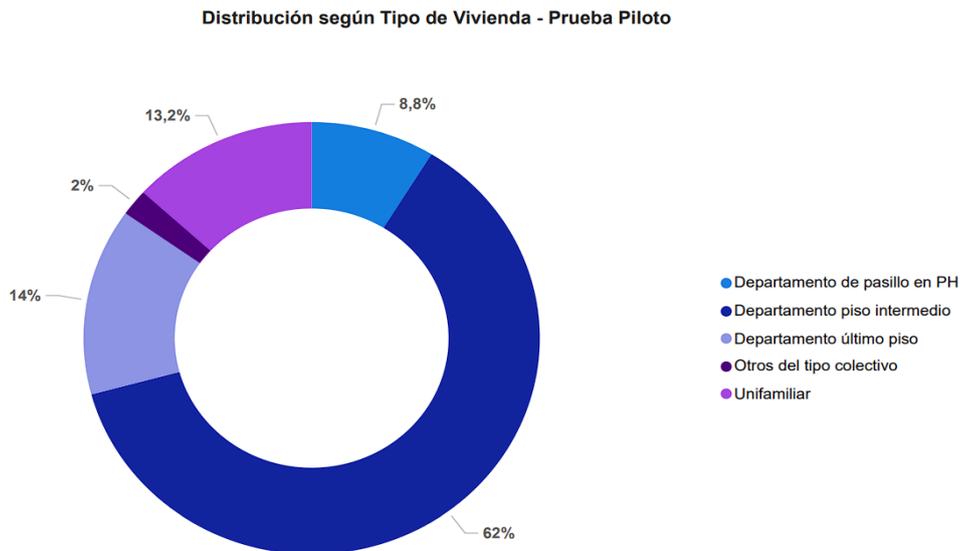


Figura 3: Distribución según Tipo de Vivienda - Prueba Piloto

Por otro lado, en el último Censo Nacional realizado en 2022, para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se obtuvieron los siguientes datos en cuando a distribución de la población según tipo de vivienda que se puede visualizar en la Tabla 2¹⁰. Cabe destacar sobre los datos del Censo las definiciones de los tipos de viviendas ya que distingue “Vivienda” de “Hogar” y según sea “Vivienda Particular” o “Vivienda Colectiva” de manera distinta al informe de la Prueba Piloto de Etiquetado Energético De Viviendas – Ciudad Autónoma De Buenos Aires (ver Anexo 2). No se distingue en el Censo un departamento intermedio con un departamento en planta baja o en último piso.

⁹ Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas – Ciudad Autónoma De Buenos Aires, 2020

¹⁰ Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2022

Código	Comuna	Total de viviendas particulares ocupadas	Tipo de vivienda particular						
			Casa	Rancho	Casilla	Departamento	Pieza ocupada en inquilinato, hotel familiar o pensión	Local no construido para habitación ocupado	Vivienda móvil ocupada (casa rodante, barco, carpa u otra)
02	CABA	1.391.258	314.375	4.265	2.008	1.025.296	39.848	4.661	805
	Porcentaje (%)	100,0	22,6	0,3	0,1	73,7	2,9	0,3	0,1
02007	Comuna 1	104.984	14.131	352	173	80.674	9.196	394	64
02014	Comuna 2	83.038	1.745	132	92	80.171	765	103	30
02021	Comuna 3	91.391	6.803	254	77	76.741	7.106	381	29
02028	Comuna 4	90.018	33.894	214	333	49.814	5.322	379	62
02035	Comuna 5	92.166	11.954	304	109	76.327	3.085	364	23
02042	Comuna 6	94.566	10.311	426	197	81.963	1.092	467	110
02049	Comuna 7	89.905	25.190	176	116	60.820	3.264	303	36
02056	Comuna 8	69.286	37.585	481	252	27.856	2.772	283	57
02063	Comuna 9	65.918	35.017	127	72	29.285	1.062	300	55
02070	Comuna 10	73.305	31.193	218	90	40.273	1.220	237	74
02077	Comuna 11	86.950	32.842	148	49	52.699	716	430	66
02084	Comuna 12	107.094	32.023	376	103	73.538	691	297	66
02091	Comuna 13	126.307	12.369	337	114	112.534	764	144	45
02098	Comuna 14	126.532	6.720	409	121	117.637	1.360	236	49
02105	Comuna 15	89.798	22.598	311	110	64.964	1.433	343	39

Tabla 2: Distribución de Población según tipo de Vivienda

Viéndolo en modo de gráfico (Figura 4) se puede observar la amplia diferencia entre la cantidad de departamentos por sobre el resto de los tipos de viviendas.

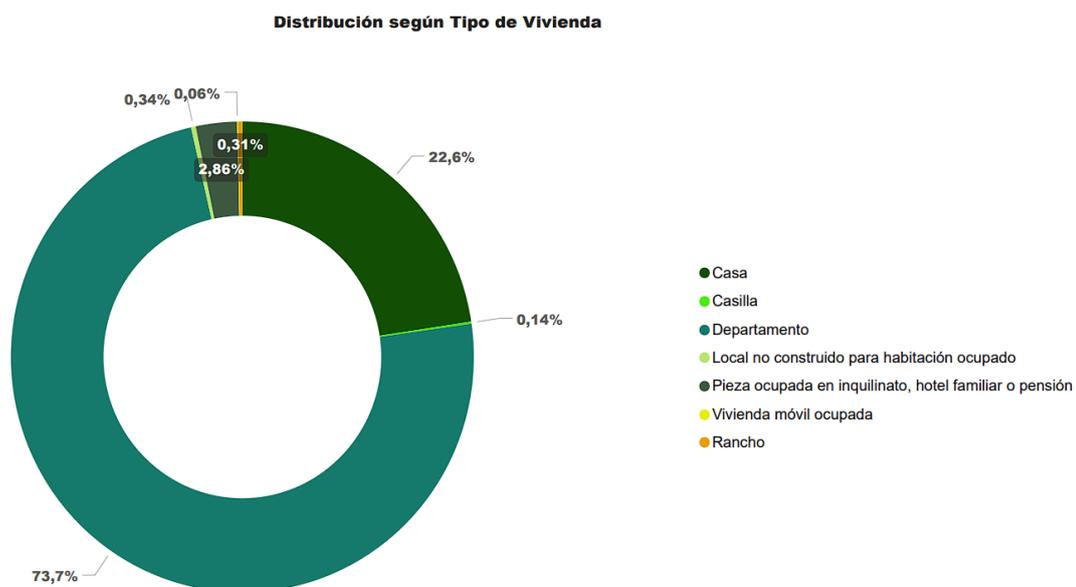


Figura 4: Distribución según Tipo de Vivienda

En cuanto a las limitaciones de la selección de un departamento intermedio de una vivienda colectiva según se entiende en el informe de la Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas, se destaca que existen condiciones diversas respecto a una planta baja y último piso. La planta baja puede estar expuesta a diferentes factores ambientales y de uso que afectan su consumo energético, como la proximidad al suelo que puede influir en la temperatura y la humedad. Mientras que el último piso puede estar más expuesto a los elementos climáticos como el sol, el viento y la lluvia, lo que puede causar variaciones significativas en el consumo energético debido a la necesidad de mayor calefacción o refrigeración. Los pisos intermedios poseen las condiciones más estables y representativas ya que al estar situados entre otras unidades residenciales por encima y por debajo, experimentan condiciones ambientales más estables y uniformes. Esto incluye temperaturas más reguladas debido al aislamiento proporcionado por las unidades adyacentes, lo que reduce las variaciones extremas en el consumo de energía. Además, al tener un uso residencial típico, los departamentos en los pisos intermedios reflejan de manera más precisa el consumo energético de un hogar promedio en el edificio. En muchos edificios residenciales, la planta baja a menudo alberga la recepción o locales comerciales, que no son residenciales y tienen patrones de consumo de energía diferentes; mientras que el último piso puede contener áreas comunes como terrazas, gimnasios o salones de usos múltiples, también con un uso energético distinto al de los departamentos residenciales. Utilizar un departamento en un piso intermedio minimiza, por lo tanto, el impacto de variables externas no representativas como la exposición directa a elementos climáticos, en el caso del último piso, o el uso no residencial, en el caso de la planta baja. Esto permite obtener una estimación más fiable del consumo energético medio de las unidades residenciales del edificio, lo cual es crucial para estudios de eficiencia energética y para el diseño de estrategias de ahorro energético.

Para el caso de las viviendas unifamiliares, es decir, aquellas que no son departamentos según los datos del Censo, en la Ciudad estas representan un 26,3%. Por lo tanto, no se considerarán a la hora de extrapolar los datos obtenidos para la unidad funcional al total de la población, pero se considera que el porcentaje no justifica la complejidad de cálculos que involucraría para tener en cuenta esta variedad de viviendas.

Una vez definida las dimensiones y condiciones de ubicación de la unidad funcional se deben determinar los ambientes climatizados y no climatizados, además de las diversas zonas térmicas.

Se define como ambiente climatizado toda habitación o espacio cerrado de uso permanente, que a los fines del cálculo se asume como climatizado a una temperatura de confort dada durante el período de tiempo considerado. Si bien existen variaciones espaciales de temperatura interna en el ambiente, se considera que las mismas son despreciables. De esta forma, todo el espacio contenido en el ambiente se puede representar como un punto a temperatura constante, la cual se plantea que sea la temperatura de confort. Ejemplos de este tipo de área son los dormitorios, cocina, sala de estar, living, comedor, pasillos internos y baños.

En cambio, los ambientes no climatizados son aquellos ambientes de uso no permanente, cuya temperatura interna se deja fluctuar libremente a los fines del cálculo, sin que actúen equipos de climatización para controlar, modificar o alterar la misma. Se consideran ambientes no climatizados: garaje, lavadero, ático, sótano, quincho, hall de ingreso.

En función del modelo de departamento a utilizar (ver Anexo 3), se tienen 3 ambientes los cuales son cocina y living comedor, y dos habitaciones; además de un lavadero. Por lo tanto, son 3 ambientes climatizados y 1 no climatizado.

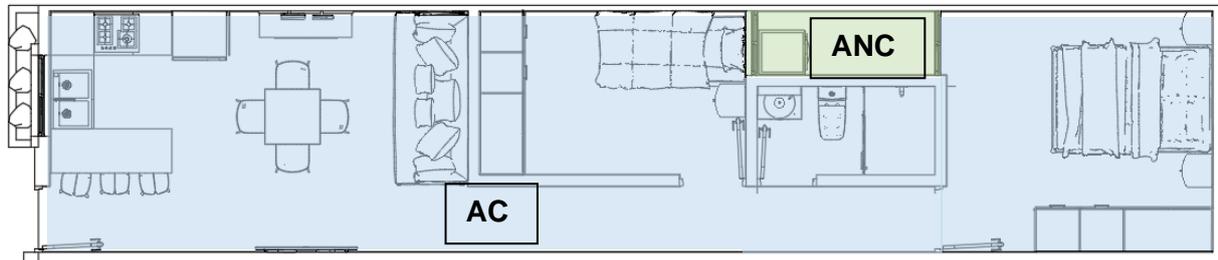


Figura 5: Distribución de ambientes climatizados y no climatizados

En cuanto a las zonas térmicas, estas son aquellos ambientes o conjunto conexas de ambientes climatizados a una misma temperatura de confort durante el período de tiempo considerado, controlados por un único sistema de calefacción y refrigeración, o por varios de ellos. Si bien existen variaciones espaciales de temperatura interna, se considera que las mismas son despreciables. De esta forma, a los fines del cálculo del balance térmico del inmueble, todo el espacio contenido dentro de una zona térmica se puede representar como un punto a temperatura constante, igual a la temperatura interna de confort.

Para la simplificación de los cálculos y resultados finales de comparación se tomará una única zona térmica que abarque todos los ambientes climatizados. Además, es razonable evaluar en un departamento de dadas dimensiones que se climatice todo el espacio a una misma temperatura de confort.

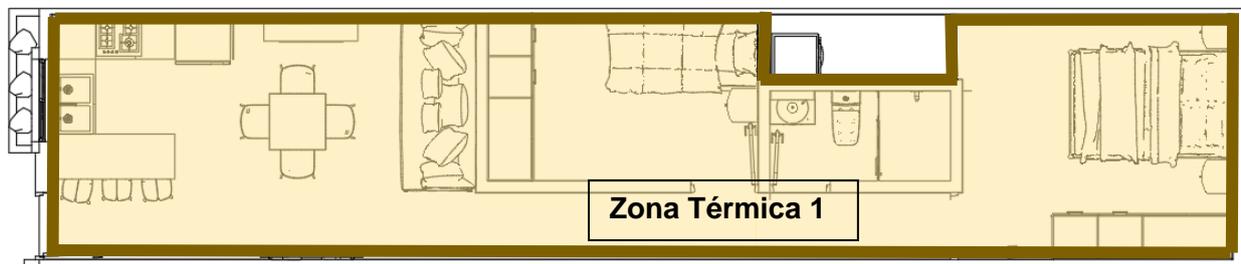


Figura 6: Distribución de zonas térmicas y de la envolvente

Teniendo en cuenta que la envolvente térmica es el conjunto de elementos que delimitan físicamente una zona térmica y la separan del ambiente exterior, de construcciones linderas o de otros ambientes adyacentes (ya sean climatizados o no) se puede definir el área sobre la cual se va a trabajar la instalación del material aislante.

Se debe definir para la unidad funcional la composición de la envolvente térmica o edilicia y los elementos a tener en cuenta en este trabajo. Los elementos de la envolvente se definen como la porción de la envolvente térmica de composición homogénea que, a los efectos del flujo de calor, actúa como interfaz entre el interior de una zona térmica y el ambiente exterior, u otros ambientes adyacentes. Pueden ser elementos constructivos (muros, solados, cubiertas) o aberturas.

Se van a tener en cuenta solamente los elementos que componen a los muros como parte de la envolvente, despreciando aquellos elementos correspondientes a las aberturas para evaluar la diferencia entre ambos casos en estudio dado que el objetivo principal del trabajo es considerar el uso de un material aislante y su impacto en el uso de energía eléctrica para acondicionamiento térmico. Agregar más materiales para la

evaluación del impacto en las aberturas extendería la complejidad del presente trabajo, alejándolo del objetivo.

Según las dimensiones del plano de base (ver Anexo 3), la altura definida anteriormente y el diagrama de la Figura 7, las dimensiones de la envolvente que se van a tomar serán:

$$A_{env} = 2,50 m * (3,50 m + 3,50 m + (16,00 m - 2,40 m) + 16 m + 2,40 m + 0,88 m + 0,88 m)$$

$$A_{env} = 101,90 m^2$$

Además, para la simplificación en la estructura de las paredes se van a considerar todas paredes exteriores. Generalmente, se pierde más calor por las paredes exteriores que por las interiores. Las paredes exteriores están en contacto directo con el aire exterior, que suele ser más frío en invierno y más caliente en verano, comparado con el aire interior. Esta mayor diferencia de temperatura entre el interior del edificio y el exterior aumenta la tasa de transferencia de calor a través de las paredes exteriores. Las paredes exteriores están expuestas a condiciones climáticas como viento, lluvia y nieve, lo que puede aumentar la pérdida de calor. Las paredes interiores, entonces, al no estar en contacto directo con el ambiente exterior y, por lo tanto, no tener la misma diferencia de temperatura significativa para causar una alta tasa de transferencia de calor hace que la pérdida de calor a través de estas sea generalmente mucho menor.

5.3. Definición de los Períodos

Como se mencionó a lo largo del trabajo, se va a necesitar definir un período de invierno para el consumo de energía primaria para calefacción y un período de verano para el consumo de energía primaria para refrigeración.

Según el análisis hecho en la Prueba Piloto de Etiquetado de Viviendas en CABA, ya referida anteriormente, el período de invierno será del 15 de mayo al 15 de septiembre; y el período de refrigeración, del 15 de noviembre al 15 de marzo.

Luego, se tomarán datos medios de temperaturas en estos meses:

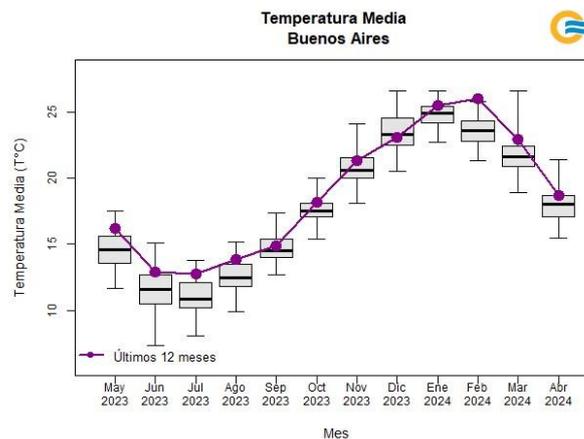


Figura 7: Temperaturas Medias del último año¹¹

¹¹ Servicio Meteorológico Nacional Argentino, Período de mayo 2023 a abril 2024

Período	Mes	Temperatura media (°C)
Calefacción	Mayo	14,7
	Junio	12,0
	Julio	11,5
	Agosto	13,0
	Septiembre	15,2
Refrigeración	Noviembre	21,4
	Diciembre	23,9
	Enero	25,3
	Febrero	24,1
	Marzo	22,0

Tabla 3: Estadísticas Normales de Temperatura Media de los Meses a Evaluar¹²

5.4. Parámetros e indicadores

Los parámetros e indicadores que se utilizarán para el cálculo y análisis son los siguientes:

1. Transmitancia Térmica (K):

Es el flujo de calor que pasa a través de un elemento constructivo desde el aire exterior al interior, o viceversa, por unidad de temperatura y superficie. Este flujo de calor depende de la diferencia de temperatura del aire a ambos lados del elemento y no de su superficie, correspondiendo a condiciones en que las temperaturas se mantienen en el tiempo o al menos durante un largo plazo.

Para que se lleve a cabo el pasaje de calor, el flujo deberá vencer una serie de resistencias de las caras superficiales externa e interna, donde se llevan a cabo procesos de radiación y convección, y la resistencia interna del o los materiales que conforman el elemento constructivo.

Ver Ec.1: Factor K y Ec.2: Resistencia R.

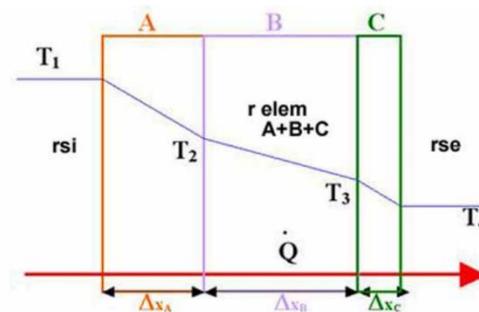


Figura 8: Esquema de transmitancia de calor en elemento constructivo¹³

2. Índice de Prestaciones Energéticas (IPE)

Es un valor característico de cierto inmueble que representa una estimación de la energía primaria que demandaría la normal utilización de dicho inmueble durante un año y por metro cuadrado de superficie útil para satisfacer las necesidades asociadas a

¹² Solicitado al Servicio Meteorológico Nacional Argentino, Período de 2004 a 2023

¹³ Material didáctico CIHE-FADU-UBA

calefacción en invierno, refrigeración en verano, producción de agua caliente sanitaria e iluminación. Se expresa en kWh/m² año.¹⁴

Como el IPE incluye tanto valores de energía primaria asociados a calefacción y refrigeración como a ACS e iluminación se va a tomar de la misma Prueba Piloto para etiquetado de Viviendas los valores tomados en la muestra que representan la asignación de porcentajes a cada variable y así tomar del valor final de IPE el porcentaje útil para el trabajo (refrigeración y calefacción).

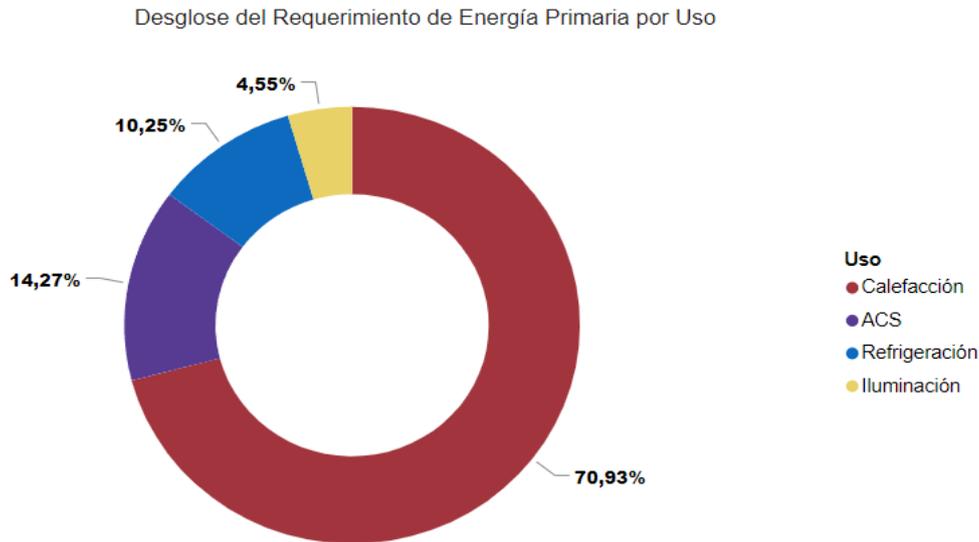


Figura 9: Desglose del Requerimiento de Energía Primaria por Uso

Por lo tanto, de los valores finales que se obtengan del IPE se tomará un 81,18% del mismo que corresponde a la suma de la energía primaria utilizada para calefacción en inviernos y la energía primaria utilizada para refrigeración en verano.

En cuanto a su cálculo, el IPE queda determinado por la diferencia entre el requerimiento específico global de energía primaria EP_{GL} , que considera la demanda específica anual de energía primaria para calefacción en invierno, refrigeración en verano, producción de agua caliente sanitaria e iluminación; y las contribuciones de energía generada a partir de fuentes renovables en la fracción destinada al autoconsumo $f_{AUT} * EP_{REN}$ bajo cualquiera de sus formas. Es decir:

$$IPE = EP_{GL} - f_{AUT} * EP_{REN} \quad (Ec.3)$$

Siendo:

- EP_{GL} : el requerimiento específico global de energía primaria
- EP_{REN} : la contribución específica de energías renovables
- f_{AUT} : la fracción de autoconsumo de energía generada a partir de fuentes renovables, cuyo valor queda determinado por las ecuaciones 4 y 5, según corresponda:

$$f_{AUT} \begin{cases} 1 & \text{si } EP_{REN} \leq EP_{GL} \quad (Ec. 4) \\ \frac{EP_{GL}}{EP_{REN}} & \text{si } EP_{REN} > EP_{GL} \quad (Ec. 5) \end{cases}$$

¹⁴ Procedimiento de cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas para calificación y certificación de inmuebles, Gobierno Nacional Argentino

El requerimiento específico global de energía primaria EP_{GL} incluye el requerimiento específico de energía primaria para calefacción en invierno (EPI), el requerimiento específico de energía primaria para refrigeración en verano (EPV), el requerimiento específico de energía primaria para producción de agua caliente sanitaria ($EPACS$), el requerimiento específico de energía primaria para iluminación ($EPIL$). Siendo entonces:

$$EP_{GL} = EPI + EPV + EPACS + EPIL \quad (\text{Ec.6})$$

En este análisis, como se mencionó anteriormente, no se evaluará el consumo de energía primaria para producción de agua caliente ni para iluminación, por lo que nos quedará para el desarrollo de los cálculos:

$$EP_{GL} = EPI + EPV$$

En cuanto a la contribución específica de energías renovables (EP_{REN}) no se tomará en cuenta ya que en los casos a evaluar no hay instalaciones de energías renovables, por lo tanto:

$$IPE = EP_{GL}$$

3. Requerimiento Específico de Energía Primaria para Calefacción en Invierno (EPI):

El EPI; que se mide en las mismas unidades que el IPE ($\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}}$); es aquella energía primaria utilizada en los meses de invierno para la calefacción. El período de calefacción se define como el período de tiempo durante el cual se asume que los sistemas activos de calefacción garantizan una temperatura de confort constante y uniforme en el interior de cada una de las zonas térmicas definidas del inmueble. Se deben identificar también los ambientes climatizados y no climatizados del inmueble, a fin de delimitar las distintas zonas y envolventes térmicas que lo caracterizarán.

$$EPI = \frac{E_{p,i}}{A_u} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

- A_u : Superficie útil del inmueble, en m^2
- $E_{p,i}$: Requerimiento anual de energía primaria para calefacción en invierno, en kWh

A su vez, se define:

$$E_{p,i} = E_{S,i} * f_{P,i} \quad (\text{Ec.8})$$

Con:

- $E_{S,i}$: Requerimiento total de energía secundaria, en kWh
- $f_{P,i}$: Factor de conversión a energía primaria, del vector energético que alimenta los sistemas activos de calefacción instalados en la i-ésima zona térmica. Los valores de este son los enunciados en la Tabla 14, Anexo 1. Tomaremos en este caso el valor de $f_P = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Así mismo, tenemos:

$$E_{S,i} = \frac{E_{U,i}}{n_{c,i,j}} \quad (\text{Ec.9})$$

Con:

- $E_{U,I}$: Requerimiento total de energía térmica, en kWh
- $n_{c,i,j}$: Rendimiento medio ponderado de los sistemas activos de calefacción instalados en la i -ésima zona térmica, funcionando durante el j -ésimo mes. (Ver Anexo 1, Tabla 15).

Por último,

$$E_{U,I} = \sum_{j=1}^M [\sum_{i=1}^N Q_{I,i,j}] \quad (\text{Ec.10})$$

- $Q_{I,i,j}$: Requerimiento mensual de energía térmica para calefacción de la i -ésima zona térmica en el j -ésimo mes, en kWh .

Se puede definir a $Q_I = Q_{tr;rad;ve} - \eta_{gr} * Q_{gr}$ (Ec.11). Donde,

- $Q_{tr;rad;ve}$: Energía térmica intercambiada por transmisión a través de la envolvente térmica, radiación a la bóveda celeste y ventilación, aireación e infiltración.
- η_{gr} : Factor de utilización de los aportes térmicos gratuitos
- Q_{gr} : Aportes térmicos gratuitos totales

Los aportes gratuitos totales están compuestos por la energía gratuita por aportes térmicos internos y la energía gratuita por aportes térmicos solares pasivos. La primera representa la ganancia de energía térmica generada por los artefactos electrónicos presentes en el inmueble, y el metabolismo de los ocupantes de este. No todos los aportes térmicos gratuitos que ingresan a una zona térmica durante un mes pueden aprovecharse para disminuir los requerimientos de energía para calefacción, pues se puede dar la situación de que ingrese calor gratuito en momentos en los que no se necesita. Por lo tanto, teniendo en cuenta las variables consideradas y la complejidad del cálculo para un caso hipotético se van a considerar despreciables los aportes térmicos gratuitos para el desarrollo de este trabajo.

En cuando a la energía térmica por transmisión de la envolvente térmica, radiación y ventilación, para el presente trabajo se evaluará solamente el impacto de la envolvente térmica y radiación, no considerando Q_{ve} (por ventilación) debido al objetivo planteado. Por lo tanto, tenemos:

$$Q_{tr;rad;ve} = Q_{tr;rad} + Q_{ve} \quad (\text{Ec.12})$$

Donde $Q_{ve} = 0$, y:

$$Q_{tr;rad} = \frac{1}{1000} [H_{tr}(\theta_{int} - \theta_{ext})T + \phi_{rad}T + \phi_{terr}T] \quad (\text{Ec.13})$$

Donde

- H_{tr} : coeficiente de intercambio térmico (punto A)
- θ_{int} : temperatura interior en invierno = 20°C
- θ_{ext} : temperatura exterior en invierno (ver Tabla 3)
- T : tiempo en horas = días en el mes * 24 h
- ϕ_{rad} : flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (punto B)
- ϕ_{terr} : flujo de energía térmica a través del terreno = 0 por ser un departamento de piso intermedio

Para conocer los parámetros que componen al requerimiento mensual de energía térmica para calefacción tenemos:

A. *Coefficiente de intercambio térmico (H_{tr}):*

$$H_{tr} = H_D + H_U \quad (\text{Ec.14})$$

- H_D : coeficiente de intercambio térmico por transmisión al exterior
- H_U : coeficiente de intercambio térmico por transmisión hacia ambientes no climatizados

$$H_D = \sum_{i=1}^N A_{e,i} K_{e,i} \quad (\text{Ec.15})$$

$$H_U = \sum_{j=1}^M A_{e,j} K_{e,j} b_{tr,j} \quad (\text{Ec.16})$$

- $A_{e,i}$: superficie de la envolvente térmica en contacto con el exterior
- $K_{e,i}$: transmitancia térmica de cada capa
- $b_{tr,j}$: factor de corrección del intercambio térmico con ambientes no climatizados (ver Anexo 1, Tabla 16)

$$K_e = \frac{1}{R_{si} + R_e + R_{se}} (1 + F_{PT}) \quad (\text{Ec.17})$$

- R_{si} : resistencia superficial interior (ver Anexo 1, Tabla 17)
- R_{se} : resistencia superficial exterior (ver Anexo 1, Tabla 17)
- R_e : resistencia térmica del elemento de la envolvente
- F_{PT} : factor de corrección por puentes térmicos. (ver Anexo 1, Tabla 18)

$$R_e = \sum_{k=1}^L \frac{e_k}{\lambda_k} \quad (\text{Ec.18})$$

- λ_k : es la conductividad del material (obtenido de las fichas técnicas de los materiales, ver Tabla 20 en el Anexo 1)
- e_k : espesor de la capa

B. *Cálculo del flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (ϕ_{rad}):*

$$\phi_{rad} = \sum_{i=1}^N R_{se} K_{e,i} A_{e,i} F_{r,i} h_r \Delta\theta_{er} \quad (\text{Ec.19})$$

- $F_{r,i}$: factor de forma del i-ésimo elemento de la envolvente térmica. Cambia según sea contacto por el techo o piso, o bien por los laterales (ver Figura 9). Como no hay contacto al exterior por el techo ni piso al ser un departamento de piso intermedio, por lo tanto, el valor será de 0,5

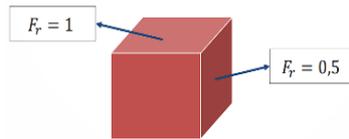


Figura 10: Factor de forma según orientación de la cara

- h_r : coeficiente de intercambio térmico por radiación a la bóveda celeste linealizado:
 - Superficies opacas $\rightarrow h_r = 4,5 \frac{W}{m^2K}$
 - Superficies transparentes $\rightarrow h_r = 4,185 \frac{W}{m^2K}$
- $\Delta\theta_{er}$: diferencia de temperatura superficial exterior media del elemento de la envolvente considerado y la temperatura aparente del cielo. DATO: $\Delta\theta_{er} = 11^\circ C$

4. Requerimiento Específico de Energía Primaria para Refrigeración en Verano (EPV):

Para el cálculo del EPV se realiza un procedimiento semejante al anterior pero definido para el período de refrigeración. Este sería el período de tiempo durante el cual se asume que los sistemas activos de refrigeración garantizan una temperatura de confort constante y uniforme en el interior de cada una de las zonas térmicas definidas del inmueble.

$$EPV = \frac{E_{p,V}}{A_u} \quad (\text{Ec.20})$$

Donde:

- A_u : Superficie útil del inmueble, en m^2
- $E_{p,V}$: Requerimiento anual de energía primaria para refrigeración en verano, en kWh

A su vez, se define:

$$E_{p,V} = E_{S,V} * f_{P,i} \quad (\text{Ec.21})$$

Con:

- $E_{S,V}$: Requerimiento total de energía secundaria, en kWh
- $f_{P,i}$: Factor de conversión a energía primaria, del vector energético que alimenta los sistemas activos de calefacción instalados en la i-ésima zona térmica. Los valores de este son los de la Tabla 14 en el Anexo 1.

Así mismo, tenemos:

$$E_{S,V} = \frac{E_{U,V}}{n_{r;i,j}} \quad (\text{Ec.22})$$

Con:

- $E_{U,V}$: Requerimiento total de energía térmica, en kWh
- $n_{r;i,j}$: Rendimiento medio ponderado de la instalación de refrigeración presente en la i-ésima zona térmica, funcionando durante el j-ésimo mes (ver Anexo 1, Tabla 19)

Por último,

$$E_{U;V} = \sum_{j=1}^M [\sum_{i=1}^N Q_{V;i;j}] \quad (\text{Ec.23})$$

- $Q_{V;i;j}$: Requerimiento mensual de energía térmica para refrigeración de la i-ésima zona térmica en el j-ésimo mes, en kWh.

Se puede definir a $Q_V = Q_{gr} - \eta_{disp} * Q_{tr; rad; ve}$ (Ec.24). Donde,

- $Q_{tr; rad; ve}$: Energía térmica intercambiada por transmisión a través de la envolvente térmica, radiación a la bóveda celeste y ventilación, aireación e infiltración.
- η_{disp} : Factor de utilización de las dispersiones térmicas
- Q_{gr} : Aportes térmicos gratuitos totales

Al igual que en el cálculo del EPI, los aportes gratuitos serán desestimados debido a la complejidad en los cálculos y el bajo porcentaje que se puede esperar de ellos.

En cuando a la energía térmica por transmisión de la envolvente térmica, radiación y ventilación, para el presenta trabajo se evaluará solamente el impacto de la envolvente térmica y por radiación debido al objetivo planteado.

No todas las dispersiones térmicas, η_{disp} , que son las pérdidas de energía térmica por ventilación, transmisión a través de la envolvente y radiación a la bóveda celeste, pueden ser aprovechadas para disminuir los requerimientos de energía para refrigeración. Esto se debe a que las mismas pueden producirse durante momentos del día en los que no existe una demanda de refrigeración (por ejemplo, durante las horas de la madrugada), con lo cual no podrán sencillamente ser contabilizadas con signo negativo al consumo.

Este es función de la relación entre los aportes térmicos gratuitos totales y las pérdidas térmicas totales (γ_{ver}), y de un parámetro numérico adimensional de ajuste (α_{ver}) que depende de la constante de tiempo de la zona térmica. De esta manera, el factor de utilización de las dispersiones térmicas queda determinado para cada mes y para cada zona térmica considerada, por las expresiones 25, 26, 27; según corresponda:

$$\eta_{disp} \begin{cases} \frac{1 - \gamma_{ver}^{-\alpha_{ver}}}{1 - \gamma_{ver}^{-(\alpha_{ver}+1)}} & \text{si } \gamma_{ver} > 0 \text{ y } \gamma_{ver} \neq 1 & (\text{Ec. 25}) \\ \frac{\alpha_{ver}}{\alpha_{ver} + 1} & \text{si } \gamma_{ver} = 1 & (\text{Ec. 26}) \\ 1 & \text{si } \gamma_{ver} < 0 & (\text{Ec. 27}) \end{cases}$$

Siendo:

- γ_{ver} : la relación entre los aportes térmicos gratuitos totales y las pérdidas térmicas totales;
- α_{ver} : el parámetro numérico adimensional de ajuste.

Como se desprecian los aportes térmicos gratuitos totales, $\gamma_{ver} = \frac{Q_{gr}}{Q_{tr; rad; ve}} < 0$, $\eta_{disp} = 1$.

Luego, para conocer $Q_{tr; rad; ve}$ tenemos:

$$Q_{tr; rad; ve} = Q_{tr; rad} + Q_{ve} \quad (\text{Ec.12})$$

Donde $Q_{ve} = 0$, y:

$$Q_{tr, rad} = \frac{1}{1000} [H_{tr}(\theta_{int} - \theta_{ext})T + \phi_{rad}T + \phi_{terr}T] \quad (\text{Ec.13})$$

Donde

- H_{tr} : coeficiente de intercambio térmico (punto A, visto en 3 de la sección 4.4)
- θ_{int} : temperatura interior en verano = 26°C
- θ_{ext} : temperatura exterior en invierno (ver Tabla 3)
- T : tiempo en horas = días en el mes * 24 h
- ϕ_{rad} : flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (punto B, visto en 3 de la sección 4.4)
- ϕ_{terr} : flujo de energía térmica a través del terreno = 0 por ser un departamento de piso intermedio

5.5. Caso Inicial

Condiciones anteriores a una Retroadaptación:

Para la evaluación del ahorro de energía dedicado a la calefacción y refrigeración de un departamento intermedio se va a contrastar, como se dijo anteriormente, un caso sin condiciones favorables en cuanto a aislamiento contra otro intencionalmente adaptado para evitar cierto nivel de pérdidas de calor en la envolvente.

Se va a utilizar el caso de un departamento estándar, con un tipo de construcción común consultado a un Estudio de Arquitectura, y por lo tanto basado en metodologías de construcción usadas y habilitadas por la Ciudad. No se van a incluir en estos cálculos el uso de aislantes en la envolvente para calcular el IPE. Luego se contrastará con un aislante agregado a este caso base y conocer en función a eso el porcentaje de energía ahorrado y así evaluar el impacto económico sobre el usuario y extrapolando, el impacto en las emisiones de la Ciudad.

En los cálculos se desestimará el impacto de los puentes térmicos como puertas y ventanas ya que no se va a evaluar la mejora en aislamiento sobre los mismos, por lo que incluirlos en los cálculos no generaría diferencia en la comparación y aumentaría la complejidad del desarrollo. Se considera que no justifica o afectaría en los resultados este punto.

Por lo tanto, en función a lo consultado con el Estudio de Arquitectura, una pared exterior estándar en un edificio residencial posee la siguiente estructura:

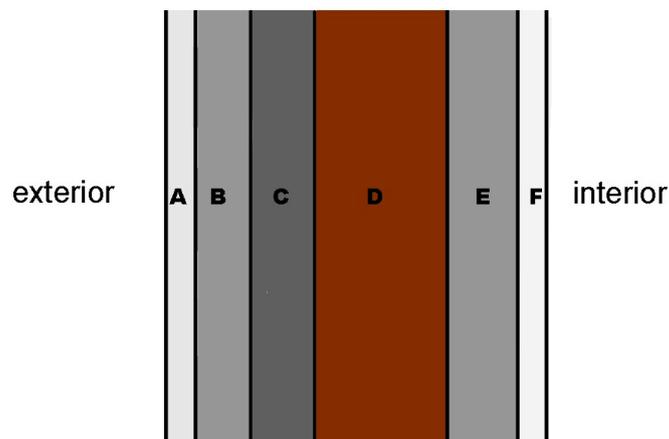


Figura 11: Estructura de una pared exterior¹⁵

¹⁵ Elaboración propia (no a escala), 2024

- A. Revestimiento plástico hidrófugo de espesor de 3 mm
- B. Revoque grueso alisado de cemento y arena (concreto) en proporción 1:3 y de espesor de 15 mm
- C. Revoque hidrófugo de cemento, arena y un aditivo como puede ser la ceresita (aditivo hidrófugo, líquido o en masa, que se aplica al mortero u hormigón al momento del amasado) en las proporciones 1:3 más el aditivo y de un espesor de 20 mm
- D. Ladrillo hueco de 330 x 180 x 180 mm y que queda de un espesor de 180 mm en la pared
- E. Revoque grueso alisado de cemento y arena (concreto) en proporción 1:3 y de espesor de 30 mm
- F. Enduido interior de 2 mm de espesor

Para iniciar los cálculos del IPE se necesitan los datos de las conductividades térmicas de los materiales anteriormente mencionados. Estos datos se especifican en la siguiente tabla con la bibliografía o fuente de la cual se obtuvieron:

Material	e [mm]	λ [$\frac{W}{m \cdot K}$]	Fuente	Observación
A. Revestimiento plástico hidrófugo	3	0,30	OpenAI. (2024). ChatGPT (versión del 22 de julio) [Modelo de lenguaje de gran tamaño]. https://chat.openai.com/chat	Se consultó la conductividad térmica de un Revestimientos plásticos estándar: "La conductividad térmica de los plásticos utilizados en revestimientos hidrófugos suele estar en el rango de 0.2 a 0.5 W/m·K." ¹⁶ Por lo tanto se tomó un valor intermedio para realizar los cálculos, ya que no se encontró información precisa en otra fuente.
B. Revoque de concreto	15	1,30	NORMA IRAM 11601	Humedad al 10%
C. Revoque hidrófugo de cemento, arena y un aditivo	20	1,30	NORMA IRAM 11601	Humedad al 10%. Se desprecia el impacto del aditivo ya que, en términos generales, si la ceresita se añade en proporciones típicas (por ejemplo, 1-2% del peso del cemento), el impacto en la conductividad térmica podría ser leve. Puede afectar la conductividad térmica, pero es probable que el cambio no sea muy grande. La principal ventaja de la Ceresita es la mejora de la impermeabilidad, lo que puede indirectamente ayudar a mantener las propiedades térmicas en condiciones de humedad.
D. Ladrillo hueco de 330 x 180 x 180 mm	180	0,44	NORMA IRAM 11601	Los datos brindados refieren a la resistencia ($R=0,41$ m ² K/W),

¹⁶ OpenAI, 2024

				pero considerando la ecuación 2: $R=e/\lambda$, se tienen los datos para conocer λ
E. Revoque de concreto	30	1,30	NORMA IRAM 11601	S/O
F. Enduido interior	2	0,64	NORMA IRAM 11601	En la norma figuran los datos correspondientes a enlucido de yeso de densidad 1200 kg/m^3 y una conductividad térmica de $0,64 \text{ W/m}^*\text{K}$. Ambos materiales se utilizan para darle un acabado final al interior de la pared, ambos de yeso y buscando información brindada por el Conicet en Mendoza (https://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/soft/), para un enduido de yeso de igual densidad, la conductividad térmica es la misma, por lo que se consideró este dato brindado por IRAM.

Tabla 4: Propiedades de materiales componentes de un muro exterior

Como criterios generales ante la variabilidad de densidades y por lo tanto de conductividades térmicas, siempre se tomó el caso de “peor escenario”, es decir, la conductividad térmica más alta, por lo general asociada a mayor densidad.

Las tablas 23 y 24 obtenidas de la Norma IRAM 11601 se pueden ver en el Anexo 1: Tablas de factores y constantes.

El desarrollo de los cálculos se llevó a cabo con los datos anteriores y en función de la metodología propuesta en “Parámetros e indicadores”, punto 5.4. Por la disposición de la unidad funcional solo se encuentra una zona térmica con un área en contacto con el exterior de $91,5 \text{ m}^2$ y un área en contacto con una zona no térmica de $10,4 \text{ m}^2$, y, por consiguiente, un área de la envolvente de $101,9 \text{ m}^2$. Una vez definido esto se deben calcular los parámetros mencionados anteriormente. Se inician los cálculos de los últimos parámetros propuestos hacia los más globales. Entonces se tiene:

i. Requerimiento mensual de energía térmica para calefacción Q_I :

$$Q_I = Q_{tr; rad; ve} - \eta_{gr} * Q_{gr}$$

Donde se habían despreciado los aportes gratuitos, por lo que queda:

$$Q_I = Q_{tr; rad; ve} = Q_{tr; rad} + Q_{ve}$$

Se había definido anteriormente que $Q_{ve} = 0$, por lo tanto, $Q_{tr; rad; ve} = Q_{tr; rad}$.

De la ecuación 13 se tenía que:

$$Q_{tr; rad} = \frac{1}{1000} [H_{tr}(\theta_{int} - \theta_{ext})T + \phi_{rad}T + \phi_{terr}T]$$

Donde $\phi_{terr} = 0$ dado que se está evaluando un departamento de piso intermedio.

Se debe calcular el H_{tr} y ϕ_{rad} .

La ecuación 14 plantea:

$$H_{tr} = H_D + H_U$$

Donde:

$$H_D = \sum_{i=1}^N A_{e,i} K_{e,i}$$

Como solo se tiene un tipo de estructura del muro (Figura 10) el valor de la transmitancia térmica $K_{e,i}$ será igual para todas las secciones de la pared en contacto con el exterior por lo que se puede sacar de la sumatoria y $\sum_{i=1}^N A_{e,i} = A_{\text{contacto con ext}} = 91,5 \text{ m}^2$.

La conductividad térmica se obtiene según la ecuación 17 como:

$$K_e = \frac{1}{R_{si} + R_e + R_{se}} (1 + F_{PT})$$

Donde los valores que se toman son:

- $R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $F_{PT} = 0,10$ al ser una pared de ladrillos huecos (ver Anexo 1, Tabla 18)
- $R_e = \sum_{k=1}^L \frac{e_k}{\lambda_k} = \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_C}{\lambda_C} + \frac{e_D}{\lambda_D} + \frac{e_E}{\lambda_E} + \frac{e_F}{\lambda_F}$

$$R_e = \left(\frac{3 \text{ mm}}{0,30 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} + \frac{15 \text{ mm}}{1,30 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} + \frac{20 \text{ mm}}{1,30 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} + \frac{180 \text{ mm}}{0,44 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} + \frac{30 \text{ mm}}{1,30 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} + \frac{2 \text{ mm}}{0,64 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}} \right) * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$R_e = 0,47 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Según los valores de las Tabla 4.

Entonces,

$$K_e = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,47 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} (1 + 0,10) = 1,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Reemplazando estos valores en $H_D = A_{\text{contacto con ext}} * K_e$ se obtiene:

$$H_D = 91,5 \text{ m}^2 * 1,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$H_D = 156,7 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Por otro lado:

$$H_U = \sum_{j=1}^M A_{e,j} K_{e,j} b_{tr,j}$$

- $A_{e,j} = 10,4 \text{ m}^2$ ya que es el área térmica adyacente a un ambiente no climatizado
- $K_{e,j} = 1,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
- $b_{tr,j} = 0,80$ ambiente con tres paredes externas (ver Anexo 1, Tabla 16)

Al igual que antes, como es solamente una estructura en cada muro y el área incluye la sumatoria de todas las paredes, siendo las otras dos variables constantes queda:

$$H_U = A_{e;j} * K_{e;j} * b_{tr;j}$$

$$H_U = 10,4 \text{ m}^2 * 1,71 \frac{W}{\text{m}^2 K} * 0,80$$

$$H_U = 14,3 \frac{W}{K}$$

Y,

$$H_{tr} = 156,7 \frac{W}{K} + 14,3 \frac{W}{K} = 171,0 \frac{W}{K}$$

Para el cálculo del flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (ϕ_{rad}) se tiene la ecuación 19:

$$\phi_{rad} = \sum_{i=1}^N R_{se} K_{e;i} A_{e;i} F_{r;i} h_r \Delta\theta_{er}$$

- $R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2 K}{W}$
- $K_{e;i} = 1,71 \frac{W}{\text{m}^2 K}$
- $A_{e;i} = 91,5 \text{ m}^2$
- $F_{r;i} = 0,5$ (ver Figura 9)
- $h_r = 4,5 \frac{W}{\text{m}^2 K}$ al ser todas superficies opacas.
- $\Delta\theta_{er} = 11^\circ C = 11 K$ ya que es una diferencia.

Como son todos los valores constantes y el área ya incluye la sumatoria se debe realizar una simple multiplicación de las variables:

$$\phi_{rad} = 0,04 \frac{\text{m}^2 K}{W} * 1,71 \frac{W}{\text{m}^2 K} * 91,5 \text{ m}^2 * 0,5 * 4,5 \frac{W}{\text{m}^2 K} * 11 K$$

$$\phi_{rad} = 155,2 W$$

En cuanto a las temperaturas θ (Tabla 3: Estadísticas Normales de Temperatura Media de los Meses a Evaluar) y el tiempo T de exposición están definidos para cada mes y período:

Mes	θ_{ext} ($^\circ C$)	Días del período	T (hrs.)
Mayo	14,7	17	408
Junio	12,0	30	720
Julio	11,5	31	744
Agosto	13,0	31	744
Septiembre	15,2	16	384

Y la $\theta_{int-inv} = 20^\circ C$

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr;rad;MAY} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 W} [171,0 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 14,7^\circ C) * 408 \text{ hrs} + 155,2 W * 408 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;MAY} = 433,0 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; JUN} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (20^{\circ}\text{C} - 12,0^{\circ}\text{C}) * 720 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 720 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; JUN} = 1096,5 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; JUL} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (20^{\circ}\text{C} - 11,5^{\circ}\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; JUL} = 1196,7 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; AGO} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (20^{\circ}\text{C} - 13,0^{\circ}\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; AGO} = 1005,9 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; SEP} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (20^{\circ}\text{C} - 15,2^{\circ}\text{C}) * 384 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 384 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; SEP} = 372,7 \text{ kWh}$$

ii. Requerimiento total de energía térmica en invierno, en kWh $E_{U;I}$

$$E_{U;I} = \sum_{j=1}^M \left[\sum_{i=1}^N Q_{I;i,j} \right]$$

Donde N es la cantidad de capas en el muro con Ke diferente, por lo tanto, N = 1. Y M es la cantidad de meses, M = 5:

$$E_{U;I} = \sum_{j=1}^5 [Q_{I;j}]$$

$$E_{U;I} = 433,0 \text{ kWh} + 1096,5 \text{ kWh} + 1196,7 \text{ kWh} + 1005,9 \text{ kWh} + 372,7 \text{ kWh}$$

$$E_{U;I} = 4106,8 \text{ kWh}$$

iii. Requerimiento total de energía secundaria en invierno, en kWh $E_{S;I}$

$$E_{S;I} = \frac{E_{U;I}}{n_{c;i;j}}$$

Para la selección del factor de rendimiento medio ponderado de los sistemas activos de calefacción instalados se tomaron los dos casos extremos. Es decir, el caso de tener el aire acondicionado de clase A tipo Split de mejor rendimiento ambiental y el peor caso que sería un aire acondicionado de clase G tipo Split compacto.

→ Caso 1: $n_{c;i;j} = 3,60$ Aire acondicionado clase A tipo Split (Ver Anexo 1, Tabla 15).

→ Caso 2: $n_{c;i;j} = 2,20$ Aire acondicionado clase G tipo Split compacto (Ver Anexo 1, Tabla 15).

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{S;I} = \frac{4106,8 \text{ kWh}}{3,60} = 1140,8 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{S;I} = \frac{4106,8 \text{ kWh}}{2,20} = 1866,7 \text{ kWh}$$

iv. Requerimiento anual de energía primaria para calefacción en invierno, en kWh $E_{p;I}$

$$E_{p;I} = E_{S;I} * f_{p;i}$$

Donde se había definido $f_p = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{p;I} = 1140,8 \text{ kWh} * 3,30 = 3764,6 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{p;I} = 1866,7 \text{ kWh} * 3,30 = 6169,2 \text{ kWh}$$

v. Requerimiento específico de energía primaria para calefacción en invierno, en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$ EPI

$$EPI = \frac{E_{p;I}}{A_u}$$

Donde:

- $A_u = 56 \text{ m}^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPI = \frac{3764,6 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 67,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$EPI = \frac{6169,2 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 110,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

Por otro lado, están los cálculos correspondientes a la energía requerida para refrigeración en verano:

vi. Requerimiento mensual de energía térmica para refrigeración en verano Q_V

Según la ecuación 24 y las suposiciones hechas se obtiene que $Q_I = Q_{tr;rad}$. Como la ecuación de $Q_{tr;rad;ve}$ para la refrigeración en verano es la misma que para calefacción en verano se obtienen los mismos valores para H_{tr} y ϕ_{rad} que en el punto i.

Queda entonces definir la temperatura exterior, interior y el tiempo de uso de la refrigeración para el período de verano con datos obtenidos de la tabla 3 y del modelo propuesto:

Mes	θ_{ext} (°C)	Días del período	T (hrs.)
Noviembre	21,4	16	384
Diciembre	23,9	31	744
Enero	25,3	31	744
Febrero	24,1	28 ¹⁷	672
Marzo	22,0	17	408

Y la $\theta_{int-ver} = 26^\circ C$

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr;rad;NOV} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} [171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ C - 21,4^\circ C) * 384 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 384 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;NOV} = 361,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;DIC} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} [171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ C - 23,9^\circ C) * 744 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;DIC} = 382,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;ENE} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} [171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ C - 25,3^\circ C) * 744 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;ENE} = 204,5 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;FEB} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} [171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ C - 24,1^\circ C) * 672 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 672 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;FEB} = 322,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;MAR} = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} [171,0 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ C - 22,0^\circ C) * 408 \text{ hrs} + 155,2 \text{ W} * 408 \text{ hrs}]$$

$$Q_{tr;rad;MAR} = 342,3 \text{ kWh}$$

vii. Requerimiento total de energía térmica en verano, en kWh $E_{U;V}$

$$E_{U;V} = \sum_{j=1}^M [\sum_{i=1}^N Q_{V;i;j}]$$

¹⁷ Se considera un período de un año no bisiesto

Donde N es la cantidad de capas en el muro con Ke diferente, por lo tanto, N = 1. Y M es la cantidad de meses, M = 5:

$$E_{U;V} = \sum_{j=1}^5 [Q_{V;j}]$$

$$E_{U;V} = 361,6 \text{ kWh} + 382,6 \text{ kWh} + 204,5 \text{ kWh} + 322,6 \text{ kWh} + 342,3 \text{ kWh}$$

$$E_{U;V} = 1613,5 \text{ kWh}$$

viii. Requerimiento total de energía secundaria en verano, en kWh $E_{S;V}$

$$E_{S;V} = \frac{E_{U;V}}{n_{c;v;j}}$$

Este factor se selecciona igual que en el inciso iii. Es decir, el caso de tener el aire acondicionado de clase A tipo Split de mejor rendimiento ambiental y el peor caso que sería un aire acondicionado de clase G tipo Split compacto.

- Caso 1: $n_{c;v;j} = 3,20$ Aire acondicionado clase A tipo Split (Ver Anexo 1, Tabla 19).
- Caso 2: $n_{c;v;j} = 2,00$ Aire acondicionado clase G tipo Split compacto (Ver Anexo 1, Tabla 19).

Entonces:

- Caso 1:

$$E_{S;V} = \frac{1613,5 \text{ kWh}}{3,20} = 504,2 \text{ kWh}$$

- Caso 2:

$$E_{S;V} = \frac{1613,5 \text{ kWh}}{2,00} = 806,8 \text{ kWh}$$

ix. Requerimiento anual de energía primaria para refrigeración en verano, en kWh $E_{p;V}$

$$E_{p;V} = E_{S;V} * f_{p;i}$$

Donde se había definido $f_p = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

- Caso 1:

$$E_{p;V} = 504,2 \text{ kWh} * 3,30 = 1664,0 \text{ kWh}$$

- Caso 2:

$$E_{p;V} = 806,8 \text{ kWh} * 3,30 = 2662,3 \text{ kWh}$$

x. Requerimiento específico de energía primaria para refrigeración en verano, en $\frac{kWh}{m^2 \cdot año}$ EPV

$$EPV = \frac{E_{p;V}}{A_u}$$

Donde:

- $A_u = 56 m^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPV = \frac{1664,0 kWh}{56 m^2} = 29,7 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

→ Caso 2:

$$EPV = \frac{2662,3 kWh}{56 m^2} = 47,5 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

Una vez calculados ambos requerimientos específicos de energía primaria para calefacción y refrigeración podemos calcular el Índice de Prestaciones energéticas IPE.

Como se definió en la ecuación 3 y como se está evaluando el impacto de la energía para acondicionamiento, dejando de lado el agua caliente sanitaria y luminaria se obtiene:

$$IPE = EPI + EPV$$

→ Caso 1:

$$IPE = 67,2 \frac{kWh}{m^2 \cdot año} + 29,7 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$
$$IPE_{Caso 1} = 96,9 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

→ Caso 2:

$$IPE = 110,0 \frac{kWh}{m^2 \cdot año} + 47,5 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$
$$IPE_{Caso 2} = 157,5 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

Como verificación de estos valores y para contrastar si son representativos; ya que se tomaron varios supuestos como la ausencia de puentes térmicos (ventanas y puertas), que eran despreciables los aportes gratuitos, que todas las paredes eran paredes externas, los tipos de instalaciones de aire acondicionado y algunas aproximaciones mencionadas anteriormente para los valores de las conductividades térmicas; se comparan contra los valores obtenidos en el Informe de la Prueba Piloto mencionada anteriormente. Los valores obtenidos en el informe de Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas – Ciudad Autónoma De Buenos Aires en el que se define como “Caso Base” donde las condiciones de edificación se consideraron las materialidades de la envolvente de un departamento de la media de su tipo según los resultados obtenidos en el piloto y se le incorporaron sistemas activos de peor eficiencia energética. Es decir, se consideraron las peores condiciones existentes. Las variables de salida del aplicativo Informático de Etiquetado de Viviendas para este caso resultaron:

- IPE [kW/m²año]: 283
- EPI [kW/m²año]: 170
- EPV [kW/m²año]: 32
- K_{e, muros} [kW/m²K]: 1,88

El otro modelo que se podría utilizar como referencia para hacer la comparación y evaluar el ahorro energético es el que corresponde a el promedio de los resultados obtenidos de aquellas variables asociadas al IPE según la tipología de vivienda evaluada. Este sería un caso basado en mediciones de campo, tal vez más acertado para la comparación real en la Ciudad de Buenos Aires que un caso teórico planteado como el “peor de los casos”, propuesto en el Caso Base. Los resultados de este relevamiento en campo fueron (ver Tabla 21):

- IPE [kW/m²año]: 193,9
- EPI [kW/m²año]: 131,7
- EPV [kW/m²año]: 17,6
- K_{e, muros} [kW/m²K]: 2,0

Cabe mencionar que el IPE no solo incluye el EPI y EPV. Estas dos variables representan el 81,18% del IPE según esta misma Prueba Piloto por lo que la comparación con el IPE calculado en el presenta trabajo debe ser contra este porcentaje.

A modo de resumen:

Variable	IPE Caso 1	IPE Caso 2	IPE Caso Base	IPE Campo
IPE total [kW/m ² año]	No calculado	No calculado	283,0	193,9
IPE = EPI + EPV (81,18% IPE total) [kW/m ² año]	96,9	157,5	229,7	157,4
EPI [kW/m ² año]	67,2	110,0	170,0	131,7
EPV [kW/m ² año]	29,7	47,5	32,0	17,6
K _e [kW/m ² K]:	1,71	1,71	1,88	2,0

Tabla 5: Valores de IPE según diversas fuentes y metodologías

Donde el Caso 1 es aquel calculado en el presente trabajo que corresponde a un departamento con acondicionamiento con un Aire acondicionado clase A tipo Split; el Caso 2, calculado en este trabajo también, es aquel con un equipo de Aire acondicionado clase G tipo Split compacto; el Caso Base es el calculado en el Informe de la Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas – Ciudad Autónoma De Buenos Aires donde se consideran las peores condiciones estructurales en cuanto a acondicionamiento para un departamento de las mismas dimensiones que la unidad funcional seleccionada en este trabajo; y el Caso de Campo es el otro caso brindado por el informe de la Prueba Piloto pero que fue recopilado para un departamento de piso intermedio con valores medidos en la Ciudad directamente.

Los órdenes de los resultados obtenidos son semejantes a los que presenta el Informe de la Prueba Piloto. Tiene sus diferencias, pero se consideran razonables y representativos para el objetivo del trabajo.

5.6. Caso de Retroadaptación o Retrofit

Condiciones para una Retroadaptación:

En cuanto al caso a analizar luego de agregar el aislamiento debido a la envolvente térmica se elegirá un material de los propuestos en el Informe Final del Desarrollo de

una Estrategia de retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires¹⁸. Estos materiales para estrategias pasivas son, para muros (envolvente térmica):

- Aislamiento de muros adyacentes a exterior por su cara exterior:
 - Poliestireno expandido (EPS)
 - Lana mineral (roca o vidrio)
 - Espuma – paneles fenólicos
 - Fibra de madera
- Aislamiento de muros adyacentes a exterior por su cara interior:
 - Poliestireno expandido (EPS)
 - Lana mineral (roca o vidrio)
 - Poliuretano – espuma de poliuretano
 - Espuma de polietileno

Para el criterio de selección del material se va a tener en cuenta, por un lado, el caso del material más barato según la cantidad que se necesite para la unidad funcional definida y el caso del material más eficiente en términos de resistencia a las pérdidas de calor.

Por otro lado, hay puntos que destaca el informe mencionado anteriormente sobre el programa de retrofit en la Ciudad tales como disponibilidad e incentivos en el país los cuales también se van a analizar.

Los programas que postula como incentivos son:

- El Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE): hoy en día sigue vigente ya que en la ley 2802 el sector público de la Ciudad se compromete a tomar las medidas conducentes a los fines de cumplimentar los objetivos propuestos en el Decreto N°140-PEN-2007 del Poder Ejecutivo Nacional que establece dicho Programa
- Programa económico “Ahora 12”: con el inicio del nuevo gobierno este programa dejó de tener vigencia. Hoy en día hay un programa similar denominado “Cuota simple” que es un programa que da la posibilidad de comprar productos nacionales en cuotas fijas con tu tarjeta de crédito. Es decir, permite el financiamiento en cuotas para compras con tarjeta en 35 rubros, por ahora vigente hasta el 31 de diciembre de 2024¹⁹. Este programa tiene el objetivo de fomentar el consumo, brindando la posibilidad de financiar compras en tres y seis cuotas fijas -quedando discontinuadas las 12, 18 y 24 cuotas- con tarjetas de crédito bancarias a la tasa más baja del mercado, según informaron desde la Secretaría de Comercio, dependiente del Ministerio de Economía. Dentro de estos rubros se encuentran materiales y herramientas para la construcción y comprende los siguientes productos: arena, cemento, cal, yeso, ladrillos, hierro, chapa, aberturas, maderas, cerámicos, sanitarios, caños, tuberías y sus conectores, grifería, membranas, tejas, pintura, vidrios, herrajes, pisos de madera, tanques, acoples, cuplas, tapones y herramientas de trabajo. No incluye la lista provista por el Gobierno Nacional ninguno de los aislantes a evaluar, por lo tanto, no es un punto para distinguir a la hora de seleccionar materiales. Y, por otro lado, al variar estos programas económicos según sean las condiciones del país, no se deberían tomar como un punto a destacar para la compra de materiales, pero sí considerarlos como una oportunidad a la hora de decidir realizar la inversión.

¹⁸ Heins, A., Barressi, C., Carlino, M., Frassetto, A., Gentile, C., Guillaumet, P., Iezzi, M., Magnasco, E., Mirasson, V., Piñera, M. C. y Serra, L. (2021). *Desarrollo de una Estrategia de Retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires: Informe Final*. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

¹⁹ Resolución 282/2021 Secretaria de Comercio Interior

- Programa “Procrear”: hoy en día denominado Procrear II, es un programa que ofrece soluciones que atienden a la diversidad de las demandas habitacionales, desde una política pública de desarrollos urbanísticos y nuevos espacios públicos e infraestructura que permitan mejor conectividad. Junto con el Plan Nacional de Suelo Urbano promueve la generación de suelo urbano de calidad para la construcción de viviendas y planificación de ciudades. Procrear II reconoce el rol estratégico del proceso productivo de la construcción fomentando a industria nacional, economías locales y la generación de empleo. Este programa, entonces, hace referencia a las construcciones nuevas, por lo tanto, no aplicaría como incentivo para el acondicionamiento de una construcción ya existente. Se podría evaluar como un programa que fomenta el rubro de la construcción y por lo tanto beneficia los costos a la hora de querer realizar una reforma en un departamento ya existente, pero sería más un beneficio indirecto del programa.

A modo de resumen, y teniendo en cuenta los criterios propuestos se muestra en la Tabla 6 una comparativa de los mismo:

Uso	Material	Incentivos	Disponibilidad ²⁰	Presupuesto ²¹	λ [W/K*m] ²²
Muros	EPS	Aplican de igual manera los mismos a todos: - PRONUREE - Cuota simple - Procrear	Alta. Más popular	\$ 990.000,00	0,032
	Lana mineral de vidrio		Alta	\$ 393.237,00	0,037
	Espuma – paneles fenólicos		Alta	S/D	0,038
	Fibra de madera		Alta	S/D	0,041
	Poliuretano – espuma de poliuretano		Alta	\$ 2.967.800,00	0,027
	Espuma de polietileno		Alta	\$ 1.926.000,00	0,047

Tabla 6: Criterios para Selección de Materiales

Se hará una comparación entre el aislante más eficiente, es decir el de menor conductividad térmica, que sería la espuma de poliuretano, y el aislante más económico, que, según el presupuesto brindado y con los datos encontrados hoy en día de la disponibilidad sería la lana mineral de vidrio. Cabe aclarar que el Informe del Desarrollo de una Estrategia de retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires fue realizado en el año 2021 y el presupuesto brindado es del mes de agosto de 2024, por ello pueden diferir algunos datos de disponibilidad.

Para ambos casos el diagrama final sería el siguiente:

²⁰ Desarrollo de una Estrategia de retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires, 2021

²¹ Ver Anexo 1 – Tabla 21

²² Ver Anexo 1 – Tabla 19

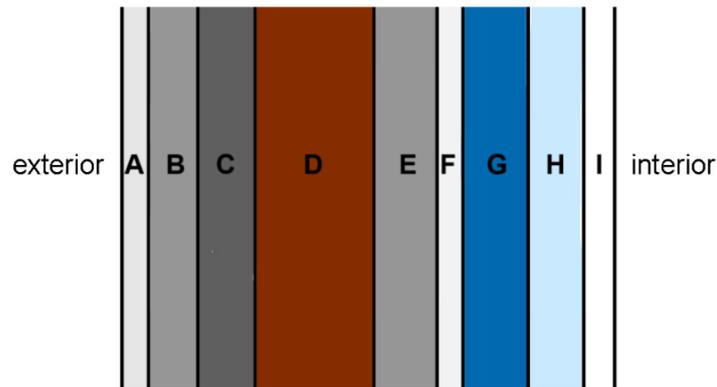


Figura 12: Estructura de una pared exterior con aislante²³

Donde:

- A.** Revestimiento plástico hidrófugo de espesor de 3 mm
- B.** Revoque grueso alisado de cemento y arena (concreto) en proporción 1:3 y de espesor de 15 mm
- C.** Revoque hidrófugo de cemento, arena y un aditivo como puede ser la ceresita (aditivo hidrófugo, líquido o en masa, que se aplica al mortero u hormigón al momento del amasado) en las proporciones 1:3 más el aditivo y de un espesor de 20 mm
- D.** Ladrillo hueco de 330 x 180 x 180 mm y que queda de un espesor de 180 mm en la pared
- E.** Revoque grueso alisado de cemento y arena (concreto) en proporción 1:3 y de espesor de 30 mm
- F.** Enduido interior de 2 mm de espesor
- G.** Aislante de espuma de poliuretano o lana de vidrio (según caso a evaluar) de un espesor de 38,1 mm (1,5 pulgadas)
- H.** Capa de aire de 20 mm que queda al agregar el terminado de Durlock para emprolijar la vista hacia el interior de las paredes
- I.** Revestimiento estándar de la marca Durlock para paredes interiores (perfil Omega) de 12,5 mm de espesor

Al agregar el Durlock y calculando la mano de obra para la remodelación el presupuesto o inversión inicial aumentan respecto al valor único del aislante. Para ambos casos seleccionados la cantidad de Durlock a utilizar y el tiempo de mano de obra es el mismo.

Para la mano de obra se consultó al mismo Estudio de Arquitectura, Grupo Torreón, al que se le consultó sobre el costo de los aislantes y para las dimensiones del departamento se estima que se tardarían 5 días hábiles y dos personas para realizar el trabajo completo y con un costo de \$ 10.000 por metro cuadrado más un 21% de IVA²⁴ quedando para los 101,90 m² de pared un costo total de mano de obra de \$1.232.990,00; le cual incluye también cualquier otro material que se necesite para los retoques finales y el uso de las herramientas.

En cuanto al costo de Durlock, para el cálculo del presupuesto se usó la página oficial de esta marca la cual tiene una sección para calcular el precio por metro cuadrado según las necesidades. En este caso se evaluó, como se mencionó anteriormente, para un revestimiento interior de placas de yeso para una vivienda. Esta misma plataforma recomienda distintas opciones y para la selección de esta se consultó cuál era utilizada por el Estudio Grupo Torreón, el cual indicó el Revestimiento Estándar con Perfiles

²³ Elaboración propia (no a escala), 2024

²⁴ Valor de agosto 2024

Omega lo que permite tener la capa de aire de 2 cm que favorece el aislamiento térmico. En el Anexo 4 se muestra el procedimiento para el cálculo del presupuesto con el enlace de la plataforma oficial de Durlock. El valor de este material por metro cuadrado será de \$ 12.650 quedando para toda la superficie un costo de \$1.289.035,00.

Quedando entonces, como inversión inicial para cada aislante:

- Espuma de Poliuretano: \$ 5.489.825,00
- Lana de Vidrio: \$ 2.915.262,00

Por lo tanto, el procedimiento de cálculo sería el mismo que el realizado anteriormente sin el aislamiento con la salvedad que al agregar las nuevas capas (G, H, I) al muro el K varía. Como datos se deben considerar también las conductividades térmicas y espesores de la capa de aire y de Durlock. Los espesores fueron mencionados, mientras que las conductividades térmicas son de 0,024 W/(m*K)²⁵ y 0,442 W/(m*K)²⁶, respectivamente.

Resumiendo las ecuaciones desarrolladas anteriormente:

1. ESPUMA DE POLIURETANO

xi. **Requerimiento mensual de energía térmica para calefacción Q_I' :**

$$Q_I' = Q_{tr, rad}'$$

$$Q_{tr, rad}' = \frac{1}{1000} [H_{tr}'(\theta_{int} - \theta_{ext})T + \phi_{rad}'T + \phi_{terr}T]$$

$$\phi_{terr} = 0$$

$$H_{tr}' = H_D' + H_U'$$

$$H_D' = \sum_{i=1}^N A_{e,i} K_{e,i}'$$

$$\sum_{i=1}^N A_{e,i} = A_{contacto con ext} = 91,5 m^2$$

En función a la Figura 11 $K_{e,i}$ será igual para todas las secciones de la pared en contacto con el exterior por lo que se puede sacar de la sumatoria, ahora agregando el aislante

$$K_e' = \frac{1}{R_{si} + R_e + R_{se}} (1 + F_{PT})$$

Donde los valores que se toman son:

- $R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $F_{PT} = 0,10$ al ser una pared de ladrillos huecos (ver Anexo 1, Tabla 18)
- $R_e' = \sum_{k=1}^L \frac{e_k}{\lambda_k} = \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_C}{\lambda_C} + \frac{e_D}{\lambda_D} + \frac{e_E}{\lambda_E} + \frac{e_F}{\lambda_F} + \frac{e_G}{\lambda_G}$

²⁵ Ricardo Santiago Netto. «Tabla de Conductividad Térmica». *fisicanet*. Consultado el 16 de septiembre de 2024.

²⁶ Placa Estándar de Durlock 12,5 mm. 2024. *Polytemp*. https://www.polytemp.com.ar/index.php?route=product/product&product_id=183

$$R_e' = \left(\frac{3 \text{ mm}}{0,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{15 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{20 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{180 \text{ mm}}{0,44 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{30 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{2 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{38,1 \text{ mm}}{0,027 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{20 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{2 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} \right) * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$R_e' = 2,74 \frac{m^2 K}{W}$$

Entonces:

$$K_e' = \frac{1}{0,13 \frac{m^2 K}{W} + 2,74 \frac{m^2 K}{W} + 0,04 \frac{m^2 K}{W}} (1 + 0,10) = 0,38 \frac{W}{m^2 K}$$

Reemplazando estos valores en $H_D' = A_{\text{contacto con ext}} * K_e'$ se obtiene:

$$H_D' = 91,5 \text{ m}^2 * 0,38 \frac{W}{m^2 K}$$

$$H_D' = 34,5 \frac{W}{K}$$

Por otro lado:

$$H_U' = \sum_{j=1}^M A_{e;j} K_{e;j}' b_{tr;j}$$

- $A_{e;j} = 10,4 \text{ m}^2$
- $K_{e;j}' = 0,38 \frac{W}{m^2 K}$
- $b_{tr;j} = 0,80$

$$H_U' = A_{e;j} * K_{e;j}' * b_{tr;j}$$

$$H_U' = 10,4 \text{ m}^2 * 0,38 \frac{W}{m^2 K} * 0,80$$

$$H_U' = 3,1 \frac{W}{K}$$

Y,

$$H_{tr}' = 34,5 \frac{W}{K} + 3,1 \frac{W}{K} = 37,7 \frac{W}{K}$$

Para el cálculo del flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (ϕ_{rad}') se tiene la ecuación 19:

$$\phi_{rad}' = \sum_{i=1}^N R_{se} K_{e;i}' A_{e;i} F_{r;i} h_r \Delta \theta_{er}$$

- $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 K}{W}$
- $K_{e;i}' = 0,38 \frac{W}{m^2 K}$
- $A_{e;i} = 91,5 \text{ m}^2$
- $F_{r;i} = 0,5$

- $h_r = 4,5 \frac{W}{m^2K}$ al ser todas superficies opacas.
- $\Delta\theta_{er} = 11^\circ C = 11 K$ ya que es una diferencia.

$$\phi_{rad}' = 0,04 \frac{m^2K}{W} * 0,38 \frac{W}{m^2K} * 91,5 m^2 * 0,5 * 4,5 \frac{W}{m^2K} * 11 K$$

$$\phi_{rad}' = 34,2 W$$

En cuanto a las temperaturas θ y el tiempo T de exposición están definidos para cada mes y período es igual que en el procedimiento sin aislante:

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr; rad; MAY}' = \frac{1 kW}{1000 W} [37,7 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 14,7^\circ C) * 408 hrs + 34,2 W * 408 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; MAY}' = 95,4 kWh$$

$$Q_{tr; rad; JUN}' = \frac{1 kW}{1000 W} [37,7 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 12,0^\circ C) * 720 hrs + 34,2 W * 720 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; JUN}' = 241,6 kWh$$

$$Q_{tr; rad; JUL}' = \frac{1 kW}{1000 W} [37,7 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 11,5^\circ C) * 744 hrs + 34,2 W * 744 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; JUL}' = 263,6 kWh$$

$$Q_{tr; rad; AGO}' = \frac{1 kW}{1000 W} [37,7 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 13,0^\circ C) * 744 hrs + 34,2 W * 744 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; AGO}' = 221,6 kWh$$

$$Q_{tr; rad; SEP}' = \frac{1 kW}{1000 W} [37,7 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 15,2^\circ C) * 384 hrs + 34,2 W * 384 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; SEP}' = 82,6 kWh$$

xii. Requerimiento total de energía térmica en invierno, en kWh $E_{U;I}$

$$E_{U;I}' = \sum_{j=1}^5 [Q_{I;j}']$$

$$E_{U;I}' = 95,4 kWh + 241,6 kWh + 263,6 kWh + 221,6 kWh + 82,6 kWh$$

$$E_{U;I}' = 904,8 kWh$$

xiii. Requerimiento total de energía secundaria en invierno, en kWh $E_{S;I}$

$$E_{S;I}' = \frac{E_{U;I}'}{n_{c;i;j}}$$

Para ambos casos planteados anteriormente:

→ Caso 1:

$$E_{S;I}' = \frac{904,8 \text{ kWh}}{3,60} = 251,3 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{S;I}' = \frac{904,8 \text{ kWh}}{2,20} = 411,3 \text{ kWh}$$

xiv. Requerimiento anual de energía primaria para calefacción en invierno, en kWh $E_{p;I}$

$$E_{p;I}' = E_{S;I}' * f_{P;i}$$

$f_p = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{p;I}' = 251,3 \text{ kWh} * 3,30 = 829,4 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{p;I}' = 411,3 \text{ kWh} * 3,30 = 1357,2 \text{ kWh}$$

xv. Requerimiento específico de energía primaria para calefacción en invierno, en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$ EPI

$$EPI' = \frac{E_{p;I}'}{A_u}$$

$A_u = 56 \text{ m}^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPI' = \frac{829,4 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 14,8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$EPI' = \frac{1357,2 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 24,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

xvi. Requerimiento mensual de energía térmica para refrigeración Q_V'

Como la ecuación de $Q_{tr; rad; ve}$ para la refrigeración en verano es la misma que para calefacción en verano se obtienen los mismos valores para H_{tr}' y ϕ_{rad}' que en el punto xi.

Queda entonces definir la temperatura exterior, interior y el tiempo de uso de la refrigeración para el período de verano que son los mismos que sin aislamiento.

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr; rad; NOV}' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[37,7 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ\text{C} - 21,4^\circ\text{C}) * 384 \text{ hrs} + 34,2 \text{ W} * 384 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; NOV}' = 79,7 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; DIC}' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[37,7 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ\text{C} - 23,9^\circ\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 34,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; DIC}' = 84,3 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; ENE}' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[37,7 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ\text{C} - 25,3^\circ\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 34,2 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; ENE}' = 45,1 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; FEB}' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[37,7 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ\text{C} - 24,1^\circ\text{C}) * 672 \text{ hrs} + 34,2 \text{ W} * 672 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; FEB}' = 71,1 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr; rad; MAR}' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[37,7 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^\circ\text{C} - 22,0^\circ\text{C}) * 408 \text{ hrs} + 34,2 \text{ W} * 408 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr; rad; MAR}' = 75,4 \text{ kWh}$$

xvii. Requerimiento total de energía térmica en verano, en kWh $E_{U;V}$

$$E_{U;V}' = \sum_{j=1}^5 [Q_{V;j}']$$

$$E_{U;V}' = 79,7 \text{ kWh} + 84,3 \text{ kWh} + 45,1 \text{ kWh} + 71,1 \text{ kWh} + 75,4 \text{ kWh}$$

$$E_{U;V}' = 355,5 \text{ kWh}$$

xviii. Requerimiento total de energía secundaria en verano, en kWh $E_{S;V}$

$$E_{S;V}' = \frac{E_{U;V}'}{n_{c;v;j}}$$

→ Caso 1:

$$E_{S;V}' = \frac{355,5 \text{ kWh}}{3,20} = 111,1 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{S;V}' = \frac{355,5 \text{ kWh}}{2,00} = 177,7 \text{ kWh}$$

xix. Requerimiento anual de energía primaria para refrigeración en verano, en kWh $E_{p;V}$

$$E_{p;V}' = E_{S;V}' * f_{p;i}$$

$f_p = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{p;v'} = 111,1 \text{ kWh} * 3,30 = 366,6 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{p;v'} = 177,7 \text{ kWh} * 3,30 = 586,6 \text{ kWh}$$

xx. Requerimiento específico de energía primaria para refrigeración en verano, en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$ EPV'

$$EPV' = \frac{E_{p;v'}}{A_u}$$

Donde:

- $A_u = 56 \text{ m}^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPV' = \frac{366,6 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 6,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$EPV' = \frac{586,6 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 10,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

Una vez calculados ambos requerimientos específicos de energía primaria para calefacción y refrigeración podemos calcular el Índice de Prestaciones energéticas IPE.

$$IPE' = EPI' + EPV'$$

→ Caso 1:

$$IPE' = 14,8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}} + 6,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

$$IPE'_{\text{Caso 1}} = 21,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$IPE' = 24,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}} + 10,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

$$IPE'_{\text{Caso 2}} = 34,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

2. LANA DE VIDRIO

xxi. Requerimiento mensual de energía térmica para calefacción Q_I'' :

$$Q_I'' = Q_{tr; rad}''$$

$$Q_{tr; rad}'' = \frac{1}{1000} [H_{tr}''(\theta_{int} - \theta_{ext})T + \phi_{rad}''T + \phi_{terr}T]$$

$$\phi_{terr} = 0$$

$$H_{tr}'' = H_D'' + H_U''$$

$$H_D'' = \sum_{i=1}^N A_{e,i} K_{e,i}''$$

$$\sum_{i=1}^N A_{e,i} = A_{\text{contacto con ext}} = 91,5 \text{ m}^2$$

En función a la Figura 11 $K_{e,i}$ será igual para todas las secciones de la pared en contacto con el exterior por lo que se puede sacar de la sumatoria, ahora agregando el aislante

$$K_e'' = \frac{1}{R_{si} + R_e + R_{se}} (1 + F_{PT})$$

Donde los valores que se toman son:

- $R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W}$ al ser un flujo horizontal (ver Anexo 1, Tabla 17)
- $F_{PT} = 0,10$ al ser una pared de ladrillos huecos (ver Anexo 1, Tabla 18)
- $R_e'' = \sum_{k=1}^L \frac{e_k}{\lambda_k} = \frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_C}{\lambda_C} + \frac{e_D}{\lambda_D} + \frac{e_E}{\lambda_E} + \frac{e_F}{\lambda_F} + \frac{e_G}{\lambda_G}$

$$R_e'' = \left(\frac{3 \text{ mm}}{0,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{15 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{20 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{180 \text{ mm}}{0,44 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{30 \text{ mm}}{1,30 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{2 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{38,1 \text{ mm}}{0,037 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{20 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} + \frac{2 \text{ mm}}{0,64 \frac{W}{K \cdot m}} \right) * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$R_e'' = 2,36 \frac{m^2K}{W}$$

Entonces:

$$K_e'' = \frac{1}{0,13 \frac{m^2K}{W} + 2,36 \frac{m^2K}{W} + 0,04 \frac{m^2K}{W}} (1 + 0,10) = 0,43 \frac{W}{m^2K}$$

Reemplazando estos valores en $H_D'' = A_{\text{contacto con ext}} * K_e''$ se obtiene:

$$H_D'' = 91,5 \text{ m}^2 * 0,43 \frac{W}{m^2K}$$

$$H_D'' = 39,7 \frac{W}{K}$$

Por otro lado:

$$H_U'' = \sum_{j=1}^M A_{e,j} K_{e,j}'' b_{tr,j}$$

- $A_{e,j} = 10,4 \text{ m}^2$
- $K_{e,j}'' = 0,43 \frac{W}{m^2K}$
- $b_{tr,j} = 0,80$

$$H_U'' = A_{e,j} * K_{e,j}'' * b_{tr,j}$$

$$H_U'' = 10,4 \text{ m}^2 * 0,43 \frac{W}{m^2K} * 0,80$$

$$H_U'' = 3,6 \frac{W}{K}$$

Y,

$$H_{tr}'' = 39,7 \frac{W}{K} + 3,6 \frac{W}{K} = 43,3 \frac{W}{K}$$

Para el cálculo del flujo de energía térmica por radiación a la bóveda celeste (ϕ_{rad}'') se tiene la ecuación 19:

$$\phi_{rad}'' = \sum_{i=1}^N R_{se} K_{e,i}'' A_{e,i} F_{r,i} h_r \Delta\theta_{er}$$

- $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 K}{W}$
- $K_{e,i}'' = 0,43 \frac{W}{m^2 K}$
- $A_{e,i} = 91,5 m^2$
- $F_{r,i} = 0,5$
- $h_r = 4,5 \frac{W}{m^2 K}$ al ser todas superficies opacas.
- $\Delta\theta_{er} = 11^\circ C = 11 K$ ya que es una diferencia.

$$\phi_{rad}'' = 0,04 \frac{m^2 K}{W} * 0,43 \frac{W}{m^2 K} * 91,5 m^2 * 0,5 * 4,5 \frac{W}{m^2 K} * 11 K$$

$$\phi_{rad}'' = 39,3 W$$

En cuanto a las temperaturas θ y el tiempo T de exposición están definidos para cada mes y período es igual que en el procedimiento sin aislante:

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr; rad; MAY}'' = \frac{1 kW}{1000 W} [43,3 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 14,7^\circ C) * 408 hrs + 39,3 W * 408 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; MAY}'' = 109,8 kWh$$

$$Q_{tr; rad; JUN}'' = \frac{1 kW}{1000 W} [43,3 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 12,0^\circ C) * 720 hrs + 39,3 W * 720 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; JUN}'' = 277,9 kWh$$

$$Q_{tr; rad; JUL}'' = \frac{1 kW}{1000 W} [43,3 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 11,5^\circ C) * 744 hrs + 39,3 W * 744 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; JUL}'' = 303,3 kWh$$

$$Q_{tr; rad; AGO}'' = \frac{1 kW}{1000 W} [43,3 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 13,0^\circ C) * 744 hrs + 39,3 W * 744 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; AGO}'' = 255,0 kWh$$

$$Q_{tr; rad; SEP}'' = \frac{1 kW}{1000 W} [43,3 \frac{W}{K} * (20^\circ C - 15,2^\circ C) * 384 hrs + 39,3 W * 384 hrs]$$

$$Q_{tr; rad; SEP}'' = 95,0 kWh$$

xxii. Requerimiento total de energía térmica en invierno, en kWh $E_{U;I}$

$$E_{U;I}'' = \sum_{j=1}^5 [Q_{I;j}'']$$

$$E_{U;I}'' = 109,8 \text{ kWh} + 277,9 \text{ kWh} + 303,3 \text{ kWh} + 255,0 \text{ kWh} + 95,0 \text{ kWh}$$

$$E_{U;I}'' = 1041,0 \text{ kWh}$$

xxiii. Requerimiento total de energía secundaria en invierno, en kWh $E_{S;I}$

$$E_{S;I}'' = \frac{E_{U;I}''}{n_{c;i;j}}$$

Para ambos casos planteados anteriormente:

→ Caso 1:

$$E_{S;I}'' = \frac{1041,0 \text{ kWh}}{3,60} = 289,2 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{S;I}'' = \frac{1041,0 \text{ kWh}}{2,20} = 473,2 \text{ kWh}$$

xxiv. Requerimiento anual de energía primaria para calefacción en invierno, en kWh $E_{p;I}$

$$E_{p;I}'' = E_{S;I}'' * f_{p;i}$$

$f_p = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{p;I}'' = 289,2 \text{ kWh} * 3,30 = 954,3 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{p;I}'' = 473,2 \text{ kWh} * 3,30 = 1561,5 \text{ kWh}$$

xxv. Requerimiento específico de energía primaria para calefacción en invierno, en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$ EPI

$$EPI'' = \frac{E_{p;I}''}{A_u}$$

$A_u = 56 \text{ m}^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPI'' = \frac{954,3 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 17,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$EPI'' = \frac{1561,5 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 27,9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

xxvi. Requerimiento mensual de energía térmica para refrigeración Q_{V}'

Como la ecuación de $Q_{tr;rad;ve}$ para la refrigeración en verano es la misma que para calefacción en verano se obtienen los mismos valores para H_{tr}' y ϕ_{rad}' que en el punto xi.

Queda entonces definir la temperatura exterior, interior y el tiempo de uso de la refrigeración para el período de verano que son los mismos que sin aislamiento.

Entonces, para cada mes según la ecuación 13 y reemplazando valores se obtiene:

$$Q_{tr;rad;NOV}'' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[43,3 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^{\circ}\text{C} - 21,4^{\circ}\text{C}) * 384 \text{ hrs} + 39,3 \text{ W} * 384 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr;rad;NOV}'' = 91,7 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;DIC}'' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[43,3 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^{\circ}\text{C} - 23,9^{\circ}\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 39,3 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr;rad;DIC}'' = 97,0 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;ENE}'' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[43,3 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^{\circ}\text{C} - 25,3^{\circ}\text{C}) * 744 \text{ hrs} + 39,3 \text{ W} * 744 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr;rad;ENE}'' = 51,8 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;FEB}'' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[43,3 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^{\circ}\text{C} - 24,1^{\circ}\text{C}) * 672 \text{ hrs} + 39,3 \text{ W} * 672 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr;rad;FEB}'' = 81,8 \text{ kWh}$$

$$Q_{tr;rad;MAR}'' = \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \left[43,3 \frac{\text{W}}{\text{K}} * (26^{\circ}\text{C} - 22,0^{\circ}\text{C}) * 408 \text{ hrs} + 39,3 \text{ W} * 408 \text{ hrs} \right]$$

$$Q_{tr;rad;MAR}'' = 86,8 \text{ kWh}$$

xxvii. Requerimiento total de energía térmica en verano, en kWh $E_{U;V}$

$$E_{U;V}'' = \sum_{j=1}^5 [Q_{V;j}'']$$

$$E_{U;V}'' = 91,7 \text{ kWh} + 97,0 \text{ kWh} + 51,8 \text{ kWh} + 81,8 \text{ kWh} + 86,8 \text{ kWh}$$

$$E_{U;V}'' = 409,0 \text{ kWh}$$

xxviii. Requerimiento total de energía secundaria en verano, en kWh $E_{S;V}$

$$E_{S;V}'' = \frac{E_{U;V}''}{n_{c;v;j}}$$

→ Caso 1:

$$E_{S;V}'' = \frac{409,0 \text{ kWh}}{3,20} = 127,8 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{S;I}'' = \frac{409,0 \text{ kWh}}{2,00} = 204,5 \text{ kWh}$$

xxix. Requerimiento anual de energía primaria para refrigeración en verano, en kWh $E_{p;V}$

$$E_{p;V}'' = E_{S;V}'' * f_{P;i}$$

$f_P = 3,30$ correspondiente a sistema de calefacción por electricidad.

Entonces:

→ Caso 1:

$$E_{p;V}'' = 127,8 \text{ kWh} * 3,30 = 421,8 \text{ kWh}$$

→ Caso 2:

$$E_{p;V}'' = 204,5 \text{ kWh} * 3,30 = 674,9 \text{ kWh}$$

xxx. Requerimiento específico de energía primaria para refrigeración en verano, en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$ EPV'

$$EPV'' = \frac{E_{p;V}''}{A_u}$$

Donde:

- $A_u = 56 \text{ m}^2$: Superficie útil del inmueble, en m^2

Entonces:

→ Caso 1:

$$EPV'' = \frac{421,8 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 7,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$EPV'' = \frac{674,9 \text{ kWh}}{56 \text{ m}^2} = 12,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

Una vez calculados ambos requerimientos específicos de energía primaria para calefacción y refrigeración podemos calcular el Índice de Prestaciones energéticas IPE.

$$IPE'' = EPI'' + EPV''$$

→ Caso 1:

$$IPE'' = 17,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}} + 7,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

$$IPE''_{\text{Caso 1}} = 24,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

→ Caso 2:

$$IPE'' = 27,9 \frac{kWh}{m^2 * año} + 12,1 \frac{kWh}{m^2 * año}$$
$$IPE''_{caso 2} = 39,9 \frac{kWh}{m^2 * año}$$

6. Evaluación de Resultados

Los resultados de los índices de prestaciones energéticas en cada caso son los siguientes:

Aislante	Caso	IPE [$\frac{kWh}{K*año}$] (sin aislante)	IPE' [$\frac{kWh}{K*año}$] (con aislante)	Porcentaje de ahorro [%]	kWh ahorrados en un año
Espuma de Poliuretano	Caso 1 (Aire acondicionado clase A tipo Split)	96,9	21,4	78,0	75,5
	Caso 2 (Aire acondicionado clase G tipo Split compacto)	157,5	34,7	78,0	122,8
Lana de Vidrio	Caso 1 (Aire acondicionado clase A tipo Split)	96,9	24,6	74,7	72,3
	Caso 2 (Aire acondicionado clase G tipo Split compacto)	157,5	39,9	74,7	117,6

Tabla 7: Tabla de Resultados

6.1. Evaluación Económica

Para poder hacer la evaluación económica en función a los costos iniciales de inversión y el costo de la energía eléctrica se supone que el residente corresponde al grupo de altos ingresos para no considerar los subsidios y ver así el valor real de la energía. También, los últimos datos oficiales del Registro de Acceso a los Subsidios a la Energía (RASE) arrojan que los N1 son 5,3 millones; los N2 son 8 millones y los N3 son 2,7 millones. Es decir, son el segundo grupo más numeroso. Además, por el tamaño del departamento se considerará un usuario residencial del tipo R2 que tiene un uso promedio de 151 – 400 kWh por mes, representativo para una vivienda de 3 a 4 personas. Según el cuadro tarifario presentado por el ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad) para el mes de julio de 2024, los valores son los siguiente:

- EDENOR: 83,942 \$/kWh
- EDESUR: 83,961 \$/kWh²⁷
- PRECIO PROMEDIO: 83,952 \$/kWh

Entonces, tenemos que la sumatoria de T años de ahorro de energía eléctrica debido al aislante debe equiparar la inversión inicial en cada caso. Se necesita para el cálculo del período de retorno de la inversión o payback conocer la tasa de incremento anual del precio de la energía (r) ya que el procedimiento es el siguiente:

$$C = \sum_{n=0}^T A_0(1+r)^n \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde

- C: Costo inicial del aislante
- T: Cantidad total de años para el recupero de la inversión C
- n: Variable de años
- A₀: Ahorro anual inicial en energía en el año 0
- r: Tasa de incremento anual del precio de la energía

²⁷ Cargo Variable en Cuadro Tarifario del ENRE, julio 2024

Al ser una serie geométrica finita la ecuación 28 se puede usar la fórmula de la suma de una serie geométrica para resolverla quedando:

$$C = A_0 * \frac{(1+r)^{T+1} - 1}{r} \quad (\text{Ec.29})$$

Despejando la variable T :

$$\frac{C * r}{A_0} + 1 = (1 + r)^{T+1}$$

Aplicando el logaritmo:

$$T = \log_{1+r} \left(\frac{C * r}{A_0} + 1 \right) - 1 \quad (\text{Ec. 30})$$

Para cada caso, según el aislante y el acondicionamiento, se obtienen las siguientes variables de la Tabla 8. Para la evaluación de los costos y las tasas a considerar en el aumento del valor de la energía se usaron los valores en dólares. Para los costos iniciales se tomó la conversión al dólar oficial provisto por el Banco Central de la República Argentina (BCRA) para el 31 de julio de 2024 siendo de un valor de 932 pesos argentinos por dólar.

	Precio inversión (C)	Tipo de acondicionamiento	IPE [kWh] sin aislante	IPE' [kWh] con aislante	Δ kWh	\$ ahorrado en primer año en pesos	\$ ahorrado en primer año en dólares (A0)
Espuma de Poliuretano	\$ 2.967.800,00	CASO 1	96,9	21,4	75,5	6.338,34	6,80
		CASO 2	157,5	34,7	122,8	10.309,24	11,06
Lana Vidrio	\$ 393.237,00	CASO 1	96,9	24,6	72,3	6.069,69	6,51
		CASO2	157,5	39,9	117,6	9.872,70	10,59

Tabla 8: Variables para cálculo de período de reintegro

Hace falta entonces conocer la tasa de incremento anual de la energía. Como no se tienen datos concretos de este valor se hizo un análisis general donde, por un lado, se evalúa si esta tasa como la variación interanual promedio para el período de agosto de 2022 a julio de 2024. Se considera un intervalo de dos años porque en el último año hubo un aumento significativo del precio de la energía debido al cambio de gobierno, por lo tanto, para reducir este efecto inusual se prolongó el período hasta donde se brindaban datos oficiales. Por otro lado, se evaluará el período de retorno de la inversión haciendo un análisis cualitativo de las características del programa de Retrofit.

Entonces, para el primer caso, conociendo los valores del cargo variable para un usuario R2, de la electricidad en agosto de 2022:

- EDENOR: 4,501 \$/kWh
- EDESUR: 4,492 \$/kWh²⁸
- PRECIO PROMEDIO: 4,497 \$/kWh

Y los valores de julio de 2024 mencionados anteriormente, podemos obtener una variación del precio de la energía. Como se mencionó, se utilizará el valor en dólares para ver el aumento real de la energía sin que esté influenciada por la inflación del país.

Para el 31 de julio de 2024 el valor oficial del dólar de 932 pesos por dólar. Y para el 31 de agosto de 2022 fue de 138,73 pesos por dólar. Quedan entonces los valores

²⁸ Cargo Variable en Cuadro Tarifario del ENRE, agosto 2023

promedio del precio del cargo variable de la energía en 0,032 dólares/kWh para agosto de 2022 y 0,090 dólares/kWh para julio de 2024.

$$r = \left(\frac{\text{Valor Final}}{\text{Valor Inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (\text{Ec. 31})$$

$$r = \left(\frac{0,090}{0,032} \right)^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$r = 0,67$$

Siendo la ecuación 31 aquella para conocer la tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC o también CAGR, *Compound annual growth rate*, en inglés).

Por lo tanto, para el primer caso, aplicando los valores de las Tabla 8 a la ecuación 30 y una tasa r obtenida de la ecuación 31 tenemos:

	Tipo de acondicionamiento	Años para recuperar inversión (T)
Espuma de Poliuretano	CASO 1: Clase A Split	11,4
	CASO 2: Clase G Split Compacto	10,5
Lana Vidrio	CASO 1: Clase A Split	10,3
	CASO2: Clase G Split Compacto	9,3

Tabla 9: Resultados de Período de reintegro (T)

Por otro lado, según un reporte realizado por el UBS Sustainability and Impact Institute sobre la Revolución del Retrofit, sus ventajas, necesidades y problemáticas, los períodos de reintegro o payback de las medidas de Retrofit suelen ser un problema a la hora de evaluar estas medidas desde la perspectiva económica. Plantea que hay varios factores que frenan tanto la demanda de modernizaciones por parte de los propietarios de edificios como la oferta y la calidad de las propias modernizaciones. Entre estas está la incertidumbre sobre el retorno de la inversión ya que hay una falta de claridad sobre las recompensas para los propietarios de edificios y las partes interesadas. Si bien existe cada vez más evidencia sobre la existencia de una prima para la construcción sustentable en algunas geografías, todavía existe una incertidumbre significativa sobre su tamaño y si el dinero gastado en modernizaciones profundas tendrá un rendimiento suficiente respecto a la inversión (en apreciación de precios, aumento de alquileres o términos de penalización evitada) para justificar el costo de las obras o el tiempo que el edificio puede tener que estar desocupado y, por lo tanto, no generar ingresos en caso de ser de uso comercial o alquiler. Además, los períodos de recuperación (el tiempo que tardan las medidas de modernización en amortizar su costo mediante la reducción de las facturas de energía) no son estáticos y varían según el costo de los materiales, los electrodomésticos, la mano de obra, la energía y el carbono. Pero en términos generales, mientras que las medidas de modernización superficial pueden tener períodos de recuperación cortos, de apenas unos pocos años, las medidas de modernización profunda, como el reemplazo de ventanas, generalmente tienen períodos de recuperación mucho más largos, de 20 a 30 años, lo que reduce significativamente su atractivo para los propietarios u ocupantes e inversores, los últimos de los cuales suelen asumir períodos de tenencia de alrededor de 10 años (aunque en la práctica esto suele ser más largo).

Igualmente, en función a lo planteado en este trabajo, las acciones de adaptación se podrían considerar superficiales ya que no son espacios muy grandes y la obra no requiere de grandes períodos de tiempo para llevarla a cabo. Entonces, según el UBS, lo que normalmente puede implicar la modernización para un departamento residencial y con una adaptación superficial, que no alarga la vida de uso del inmueble; incluye medidas de acondicionamiento térmico pasivos como es la instalación de aislantes. Para estos casos propone un período de reintegro de 2 a 3 años. Aclara en función a estos valores que el período de recuperación económica depende en gran medida de los costos de energía y modernización, ninguno de los cuales es estático, por lo que estas cifras deben considerarse sólo indicativas. Pero si tomamos estos valores indicativos, con un período de reintegro para el caso a evaluar en el presente trabajo de 3 años considerando el “peor de los casos”, la tasa de aumento de la energía sería, despejando r de la ecuación 29:

	Tipo de acondicionamiento	Tasa de incremento anual del precio de la energía (r)
Espuma de Poliuretano	CASO 1: Clase A Split	8,00
	CASO 2: Clase G Split Compacto	6,50
Lana Vidrio	CASO 1: Clase A Split	6,50
	CASO2: Clase G Split Compacto	5,10

Tabla 10: Resultados de la Tasa de incremento anual del precio de la energía (r)

6.2. Evaluación de Emisiones

Para evaluar las emisiones equivalentes de CO₂ se plantea considerar solo el porcentaje que representan las viviendas del tipo de departamento ya que las condiciones estructurales varían significativamente con las demás estructuras de viviendas del censo que serían casas, casillas, ranchos, pieza ocupada en inquilinato u hotel familiar o pensión, local no construido para habitación ocupado y vivienda móvil. Sí se consideran representativos los valores más allá de las dimensiones de los diversos departamentos por lo mencionado anteriormente en la elección de la unidad funcional.

Entonces, si se sabe que en la Ciudad de Buenos Aires el 73,7% de las viviendas son departamentos, es decir, 1.025.296 viviendas²⁹, para cada caso y según el aislante, el ahorro total aproximado de kilowatts hora de energía eléctrica, con las suposiciones mencionadas a lo largo del trabajo sería:

$$\text{Ahorro total en deptos} = \text{Ahorro por depto} \times N^{\circ} \text{deptos} \quad (\text{Ec. 32})$$

En cada situación planteada, aplicando la ecuación 32 tendríamos:

	Tipo de acondicionamiento	Ahorro por depto. [kWh/año]	Ahorro total [kWh/año]
Espuma de Poliuretano	CASO 1: Clase A Split	75,50	77.409.848,00
	CASO 2: Clase G Split Compacto	122,80	125.906.348,80
Lana Vidrio	CASO 1: Clase A Split	72,30	74.128.900,80
	CASO 2: Clase G Split Compacto	117,60	120.574.809,60

Tabla 11: Ahorro Total de Energía

²⁹ Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2022

En el año 2021, las emisiones de gases de efecto invernadero de la Ciudad de Buenos Aires alcanzaron un total de 11.091.190 tCO₂ eq/año, siendo el sector de energía el responsable del 55% (6.100.155 tCO₂eq/año) de las mismas y 28% (3.105.533 tCO₂eq/año) correspondiente al sector residencial como fue mencionado en la problemática planteada.

Para conocer las emisiones equivalentes ahorradas se toma el factor de emisión para energía de red eléctrica en Argentina que es de 0,2924837 tCO₂/MWh³⁰ o bien, 0,0002924837 tCO₂/kWh.

$$\text{Emisiones equivalente [tCO}_2\text{eq]} = FE \left[\frac{\text{tCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} \right] * \text{Ahorro total de energía [kWh]} \quad (\text{Ec. 33})$$

Aplicando la ecuación 33 a cada situación queda:

	Tipo de acondicionamiento	tCO ₂ equivalente
Espuma de Poliuretano	Clase A Split	22.641,12
	Clase G Split Compacto	36.825,55
Lana Vidrio	Clase A Split	21.681,50
	Clase G Split Compacto	35.266,17

Tabla 12: Emisiones equivalentes ahorradas

Conociendo los valores de las emisiones equivalentes totales de CABA, las correspondientes al sector energético y al sector residencial:

- tCO₂ eq CABA: 11.091.190
- tCO₂ eq ENERGÍA: 6.100.155
- tCO₂ eq RESIDENCIAL: 3.105.533

Se puede obtener el porcentaje que representa de cada total el uso de aislantes en aquellas viviendas residenciales del tipo departamento:

	Tipo de acondicionamiento	% sobre total de emisiones	% sobre emisiones de energía	% sobre emisiones residenciales
Espuma de Poliuretano	Clase A Split	0,20	0,37	0,73
	Clase G Split Compacto	0,33	0,60	1,19
Lana Vidrio	Clase A Split	0,20	0,36	0,70
	Clase G Split Compacto	0,32	0,58	1,14

Tabla 13: Porcentajes de CO₂ equivalente ahorrados

6.3. Evaluación Social

En cuanto a los beneficios sociales, en particular aquellos directos de la implementación de acciones de Retrofit se pueden reconocer los asociados a la estabilidad de la temperatura dentro del hogar. Dado que al agregar aislamiento se reduce la dependencia de los sistemas activos de acondicionamiento se genera mayor regularidad en las temperaturas internas en las cuales el usuario común está expuesto y desarrolla su vida diaria. Así mismo, para este verano se esperan cortes programados de electricidad debido al estado actual de la red de distribución eléctrica y la demanda que se tiene prevista según lo que mencionó el Jefe de Gabinete, Guillermo Francos. El

³⁰ Elaborado por APRA en base a datos de CAMMESA, 2023

mismo indicó: “Se supone que si viene un verano de mucha temperatura puede haber una demanda muy alta de electricidad y lamentablemente no ha habido inversiones en estos últimos tiempos, con lo cual va a faltar generación y va a tener que programarse algún corte, sobre todo hacer algunos acuerdos con los sectores productivos, sectores industriales”.³¹ Por lo tanto, al reducir la dependencia de los sistemas de aire acondicionado se genera un confort mayor para el residente. Llevándolo a casos extremos, en épocas de mucho calor el hombre puede sufrir de hipertermia que es la incapacidad del cuerpo para regular su propia temperatura y puede ser provocada por calor o frío extremos. Las temperaturas radicales ya matan a 5 millones de seres humanos al año, lo que representa el 9,4% de todas las muertes en el mundo. Durante las últimas tres décadas, el 37% de las muertes relacionadas con el calor fueron atribuibles a la actividad humana (Dickinson, 2022). Independizando al usuario y su confort térmico de la red eléctrica, o por lo menos reduciendo esta dependencia, genera una reducción lógica en las posibilidades de terminar expuestos a temperaturas extremas.

³¹ Artículo. (22 de septiembre de 2024). El Gobierno anticipó que habrá cortes de luz programados durante el verano. *Infobae*. <https://www.infobae.com/politica/2024/09/22/el-gobierno-anticipo-que-habra-cortes-de-luz-programados-durante-el-verano/>

7. Conclusiones

Partiendo de los objetivos propuestos, el objetivo principal era evaluar la reducción de energía eléctrica mediante la implementación de medidas de Retrofit o Retroadaptación para aislamiento en la construcción de edificios en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, con el fin de mitigar el impacto ambiental asociado. Los datos obtenidos demuestran una reducción significativa en el consumo de energía eléctrica, especialmente en la porción del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) destinada al acondicionamiento térmico. Para ambos aislantes, esta reducción superó el 70%. La espuma de poliuretano, siendo la más eficiente, logró un ahorro del 78,0%, mientras que la lana de vidrio, la opción más económica, alcanzó un 74,79%.

Aunque la espuma de poliuretano es aproximadamente un 5% más eficiente en cuanto a reducción que la lana de vidrio, su costo es hasta 7,5 veces mayor, lo que no justifica su uso cuando se considera la relación costo-beneficio. Es importante destacar que, dentro de los aislantes propuestos por el programa de Retrofit, la lana de vidrio no es la opción menos eficiente, a pesar de ser la más económica. La lana de vidrio tiene una conductividad térmica de 0,037 W/Km, mientras que la espuma de poliuretano tiene una conductividad de 0,027 W/Km, lo que representa una diferencia del 37% a favor de la espuma de poliuretano.

Si bien sería posible evaluar otros aislantes utilizando la misma metodología, es poco probable que ofrezcan un rendimiento significativamente superior o sean más rentables. Sin embargo, podría ser interesante considerar opciones intermedias, como el Poliestireno Expandido, que tiene una conductividad térmica de 0,032 W/K*m y un precio más accesible en comparación con otros aislantes. Este material es ampliamente utilizado en la construcción, lo que podría ofrecer ventajas en términos de conocimiento y experiencia en su instalación, una variable que no fue considerada en este estudio.

Respecto a los objetivos específicos, se evaluó la factibilidad económica de la implementación de los aislantes. Considerando los aumentos en los costos de energía observados en los últimos años y los ahorros generados en el consumo de energía eléctrica, es factible recuperar la inversión inicial a mediano plazo, una década aproximadamente. Esta recuperación es aún más factible considerando que se trata de departamentos residenciales, donde la inversión no requiere grandes obras y los periodos de retorno suelen ser razonables. También es destacable que es posible la recuperación a mediano plazo si se considera que el valor de la energía seguirá aumentando, más allá de la inflación del país, es decir, que continúa su tendencia creciente de valor neto. También, por los aumentos de este último período y la reducción de los subsidios por parte del nuevo gobierno, hace que sea más rentable la inversión en aislación térmica que en otros momentos.

Si se quisiera tener el reintegro en los años que plantea el UBS para una remodelación más superficial como es esta, las tasas de incremento del valor deberían superar un 500% de aumento en todos los casos. Por lo tanto, esta característica que se evalúa no es adecuada para las condiciones, por lo menos, en la Ciudad de Buenos Aires.

Por otro lado, se evaluó el potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la implementación de aislantes como medidas de Retrofit en edificaciones existentes, extrapolando los resultados a partir de un edificio estándar de uso residencial en la Ciudad de Buenos Aires. En el caso de departamentos, la reducción de emisiones totales de CO₂ equivalente no alcanzó el 1% en ninguno de los escenarios evaluados. Tampoco se observó una reducción significativa en las emisiones sobre las emisiones asociadas a la energía porque como la igual que antes no llegaron a representar la reducción en un 1%. Además, sobre las emisiones correspondientes al uso residencial tampoco se logró una reducción significativa, rondando el 1% en promedio. Con estos resultados se puede decir que no se logró la reducción del 5% que

se propuso en la hipótesis sobre las emisiones totales. Sin embargo, es importante destacar que este estudio solo consideró el consumo de energía relacionado con el acondicionamiento térmico como medida de reacondicionamiento de los departamentos y que fue extrapolado hacia el 73,7% de las viviendas de la Ciudad de Buenos Aires que corresponden a los departamentos. Los resultados podrían ser diferentes si se considerara la reducción del consumo de energía desde el inicio en las nuevas construcciones.

Igualmente, se logró el período de retorno propuesto en la hipótesis de alrededor de los 10 años. En el caso del aislante más barato el período fue menor, de 9,3 años; mientras que el más caro un poco superior, de 11,4 años.

En cuanto a la selección de un aire acondicionado de clase A, es decir, de mejor eficiencia energética, tuvo un impacto considerable en las emisiones generadas, tanto en casos con aislante como sin él. Por lo tanto, otra alternativa viable es reemplazar aparatos de menor calidad por otros con mejor eficiencia energética. Por ejemplo, en los casos sin aislante, el IPE asociado al uso de un aire acondicionado tipo Split A es de 96,9 kWh, mientras que para un aire acondicionado tipo G compacto es de 157,5 kWh, lo que representa un 60% más de consumo en el segundo caso debido a la menor calidad del equipo.

También cabe destacar, respecto al marco regulatorio mencionado, los valores que se planteaban para la transmitancia térmica máxima admisible, $K_{MAX ADM}$, en el caso de la construcción sin ningún tipo de aislamiento no se cumple con la normativa ya que la transmitancia térmica en el caso inicial es de $1,74 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$. Mientras que al aplicar el aislante, en cualquiera de los dos casos se cumple el máximo admisible para la situación de base, ambos son menores a $1 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$. Y, para ambos aislantes, también se cumple el máximo admisible para la primera Etapa planteada donde debe ser menor a $0,74 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$.

En conclusión, aunque las reducciones a nivel de ciudad no son significativas, las disminuciones en el consumo de energía y las emisiones de GEI para departamentos individuales son relevantes, tanto en términos de ahorro energético y económico a largo plazo, como dependiendo del aislante seleccionado. Estas medidas son factibles para departamentos ya construidos. No obstante, como medida de adaptación a nivel de ciudad, no se generarían grandes cambios ni justificaciones económicas significativas si se implementaran con el objetivo de reducir emisiones. Se recomienda evaluar medidas de adaptación desde el inicio en nuevas construcciones para lograr una mayor reducción en el consumo energético de la ciudad.

Por lo tanto, la hipótesis planteada, que sugiere que la implementación efectiva de medidas de Retrofit en la adaptación de edificios en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, enfocadas en mejorar el aislamiento térmico y la eficiencia energética, contribuiría a la reducción de las emisiones de GEI y resultaría en beneficios ambientales, sociales y económicos para la ciudad, es correcta, pero no se logran los valores propuestos de reducciones ya que los resultados obtenidos no son tan significativos a nivel global como se esperaba. Traerá más beneficios a nivel individual, económicos y sociales de bienestar en los hogares.

Anexo 1: Tablas de factores y constantes

Tabla 14: Factor de conversión de energía neta a energía primaria³²

Vector Energético	$f_{P,i}$
Gas Distribuido por Redes	1,25
Gas Licuado de Petróleo	1,10
Electricidad	3,30
Carbón de Leña	1,60

Tabla 15: Rendimientos medios de distintos equipos de calefacción³³

Tipo de Calefactor	n_c/COP
Calefacción central con radiadores en pared (gas)	0,65
Calefacción central con radiadores en pared, circulación forzada (gas)	0,70
Calefacción central con radiadores en pared (eléctrico)	1,00
Calefacción central con losa radiante (gas)	SD
Calefacción central con losa radiante (eléctrico)	1,00
Estufa a gas convencional	SD
Estufa a gas de tiro balanceado Etiqueta A	0,71
Estufa a gas de tiro balanceado Etiqueta B	0,69
Estufa a gas de tiro balanceado Etiqueta C	0,65
Estufa a gas de tiro balanceado Etiqueta D	0,61
Estufa a gas de tiro balanceado Etiqueta E	0,59
Radiador eléctrico	1,00
Aire acondicionado clase A tipo Split	3,60
Aire acondicionado clase B tipo Split	3,50
Aire acondicionado clase C tipo Split	3,30
Aire acondicionado clase D tipo Split	3,00
Aire acondicionado clase E tipo Split	2,70
Aire acondicionado clase F tipo Split	2,50
Aire acondicionado clase G tipo Split	2,40
Aire acondicionado clase A tipo Split compacto	3,40
Aire acondicionado clase B tipo Split compacto	3,30
Aire acondicionado clase C tipo Split compacto	3,10
Aire acondicionado clase D tipo Split compacto	2,80
Aire acondicionado clase E tipo Split compacto	2,50
Aire acondicionado clase F tipo Split compacto	2,30
Aire acondicionado clase G tipo Split compacto	2,20

³² Elaboración en base a BEN, 2014

³³ Norma IRAM 62.406:2007, NAG-315 2015 y NAG-329 2003.

Tabla 16: Factor de corrección del intercambio térmico con ambientes no climatizados³⁴

Ambiente Adyacente	b_{tr}
Ambiente con una pared externa	0,40
Ambiente sin cerramientos externos con al menos dos paredes externas	0,50
Ambiente con cerramientos externos con al menos dos paredes externas	0,60
Ambiente con tres paredes externas	0,80
Subsuelo o sótano sin ventanas ni cerramientos externos	0,50
Subsuelo o sótano con ventanas o cerramientos externos	0,80
Ático con alta tasa de renovación	1,00
Ático con techo no aislado	0,90
Ático con techo aislado	0,70
Áreas internas de circulación sin paredes externas y sin ventilación adicional	0
Áreas internas de circulación libremente ventiladas (0,05 m ² /m ³)	1,00

Tabla 17: Resistencias superficiales en m²K/W³⁵

Flujo	R_{si}	R_{se}
Flujo Horizontal	0,13	0,04
Flujo Ascendente	0,10	0,04
Flujo Descendente	0,17	0,04

Tabla 18: Factores de corrección por puentes térmicos³⁶

Elemento Constructivo	Incremento
Pared con aislante externos (sin aleros ni balcones)	0,05
Pared con aislante externo (con aleros o balcones)	0,15
Pared homogénea de ladrillos macizos o piedra	0,05
Pared de ladrillos huecos	0,10
Elemento aislado con ruptura de puente térmico	0,10
Elemento aislado sin ruptura de puente térmico	0,20
Paneles de hormigón prefabricados	0,30

³⁴ UNI TS 11300-1:2008

³⁵ Norma IRAM 11601:2002

³⁶ UNI TS 11300-1:2008

Tabla 19: Rendimientos medios de distintos tipos de equipos de refrigeración³⁷

Tipo de Equipo de Refrigeración	η_r/EER
Aire acondicionado clase A tipo Split	3,20
Aire acondicionado clase B tipo Split	3,10
Aire acondicionado clase C tipo Split	2,90
Aire acondicionado clase D tipo Split	2,70
Aire acondicionado clase E tipo Split	2,50
Aire acondicionado clase F tipo Split	2,30
Aire acondicionado clase G tipo Split	2,20
Aire acondicionado clase A tipo Split compacto	3,00
Aire acondicionado clase B tipo Split compacto	2,90
Aire acondicionado clase C tipo Split compacto	2,70
Aire acondicionado clase D tipo Split compacto	2,50
Aire acondicionado clase E tipo Split compacto	2,30
Aire acondicionado clase F tipo Split compacto	2,10
Aire acondicionado clase G tipo Split compacto	2,00

³⁷ Norma IRAM 62.406:2007

Tabla 20: Parámetros de Materiales Aislantes³⁸

Material	Densidad δ (kg/m ³)	Conductividad Térmica λ (W/K*m)	Fuente	Especificación del material
Poliestireno expandido (EPS)	30	0,032	IRAM 11601	EPS
Lana mineral vidrio	19 – 30	0,037	IRAM 11601	Lana de Vidrio
Espuma – paneles fenólicos	30	0,038	Arquitecto E. M. González	Valor experimental de la Espuma Fenólica
Fibra de madera	145	0,041	THERMOCHIP HOUSING (empresa)	AISLANTE FIBRA DE MADERA PANEL THERMOCHIP WF
Poliuretano – espuma de poliuretano	30 - 60	0,027	IRAM 11601	Poliuretano (espumas rígidas) - Placas aislantes sin protección
Espuma de polietileno	30	0,047	https://www.matweb.com/index.aspx	Zotefoams Plastazote® HD30 High Density Polyethylene Foam

Material	Link
Poliestireno expandido (EPS)	https://www.thermolam.com.ar/site/wp-content/uploads/2019/06/IRAM-11601.pdf
Lana mineral vidrio	https://www.thermolam.com.ar/site/wp-content/uploads/2019/06/IRAM-11601.pdf
Espuma – paneles fenólicos	https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/
Fibra de madera	https://brico.com/wp-content/uploads/2019/06/ficha-tecnica-fibra-de-madera.pdf
Poliuretano – espuma de poliuretano	https://www.thermolam.com.ar/site/wp-content/uploads/2019/06/IRAM-11601.pdf
Espuma de polietileno	https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ffe97f112ace490e8d3a026d8f55bf77

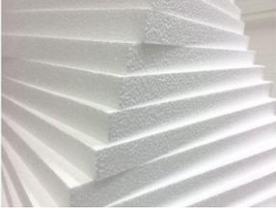
³⁸ Elaboración propia, 2024

Tabla 21: Promedio de variables asociadas al IPE por tipología y promedio total (150 viviendas)³⁹

Variable	Dpto PH	Dpto PB	Piso Inter.	Ultimo Piso	2p Ados.	1p Ados.	1p Aislada	2p Parea.	Prom. Total
Cantidad	13	3	93	21	8	7	2	3	150
AU [m²]	72.6	72.7	56.0	61.9	135.5	101.7	152.7	139.3	68.6
IPE [kWh / m²año]	307.9	283.3	193.9	308.4	227.0	243.8	208.5	285.3	227.9
EPI [kWh / m²año]	230.8	215.3	131.7	233.3	165.9	168.3	159.0	220.7	162.0
ES;l/AU [kWh / m²año]	147.3	143.0	78.7	137.4	98.8	100.7	71.0	171.3	98.4
EU;l/AU [kWh / m²año]	118.3	103.0	69.7	111.0	68.1	87.7	80.0	103.3	81.8
EPV [kWh / m²año]	40.8	10.0	17.6	37.4	23.6	31.3	20.5	25.3	23.4
ES;V/AU [kWh / m²año]	12.3	3.0	5.3	11.3	7.1	9.5	6.0	7.7	7.1
EU;V/AU [kWh / m²año]	33.0	8.7	14.7	31.7	17.9	25.3	16.5	21.7	19.4
EPACS [kWh / m²año]	28.2	46.3	34.3	31.6	22.9	32.8	23.0	26.0	32.6
ES;ACS/AU [kWh / m²año]	22.5	24.0	21.7	21.2	18.1	17.0	18.5	20.7	21.3
EU;ACS/AU [kWh / m²año]	12.2	12.7	13.0	12.4	9.4	11.7	8.0	10.0	12.4
EPIL [kWh / m²año]	9.0	11.0	10.3	8.5	14.3	11.3	6.5	17.3	10.4
ES;IL/AU [kWh / m²año]	2.8	3.3	3.1	2.6	4.3	3.5	1.5	5.3	3.1
EPREN [kWh / m²año]	1.2	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	4.3	0.5
Y_{inv}	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
η_{gr}	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Y_{ver}	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
η_{disp}	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
AU clim [m²]	70.7	72.7	55.1	59.8	104.4	96.8	94.5	132.9	64.6
V clim [m³]	202.7	187.3	146.1	157.2	288.1	287.2	304.5	381.6	176.2
S/V [m²/m³]	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5
b_{rr}	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.4
Km, paredes [W / m²K]	2.2	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.0	1.6	2.0
Km, cubiertas [W / m²K]	2.4	1.1	-----	2.1	2.5	2.6	1.8	2.2	2.2
Km, pisos [W / m²K]	0.6	0.4	-----	3.0	0.5	0.9	1.6	0.5	0.9
Km, aberturas [W / m²K]	3.9	3.2	4.2	3.6	4.2	4.1	3.6	4.0	4.1
H_{inv} [W / K]	305.7	252.0	224.5	314.9	365.5	370.5	622.5	287.3	268.6
τ_{inv} [h]	13.3	16.6	20.5	14.5	17.9	16.9	15.7	16.4	18.6
H_{ver} [W / K]	466.4	330.7	427.6	555.3	587.8	626.8	842.0	445.0	475.4
τ_{ver} [h]	8.9	11.7	11.4	8.4	10.3	10.9	11.2	10.6	10.7
Rend Eq.Calef	0.80	0.72	0.89	0.81	0.69	0.87	1.13	0.60	0.83
Rend Eq.Ref	2.68	2.89	2.78	2.81	2.51	2.67	2.75	2.83	2.75
Rend Eq.ACS	0.54	0.53	0.60	0.59	0.52	0.69	0.43	0.48	0.59

³⁹ Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2021

Tabla 22: Presupuesto de Materiales Aislantes Propuestos⁴⁰

	AISLAMIENTO DE MURO:110m2	Espesor del aislante: 1,5 pulgadas	
Material	Descripcion	Importe FINAL	Notas
 <p>Poliestireno expandido (EPS)</p>	Poliestireno expandido (EPS)	\$ 990.000,00	Plancha Eps Telgopor Alta Densidad 20 Kg/m3 1x1 Mts 40 Mm 110 und
	Lana de vidrio	\$ 393.237,00	5 rollos de 1,2*18metros lineas, espesor 50mm
	Espuma fenólica	S/D	S/D
	Fibra de madera		asilacion acustica/1200 x 600 mm/16 placas
	Poliuretano (espumas rígidas)	\$ 2.967.800,00	4 tacho 45kg c/u 710.000,00 PESOS
	Espuma de polietileno de alta densidad	\$ 1.926.000,00	18 rollos de 1mX10mX2cm c/u

⁴⁰ Estudio de Arquitectura Grupo Torreón, 2024

Tabla 23: Conductividades térmicas de materiales⁴¹

Material			Densidad aparente (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m·K)
Mortero de cemento y arena	1:3	Humedad 0 %	1900	0,89
		Humedad 6 %	2000	1,13
		Humedad 10 %	2100	1,30
	1:4	Humedad 0 %	1950	0,92
		Humedad 5 %	2000	1,10
		Humedad 12 %	600	0,19
Mortero con perlita		1500	0,65	
Mortero de yeso y arena		1400	0,70	
Mortero de cal y yeso				
Enlucido de yeso			800	0,40
			1000	0,49
			1200	0,64

⁴¹ Extracto de tabla A.1 de la norma IRAM 11601

Tabla 24: Resistencia térmica de mampostería de ladrillos y bloques cerámicos⁴²

Esquema	Medidas (cm)			Masa (*)	R _t
	e	h	l	kg/m ²	m ² ·K/W
	8,0	15,0	25,0	69	0,21
	8,0	18,0	25,0	69	0,23
	18,0	8,0	25,0	168	0,35
	20,0	18,0	40,0	142	0,33
	12,0	18,0	25,0/33,0	96	0,36
	15,0	18,0	33,0	106	0,40
	18,0	18,0	25,0/33,0	125	0,41
	18,0	18,0	40,0	155	0,31
	20,0	18,0	40,0	162	0,32
	13,0	18,0	25,0	104	0,37
	18,0	8,0	25,0	170	0,47
	18,0	8,0	25,0	125	0,34
	20,0	12,0	25,0	150	0,48
	20,0	18,0	25,0/33,0	144	0,50
	18,0	18,0	25,0/33,0	136	0,47

(*) Corresponde a la masa por unidad de área de la mampostería que integran.

⁴² Extracto de la tabla A.2 de la norma IRAM 11601

Anexo 2: Definiciones

Vivienda: espacio donde viven personas, éste se halla separado por paredes u otros elementos cubiertos por un techo, y sus ocupantes pueden entrar o salir sin pasar por el interior de otras viviendas. Las viviendas pueden haber sido construidas o adaptadas para ser habitadas o bien se utilicen con ese fin la noche de referencia del Censo. Según el régimen de convivencia de las personas que las ocupan, las viviendas se clasifican en:

Vivienda particular: vivienda destinada a alojar personas que viven bajo un régimen de tipo familiar. Constituyen tipos de viviendas particulares: casas, ranchos, casillas, departamentos, piezas en inquilinato, piezas en hotel familiar o pensión, viviendas móviles, y locales no construidos para habitación. Las piezas en inquilinato, en hotel familiar o pensión, las viviendas móviles y los locales no construidos para habitación se consideran viviendas particulares, sólo si hubo personas que pasaron la noche de referencia del Censo.

Vivienda colectiva: vivienda destinada a alojar personas que viven bajo un régimen institucional (no familiar), regulada por normas de convivencia de carácter administrativo, militar, religioso, de salud, de reclusión, de trabajo, de educación, etc. Constituyen tipos de viviendas colectivas: cuarteles, hogares de religiosos (incluye conventos y seminarios), hospitales, hogares de ancianos (incluye geriátrico), prisiones (incluye comisarías), campamentos/obradores, residencias de estudiantes, colegios o internados, hogares de menores, hoteles turísticos.

Tipo de vivienda particular:

Casa: vivienda con salida directa al exterior (sus habitantes no pasan por pasillos o corredores de uso común) construida originalmente para que habiten personas.

Rancho: vivienda con salida directa al exterior (sus habitantes no pasan por pasillos o corredores de uso común) construida originalmente para que habiten personas. Generalmente tiene paredes de adobe, piso de tierra y techo de chapa o paja.

Casilla: vivienda con salida directa al exterior, construida originalmente para que habiten personas (sus habitantes no pasan por pasillos o corredores de uso común). Habitualmente está construida con materiales de baja calidad o de desecho.

Departamento: vivienda que forma parte de un edificio o estructura con una entrada común que contiene por lo menos dos viviendas (o una vivienda y uno o más locales) a la que se accede a través de pasillos, escaleras, zaguanes o ascensores de uso común.

Pieza en inquilinato: ambiente ubicado en un inquilinato o conventillo, es una edificación para contener varias piezas que tienen salida a uno o más espacios de uso común con la finalidad de alojar en forma permanente personas en calidad de inquilinos. Cada pieza de inquilinato en la que hubo personas que pasaron la noche de referencia del Censo, es considerada una vivienda.

Pieza en hotel familiar o pensión: ambiente ubicado en un hotel familiar o pensión; es una edificación para contener varias piezas que tienen salida a uno o más espacios de uso común con la finalidad de alojar en forma permanente personas en calidad de huéspedes o pensionistas. Se caracteriza por a) pago diario, semanal, quincenal y/o mensual del importe del alojamiento y, b) encuadramiento bajo la legislación establecida para este tipo de comercio que se exhibe en lugares visibles del mismo o en los libros de registro del establecimiento. Cada pieza en hotel o pensión familiar en la que hubo personas que pasaron la noche de referencia del Censo, es considerada una vivienda.

Local no construido para habitación: vivienda que no ha sido construida o adaptada para que habiten personas, pero en la que hubo personas que pasaron la noche de referencia del Censo.

Vivienda móvil: estructura que es utilizada como vivienda, construida para ser transportada (tienda de campaña, taco o carpa) o que constituye una unidad móvil (barco, bote, vagón de ferrocarril, casa rodante, camión, trineo, etcétera). Será considerada vivienda particular sólo si hubo personas que pasaron la noche de referencia del Censo.

Personas viviendo en la calle: espacio en la vía pública (calle, estación del ferrocarril, estación del subterráneo, portal de edificio, plaza, etc.) utilizado por las personas como lugar de habitación y/o pernocte en el momento del censo.⁴³

⁴³ Glosario del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2010

Anexo 3: Plano Modelo de Unidad Funcional⁴⁴

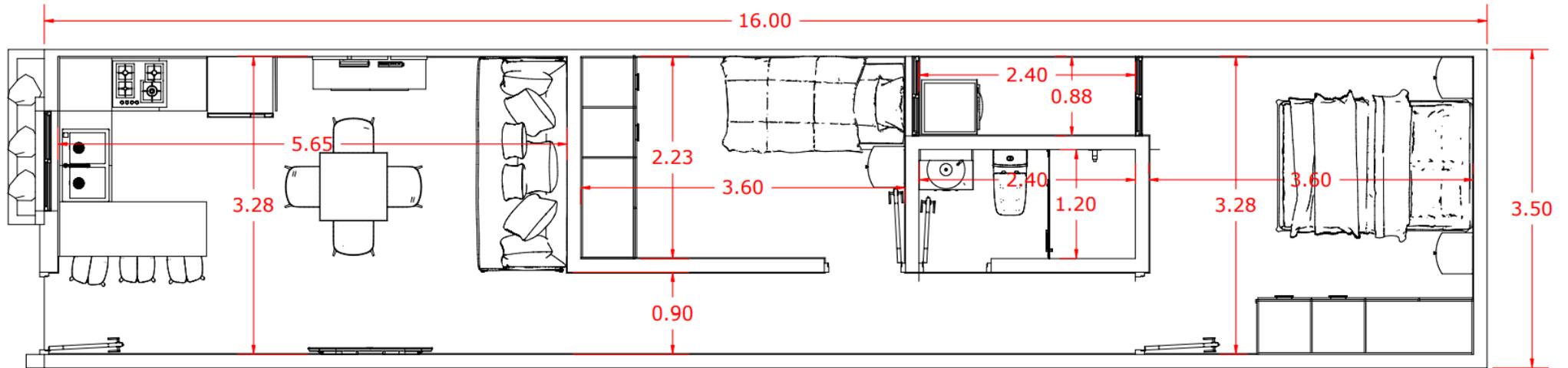


Figura 13: Plano Modelo de Unidad Funcional

Aclaración: unidades en metros [m]

⁴⁴ Realizado por el Estudio de Arquitectura Gustavo Guevara (abierto al público)

Anexo 4: Presupuesto para Capa de Durlock

Según el procedimiento brindado por la plataforma oficial de Durlock (https://duitonline.com/calculador.php?gad_source=1&qclid=CjwKCAjwxY-3BhAuEiwAu7Y6s8NwzhveuVCIGcSL-npYJcYLGEn65a1zERr6P811YBUNBBZxhyzmKhoCU9sQAvD_BwE), para conocer el precio por unida de metro cuadrado se debe definir lo siguiente:

¿Qué necesitas cotizar?

Seleccioná la categoría para construir con Durlock.

Revestimiento /



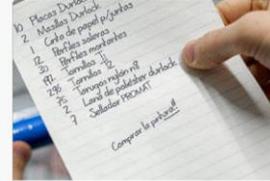
Pared Interior
Creá, dividí ambientes con nuestra variedad de soluciones.



Revestimiento
Renová tus paredes con soluciones decorativas, acústicas, o humedad.



Cielorraso
Creá un nuevo cielorraso para tus ambientes interiores y exteriores.



Listado de materiales
Si ya tenés un listado de materiales hace click acá.

Ambiente

Seleccioná el tipo de ambiente para tu necesidad

Revestimiento /



Revestimiento Interior
Dale vida a tus antiguas paredes o solucioná problemas de humedad.



Revestimiento Exterior
Renová la fachada o medianera de tu casa con terminación lisa, simil madera o cemento modulado.

Tipo de revestimiento

Seleccioná el tipo de revestimiento para tu necesidad

Revestimiento / Revestimiento Interior / Paso 1/4



Placa de yeso
Revestí tus paredes en placas de yeso con terminación lisa y perfecta.



Decorativo
Revestí tus paredes en placas de cemento con diseños o texturas modernas.



Antihumedad
Encontrá la solución Durlock para la humedad de tus paredes.

Impacto del retrofit en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la resiliencia urbana en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

¿A qué segmento pertenece tu obra?

Seleccioná el segmento y ambiente para tu obra o remodelación

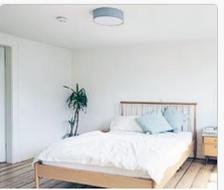
Revestimiento / Revestimiento Interior / Placa de yeso /

 Vivienda	 Oficina y Comercio	 Entretenimiento	 Salud	 Educación
--	--	---	--	---

¿A qué segmento pertenece tu obra?

Seleccioná el segmento y ambiente para tu obra o remodelación

Revestimiento / Revestimiento Interior / Placa de yeso /

 Baño	 Lavadero	 Cocina	 Habitación	 Living comedor
 Playroom	 Garage cubierto			

Nota: se toma todo como living comedor para la simplificación en el procedimiento. Es aplicable el tipo de revestimiento a diferentes usos de los ambientes.

¿Te gustaría que tu proyecto cuente con alguna de estas características?

Elegí las prestaciones deseadas para una mejor solución Durlock

Revestimiento / Revestimiento Interior / Placa de yeso / Vivienda / Living comedor /

 Aislación acústica Para aislar o reducir el ruido entre ambientes o del exterior. + AGREGAR	 Absorción acústica Para mejorar el confort acústico en el ambiente. + AGREGAR	 Resistencia al impacto Logra el máximo desempeño en tus espacios mas exigentes. + AGREGAR	 Aislación térmica Mejora la capacidad termica del ambiente, brinda confort y ahorro energético. + AGREGAR
--	--	---	--

No, gracias

Metros cuadrados

Completá el largo y alto de las superficies deseadas o los metros cuadrados según te sea más

Revestimiento / Revestimiento Interior / Placa de yeso / Vivienda / Living comedor /

Superficie	largo	alto	=	M ²
Superficie 1	16	2,5	=	40,00
Superficie 2	3,5	2,5	=	8,75
Superficie 3	3,5	2,5	=	8,75
Superficie 4	10	2,5	=	25,00
Superficie 5	2,4	2,5	=	6,00
Superficie 6	3,6	2,5	=	9,00
Superficie 7	0,88	2,5	=	2,20
Superficie 8	0,88	2,5	=	2,20

+ [Agregar otra superficie](#)

Metros totales: **101,90m²**

La opción recomendada es:

Revestimiento Estándar (perfil Omega)

Solución con prestaciones Estándar para revestir paredes niveladas.



Desde

\$ 12.650/m²

Precio estimado solo materiales

3.5 ★

Resistencia al impacto

3 ★

Resistencia al fuego

(43 db) en LH12cm.

Aislación acústica

Lisa

Terminación

Más información

Seleccionar

Referencias

- IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Subsecretaría de Transición y Planeamiento Energético. (2023). *balance_2023_v0_h* [Archivo Excel]. Balances Energéticos. Ministerio de Economía de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/econom%20C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos>
- Área de Ambiente. (2021). *Políticas y Estrategias Ambientales, Energía*. Vicejefatura de la Ciudad de Buenos Aires. <https://buenosaires.gob.ar/politicas-y-estrategias-ambientales/energia>
- Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable. (s.f.). *Procedimiento de cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas para calificación y certificación de inmuebles*. Comisión Nacional de Energía Atómica. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/ieds/eficiencia-energetica/indice-de-prestaciones-energeticas-para-certificacion-de-inmuebles#:~:text=El%20C3%ADndice%20de%20prestaciones%20energ%C3%A9ticas,asociadas%20a%20calefacci%C3%B3n%20en%20invierno>
- Secretaría de Desarrollo Territorial, Hábitat y Vivienda. (2024). *Procrear II*. Ministerio de Economía de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/habitat/procrear>
- Ministerio de Justicia. (2024). *Cuota simple*. Gobierno Nacional de la República Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/cuota-simple#:~:text=Cuota%20simple%20es%20un%20programa,31%20de%20diciembre%20de%202024>.
- Subsecretaría de Transición y Planeamiento Energético. (2024). *Sistema Unificado de Información Energética*. Ministerio de Economía de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/informacion-energetica/sistema-unificado-de-informacion>
- Secretaría de Industria y Comercio. (2024). *Rubros*. Ministerio de Economía de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/rubros>
- Ente Nacional Regulador de la Electricidad [ENRE]. (agosto, 2024). *Cuadro Tarifario del 08-2024* [Enlace Interno]. Tarifas. Ministerio de Economía de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/enre/cuadros_tarifarios
- Ente Nacional Regulador de la Electricidad [ENRE]. (agosto, 2024). *Cuadro Tarifario del 07-2023* [Enlace Interno]. Tarifas. Ministerio de Economía de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/enre/cuadros_tarifarios
- Banco Central de la República Argentina (BCRA). (agosto, 2024). *Cotizaciones por fecha*. https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Cotizaciones_por_fecha_2.asp

- INDEC. (21 de noviembre de 2023). *Cuadro 1.1. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Total de viviendas, viviendas particulares, por condición de ocupación, y viviendas colectivas, según comuna. Año 2022.* [Archivo Excel]. Resultados del Censo 2022/Cuadros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_caba/
- INDEC. (21 de noviembre de 2023). *Cuadro 2.1. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Total de viviendas particulares ocupadas y hogares, por cantidad de hogares, según comuna. Año 2022.* [Archivo Excel]. Resultados del Censo 2022/Cuadros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_caba/
- INDEC. (21 de noviembre de 2023). *Cuadro 3.1. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Total de viviendas particulares ocupadas y total de hogares, por tipo de vivienda particular, según comuna. Año 2022.* [Archivo Excel]. Resultados del Censo 2022/Cuadros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_caba/
- Organización de las Naciones Unidas para la Acción por el Cambio Climático. (s.f.). *Causas y efectos del cambio climático.* <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Código de Edificación. Ley 6.100 de 2018 y modificatoria Ley 6.438 de 2021. 1 de enero de 2019 (Ciudad Autónoma de Buenos Aires).
- Decreto 140 de 2007 [Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios]. Declárase de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía. Apruébanse los lineamientos del citado Programa. 21 de diciembre de 2007.
- Norma IRAM 11601 de 2002 [Instituto Argentino de Normalización y Certificación]. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. 10 de octubre de 2002.
- Secretaría de Estado de la Energía Gobierno de la provincia de Santa Fe. (2018). *Módulo IV Calefacción Y Refrigeración* [diapositivas varias]. Etiquetado de Viviendas - Curso de Certificadores – Gobierno de la Provincia de Santa Fe. https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/wp-content/uploads/sites/25/2018/12/04_CALEFACCION_REFRIGERACION.pdf
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2021). *Informe de Inventario de Gases de Efecto Invernadero 2021.* <https://buenosaires.gob.ar/inventario-y-mitigacion/resultados-de-los-inventarios-de-gases-de-efecto-invernadero>
- Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional De Rosario. (2020). *Resumen Ejecutivo de Prueba Piloto de Etiquetado Energético de Viviendas – Ciudad Autónoma de Buenos Aires.* <https://buenosaires.gob.ar/sites/default/files/media/document/2021/07/18/da8d37ea847ceb475e5afc735b82a42e25843c3f.pdf>
- Heins, A., Barressi, C., Carlino, M., Frassetto, A., Gentile, C., Guillaumet, P., Iezzi, M., Magnasco, E., Mirasson, V., Piñera, M. C. y Serra, L. (2021). *Desarrollo de una Estrategia de Retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires: Resumen Ejecutivo.* Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. <https://buenosaires.gob.ar/sites/default/files/media/document/2021/10/01/1602952bebc7ea6b102501f0aa31cfcdf3ad27fd.pdf>
- Heins, A., Barressi, C., Carlino, M., Frassetto, A., Gentile, C., Guillaumet, P., Iezzi, M., Magnasco, E., Mirasson, V., Piñera, M. C. y Serra, L. (2021). *Desarrollo de una*

*Estrategia de Retrofit Residencial para la Ciudad de Buenos Aires: Informe
Final.* Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Secretaría de Estado de la Energía Provincia de Santa Fe y Ministerio de Energía y Minería Presidencia de la Nación (21 de diciembre de 2016). *Procedimiento de Cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas: Versión 0.* https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/indice_de_prestaciones_energeticas_0.pdf

INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010: Glosario.* https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/glosario_censo2010.pdf

Dickinson, K. (11 de julio de 2022). *The Social Benefits of Retrofitting.* CityChanger.org. <https://citychangers.org/social-benefits-retrofitting/>