

Análisis del comportamiento térmico e higrotérmico de los muros de árido vertido implementados en la autoconstrucción de Mar del Plata

Analysis of thermal and hygrothermal behavior of the poured concrete walls implemented in the self-construction of Mar del Plata

Resumen

En el marco del Programa Hábitat y Ciudadanía (FAUD - UNMDP) desde una idea integral de "Soporte para el habitar" (Cacopardo et al. 2016), se desarrollan distintos componentes para el cerramiento del hábitat autoconstruido en Mar del Plata.

Uno de ellos es el muro de árido vertido. Con la provisión de polvo de piedra por la cantera Yaraví SA, se generan diferentes mezclas agregando cemento. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento térmico e higrotérmico de estos muros y proponer mejoras.

Para verificar la transmitancia térmica y el riesgo de condensación se utiliza la normativa vigente, las normas IRAM, y a su vez, se implementa la metodología cuantitativa y comparativa en el estudio de los resultados.

Teniendo en cuenta la norma IRAM 11.605, estos muros no alcanzaron la recomendada categoría B, sin embargo hubo una mejora significativa al agregar un material aislante.

Palabras clave: eficiencia energética, cerramiento murario, hábitat popular, hábitat sustentable

Abstract

Within the framework of the Habitat and Citizenship Program (FAUD - UNMDP) from a comprehensive idea of "Support for living" (Cacopardo et al. 2016), different components are developed for the enclosure of the self-constructed habitat in Mar del Plata.

One of them is that of the poured aggregate walls. With the provision of stone powder by the Yaraví SA quarry, different mixtures are generated by adding cement. The objective of this work is to analyze the thermal and hygrothermal behavior of these walls and to propose improvements.

To verify the thermal transmittance and the risk of condensation are used the current regulations, the IRAM standards, and the quantitative and comparative methodology is implemented in the study of the results.

Atanasoska Kristina

kristina.atanasoska@gmail.com

Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Instituto de Investigaciones en Desarrollo Urbano, Tecnología y Vivienda, Mar del Plata, Argentina

Recibido: 01/08/2022

Aceptado: 07/10/2022

Taking into account the IRAM 11,605 standard, these walls did not reach the recommended category B, however there was a significant improvement by adding an insulating material.

Keywords: energy efficiency, wall enclosure, popular habitat, sustainable habitat

Introducción

Mar del Plata es la cabecera del partido General Pueyrredón, de la provincia de Buenos Aires. Se ubica sobre la costa Atlántica y tiene una población de alrededor de 650.000 habitantes ([Municipalidad de General Pueyrredón, 2022](#)). Según los datos del Registro Nacional de Barrios Populares en Proceso de Integración Urbana ([RENABAP](#)), en 2022 en la ciudad se registraron 58 barrios populares que comprenden aproximadamente 8.797 familias.

Este trabajo surge como apoyo en la búsqueda de calidad y confort habitacional dentro de una investigación mayor en el campo de la gestión del hábitat popular a partir de Tecnologías de Inclusión Social, formalizada por el Arq. Fernando Cacopardo en el Programa Hábitat y Ciudadanía (Programa HyC), en la Universidad Nacional de Mar del Plata y en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNMdP-CO-NICET).

La vivienda progresiva nacida de una idea integral de “Soporte para el habitar” ([Cacopardo et al. 2016](#)) genera interacciones entre los habitantes, su hábitat y con la ciudad. Los componentes básicos del “Soporte” son: el pilar (conexión de electricidad domiciliaria), la platea (superficie 32 m² con conexiones sanitarias), la estructura (columnas metálicas con techo) y el cerramiento vertical. A partir de esta idea, se aplican distintos componentes y materiales, de acuerdo a la disponibilidad en el territorio.

Desde el Programa HyC se han formado colaboraciones con distintos organismos estatales, empresas privadas y organizaciones civiles que aportan materiales, infraestructura y logística, entre ellos están: el Ente Municipal de Vialidad y Alumbrado Público (EMVIAL), la Empresa Distribuidora de Energía Atlántica (EDEA), el Colegio de Arquitectos de la Provincia de Buenos Aires distrito IX, sociedades de fomento, ONGs, etc. Un ejemplo de estas vinculaciones es el convenio con la cantera Yaraví SA, la cual dona el descarte de la explotación minera en forma de árido.

De ahí surge la implementación del muro de árido vertido como cerramiento vertical para el “Soporte” ([Cacopardo et al. 2018](#)). Esta tecnología comprende la construcción de grandes bloques a partir de vertido de mezclas con distintas dosificaciones. Las mezclas utilizadas se conforman por árido de piedra de grano fino y polvo de piedra con una granulación de 0,6 a 0,1 mm y cemento portland. El único costo del árido es el transporte y el mismo se utiliza en un volumen mayor con respecto al aglomerado, logrando un cerramiento muy económico.

La primera experiencia se hizo en el barrio Nuevo Golf en 2018, en la vivienda de Jesica Suárez donde se debatió el diseño de la matriz del encofrado con los participantes de la construcción. La familia expresó su opinión, pidiendo que sea de tamaño grande para acortar el tiempo de ejecución ([Cacopardo et al. 2018](#)). Se logró plantear un molde de 1,22 m de alto y 2,44 de ancho, dado por las placas de fenólico que lo conforman, con posibilidad de generar distintos espesores ([Figura 1](#)). Así se consiguió que la matriz además de grande sea fácil de transportar y manipular.

En la construcción de los primeros tres bloques participó la familia Suárez, mientras que en los siguientes siete se sumaron algunos vecinos en una colaboración autogestionada. El trabajo se llevó a cabo con el aporte del cemento, las herramientas y maquinaria por el Programa HyC. El ritmo de construcción fue rápido, un bloque se terminaba en media jornada laboral.

En una entrevista informal con Jesy Suárez (28 de enero de 2021), contaba que en invierno a la mañana hace mucho frío en la vivienda y algunas veces hay humedad en algunas paredes. Debido a estas declaraciones surgió la necesidad de verificar el comportamiento térmico e higrotérmico de los muros de árido vertido.



Figura 1. El molde utilizado para los muros de árido vertido
Elaboración propia

De acuerdo a la norma [IRAM 11.603](#), Mar del Plata está en la zona bioambiental IV d, con clima templado frío marítimo. Es una ciudad donde durante ocho meses las temperaturas son menores que la de confort, con alta humedad relativa que ronda entre 70% en verano y arriba de 80% en invierno. Este tipo de clima sugiere que es necesario el uso de las aislaciones térmicas en las edificaciones ([Atanasoska, 2021](#)).

De acuerdo a la norma [IRAM 11.605](#), se establecen dos niveles de condiciones de confort higrotérmico, nivel A y B. Para obtener los valores máximos admisibles de transmitancia térmica K (W/m^2K) para la vivienda en invierno en Mar del Plata, se considera la temperatura exterior de $-4,4^{\circ}C$. En cuanto a la temperatura de verano, la norma IRAM 11.605 recomienda valores máximos de acuerdo a la zona bioambiental ([Tabla 1](#)).

Tabla 1

| NIVEL A | | NIVEL B | |
|----------|--------|----------|--------|
| Invierno | Verano | Invierno | Verano |
| 0.32 | 0.50 | 0.85 | 1.25 |

Transmitancia térmica (W/m^2K) admisible en muros para Mar del Plata
Elaboración propia a base de datos de la norma [IRAM 11.601](#) y 11.605

Teniendo en cuenta el clima de Mar del Plata y la normativa vigente, se proponen mejoras para los muros de árido vertido a partir del agregado de materiales aislantes granulados o en plancha a la mezcla. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento térmico e higrotérmico de los distintos muros a partir de la aplicación de las normas IRAM correspondientes y averiguar la posibilidad de generar mejora en el confort habitacional del hábitat autoconstruido.

Metodología

En el marco normativo en la provincia de Buenos Aires rige la ley provincial 13.059/03, con el decreto reglamentario de 2010, que establece las condiciones de acondicionamiento exigibles en la construcción de edificios para contribuir a la mejor calidad de vida de la población y a la disminución del impacto ambiental a partir del uso racional de la energía.

Las normas IRAM consideradas en el trabajo y aplicadas específicamente a los muros de árido vertido son de la serie “aislamiento térmico de edificios”, en particular los siguientes: 11.601 ([Propiedades térmicas de los materiales para la construcción. Método de cálculo de la resistencia térmica total](#)); 11.603 ([Clasificación bioambiental de la República Argentina](#)); 11.605 ([Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos admisibles de Transmitancia Térmica “K”](#)), 11.625 ([Verificación del riesgo de condensación del vapor de agua superficial e intersticial en paños centrales](#)) y 11.630 ([Verificación riesgo de condensación intersticial y superficial en puntos singulares](#)).

De acuerdo a la norma [IRAM 11.601](#), los materiales para una determinada densidad, deben considerarse genéricos, ya que existen variaciones de conductividad térmica de acuerdo con la composición del material y también según sea la tecnología de producción utilizada. Para obtener la conductividad térmica se hizo una aproximación a los materiales ya ensayados a partir de la densidad y la composición del material.

Se analizó el tipo de materiales y tecnologías implementadas y se tuvieron en cuenta las características que podrían llegar a dar una buena respuesta a las sollicitaciones térmica, higrotérmica y de confort y finalmente se hizo una comparación de los resultados.

Desarrollo

Comportamiento térmico e higrotérmico del muro de árido vertido

Para obtener la conductividad térmica λ (W/mK) se realizó una probeta con la mezcla utilizada en la vivienda de Jesica Suárez, con relación cemento y árido 1:8. Las dimensiones de la misma son 0,145 x 0,145 x 0,04 m, con volumen de 0,000841 m³ y masa 1.472 gr ([Figura 2](#)). La densidad del material se consiguió a través de la relación del volumen y de la masa de la probeta.



Figura 2. Masa de la mezcla del muro de árido vertido
Elaboración propia

Se obtuvo: $\rho_1 = 1.472\text{gr} / 0,000841\text{m}^3 = 1.750 \text{ kg/m}^3$

De acuerdo a la norma IRAM 11.601, este material se aproxima a un hormigón normal con agregados pétreos con una densidad de 1.800 kg/m³ y que a su vez, tiene la conductividad térmica de 0,97 W/mK.

Utilizando la norma [IRAM 11.605](#), se calculó la transmitancia térmica K para el muro de árido vertido sin ningún agregado de material aislante, con un ancho de 30 cm- “Muro 1”, y se obtuvo que es de 2,09 W/m²K. Se verificó que la transmitancia térmica es más alta que la admisible para un nivel B para Mar del Plata (0,85 W/m²K).

De acuerdo a la norma [IRAM 11.625](#) y [11.630](#), se estipulan varios datos para proceder al cálculo de riesgo de condensación. La temperatura exterior es de -4,4°C, la interior de diseño para una vivienda se considera de 18°C y la de punto de rocío para la ciudad costera es de 10,7°C.

En cuanto al “muro 1”, se observa en la [tabla 2](#) que la temperatura superficial está menor que la del punto de rocío de la ciudad y presenta riesgo de condensación superficial en todos los puntos considerados.

Tabla 2

| Puntos de verificación del riesgo de condensación superficial | Paño central | Aristas y rincones superiores y verticales a altura media | Aristas y rincones inferiores | Interior de placares y/o detrás de muebles |
|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| MURO 1 Θ (°C) | 10,67 | 7,22 | 3,33 | -3,57 |

Riesgo de condensación superficial en el “muro 1”
Elaboración propia a base de la norma IRAM 11.625

En cuanto al riesgo de condensación intersticial se utilizó la [Tabla 3](#) propuesta por la norma [IRAM 11.625](#) (2000, p. 15), donde se considera la humedad relativa exterior a 90%, mientras que, la interior para Mar del Plata es de 62,5%. En la [figura 3](#) se verifica que el “muro 1” no presenta riesgo de condensación intersticial.

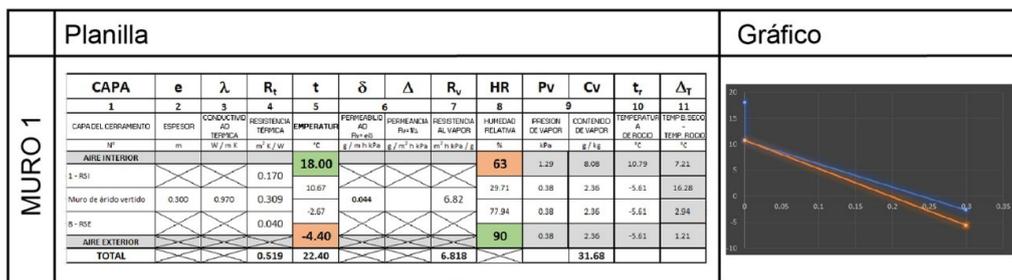


Figura 3. Riesgo de condensación intersticial del muro 1
Elaboración propia

Estos resultados confirmaron la sospecha que el muro de árido vertido de 30cm no tiene un buen comportamiento térmico e higrotérmico para la ciudad. A raíz de eso, se propuso introducir materiales aislantes al cerramiento utilizado y verificar las mejoras.

La experiencia constructiva de los muros de árido vertido mejorados

Se plantearon dos muros mejorados, el primero, “Muro 2” es de 30 cm de espesor, con la misma dosificación que el muro 1, a cual se le agrega una plancha de poliestireno expandido (EPS, del inglés expanded polystyrene) de 2 cm en el medio. El segundo, “Muro 3” es del mismo espesor, con agregado de EPS de descarte en copos, con una dosificación cemento, árido y poliestireno expandido 1:6:4.

La experiencia con el agregado de aislación térmica se hizo en el barrio Nuevo Golf, en el espacio de la organización política “La Trinchera” ([Figura 4](#)). De los cuatro muros se ejecutaron dos con las mejoras propuestas y los otros dos sin agregado de aislante térmico.



Figura 4. Los muros de árido vertido mejorados en “La Trinchera”
Elaboración propia

En cuanto a la práctica constructiva, el “muro 2” perdió un poco de agilidad ya que la plancha de EPS se tenía que acomodar de vez en cuando y se tenía que verter la mezcla con más cuidado en porciones iguales de ambos lados de la plancha ([Figura 5](#)). Aun así, en media jornada se había terminado el trabajo.

Con la construcción del “muro 3” nos encontramos con el problema de la mano de obra. La complicación principal fue el agua, ya que, para hacer el trabajo más rápido y la mezcla más fluida, se había agregado agua en proporción que generaba que el EPS flote ([Figura 5](#)). El error se corrigió, sin embargo, con la mezcla más seca la ejecución del muro llevó más tiempo en comparación con los otros muros.



Figura 5. Construcción del Muro 2 (izquierda) y la mezcla del Muro 3 (derecha)
Elaboración propia

Comportamiento térmico e higrotérmico de los muros de árido vertido mejorados

Para obtener la transmitancia térmica λ (W/mK) de la mezcla del “muro 3” se procedió de la misma manera que con la primera mezcla. De la probeta con dimensiones 0,15 x 0,15 x 0,025 m, volumen de 0,0005625 m³ y masa de 682 gr ([Figura 5](#)) se obtuvo la densidad ρ_2 de 1.212 kg/m³ ([Figura 6](#)). Esta densidad, de acuerdo a la norma [IRAM 11.601](#), está cercana a un hormigón con poliestireno expandido de 1.300 kg/m³, el cual posee una conductividad térmica de 0,35 W/mK.

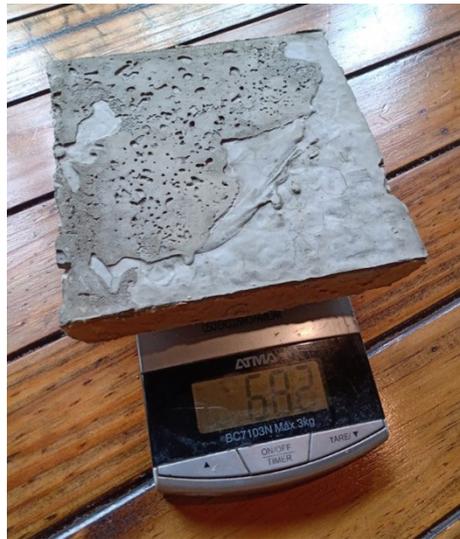


Figura 6. Masa de la mezcla del “Muro 3”
Elaboración propia

De acuerdo a la norma [IRAM 11.605](#), la transmitancia térmica K del muro 2 y 3 es la misma, y es de 0,97 W/m²K. Al agregar el poliestireno expandido hay una mejora significativa en comparación con el muro 1, sin embargo no es suficiente para la categoría B de acuerdo a la misma norma.

A continuación, se observa en la [tabla 3](#) que también hay una mejora en el comportamiento higrotérmico. Los muros 2 y 3 presentan riesgo de condensación superficial solamente en un punto de los verificados, en el interior de placares y detrás de muebles.

Tabla 3

| Puntos de verificación del riesgo de condensación superficial | Paño central | Aristas y rincones superiores y verticales a altura media | Aristas y rincones inferiores | Interior de placares y/o detrás de muebles |
|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| MURO 1 Θ (°C) | 10,67 | 7,22 | 3,33 | -3,57 |

Riesgo de condensación superficial en los muros 2 y 3
Elaboración propia a base de la norma [IRAM 11.625](#)

En cuanto a la condensación intersticial, se verifica que el “muro 2” presenta riesgo de condensación en dos puntos en el interior del muro, en el lugar donde se ubica la aislación térmica y también en la mezcla del vertido en la parte exterior del mismo. El “muro 3” no presenta riesgo de condensación intersticial ([Figura 7](#)).



Figura 7. Riesgo de condensación intersticial de los muros mejorados
Elaboración propia

Discusión de resultados

En la comparación de los tres muros se verifica que los muros de árido vertido con agregado de EPS en plancha o en copos de descarte, tienen un comportamiento térmico mucho mejor que el “muro 1”. Incluso de acuerdo a la norma [IRAM 11.605](#), ambos muros verifican para la condición de verano para una categoría B ([Figura 8](#)). En el “muro 1” se presenta el valor más alto de transmitancia térmica. Este muro, sin ninguna aislación térmica, en invierno cede rápidamente el calor generado en el interior de la vivienda hacia afuera.

| | Invierno | Verano | IRAM 11605 |
|-------------------------|----------|--------|-------------|
| K admisible categoría A | 0.32 | 0.50 | |
| K admisible categoría B | 0.85 | 1.25 | |
| MURO 1 | 2.09 | 2.09 | no verifica |
| MURO 2 | 0.97 | 0.97 | no verifica |
| MURO 3 | 0.97 | 0.97 | no verifica |

Figura 8. Comparación de la transmitancia térmica K (W/m²K) de los tres muros de árido vertido
Elaboración propia

En cuanto al comportamiento higrotérmico, en la [figura 9](#) se puede verificar que el “muro 3” presenta menor riesgo de condensación, solamente en el punto particular detrás de muebles o dentro de placares. El “muro 1” es el que presenta mayores problemas en cuanto a la condensación, siendo que existe la posibilidad que condense superficialmente en el paño central y en todos los puntos críticos. El “muro 2”, aunque tiene la misma resistencia térmica R (m²K/W) que el “muro 3”, por su composición y lugar de ubicación de la plancha de EPS es el único que podría condensar intersticialmente.

En cuanto a la experiencia de la construcción, el “muro 1” se construye relativamente rápido, en un par de horas se completa un bloque de 2 x 1 m, a los dos días se puede desmontar y seguir con uno nuevo. En la ejecución del “muro 2”, uno tiene que tener mayor cuidado con el volcado del material, sin embargo en tiempo, no era significativa la diferencia con respecto al “muro 1”. Finalmente, el “muro 3” lleva más tiempo hacerlo, ya que la mezcla tiene que ser con menor contenido de agua.

| | RIESGO DE CONDENSACIÓN | | | | |
|--------|------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| | Superficial | | | | Intersticial |
| | Paño central | Aristas superiores y verticales | Aristas inferiores | Detrás de muebles | |
| MURO 1 | riesgo | riesgo | riesgo | riesgo | sin riesgo |
| MURO 2 | sin riesgo | sin riesgo | sin riesgo | riesgo | riesgo |
| MURO 3 | sin riesgo | sin riesgo | sin riesgo | riesgo | sin riesgo |

Figura 9. Comparación del riesgo de condensación de los tres muros
Elaboración propia

Otra ventaja del “muro 1” es la economía, como se mencionó anteriormente, su único costo es el transporte del árido y el cemento. En este sentido, al muro 2 y 3 se les agrega el costo de la plancha de EPS y los copos que vienen de descarte, que aumenta el costo en el primer caso por 350,00 pesos y en segundo, 200,00 pesos por bloque (La Casa del Telgo, Mar del Plata 05/07/2022).

Conclusiones

La vivienda autoconstruida gestionada a partir del “Soporte para el habitar” toma en consideración la factibilidad socio-económica, los recursos y la participación de la familia en las decisiones y articula el saber de la familia con el conocimiento técnico y científico del equipo de apoyo. El control de los procesos es fundamental para que se pueda producir vivienda con calidad constructiva aceptada universalmente.

Es de particular interés el comportamiento térmico e higrotérmico de la vivienda que se autoconstruye, ya que el confort ambiental es fundamental para la calidad del hábitat. En este caso se analizó el comportamiento térmico e higrotérmico de tres distintos muros de árido vertido.

Al tener en cuenta el clima de Mar del Plata y la normativa vigente, se llegó a la conclusión que el muro de árido vertido, sin ningún agregado de aislación térmica, tiene un comportamiento deficitario para la zona y no sería recomendable su uso en la vivienda. Este tipo de cerramientos fríos provocan discomfort constante en los habitantes, en especial en invierno, ya que ceden el calor generado hacia el exterior muy rápido. A continuación, pueden producir condensación superficial que lleva a la apariencia de moho y hongos, que repercute directamente en la salud de los habitantes. También, se genera un consumo energético elevado que influye en la economía del hogar y provoca un uso no racional de las energías.

A futuro, se debería seguir optimizando estos muros. Se debería ensayar el “muro 3” con mayor contenido de aislante hasta lograr que alcance el nivel B para invierno de la misma norma y algún agregado que mejore la trabajabilidad de la mezcla, mientras que el “muro 2”, además de agregarle espesor a la plancha de EPS, se debería verificar su ubicación, para evitar el riesgo de condensación intersticial.

En cuanto a la experiencia en el territorio, el equipo de trabajo del grupo de investigación notó que el “muro 1” era más fácil y rápido de construir. Sin embargo, el comportamiento térmico e higrotérmico es de mucha importancia si se quiere lograr confort en el hábitat, y se debería insistir con la implementación de las mejoras, siempre y cuando sea posible, teniendo en cuenta que estamos en presencia de autoconstrucción.

Más aun, si consideramos que este tipo de autoconstrucción tiene un componente educativo-participativo importante, ya que muchos de los participantes aprenden un oficio y las familias involucradas desarrollan lazos comunitarios, se podría pensar en mejorar la transferencia del conocimiento, por ejemplo a través de cursos y talleres, en cuanto a la importancia de los aislantes térmicos en la construcción para esta ciudad y atender también a las técnicas constructivas.

Finalmente, surgen nuevas cuestiones relacionadas con la mejora en el comportamiento térmico e higrotérmico del hábitat autoconstruido. En particular, teniendo en cuenta la construcción en seco con madera, como material económico y fácil de manipular y los bioaislantes que se podrían obtener en la ciudad.

Referencias bibliográficas

- Atanasoska, K. (2021). Caracterización bioclimática de Mar del Plata. Recomendaciones para el Diseño Arquitectónico. *Investigación + Acción*, N° 24, 13-34.
- Cacopardo, F., Rotondaro, R., Blanco Pepi, M., Cacopardo, G., Freire, P., Ispizúa, J., Melián, I., & Mitidieri, A. (2018). Tecnologías sociales en territorios urbanos pobres. Barrio Nuevo Golf, Mar del Plata, Argentina (2010-2018). *Redes. Revista de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología*, 24 (47), 227–262.
- Cacopardo, F., Cusán, M., Blanco Pepi, M., Cacopardo, G., & Freire, P. (2016). Desarrollo tecnológico como desarrollo humano en contextos de extrema pobreza: Soportes para el habitar. *Journal De Ciencias Sociales*, (7). <https://doi.org/10.18682/jcs.v0i7.584>

Municipalidad de General Pueyrredón (2022). Municipalidad de General Pueyrredón web site. Disponible en <https://www.mardelplata.gob.ar/>

Norma IRAM 11601 (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.*

Norma IRAM 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.*

Norma IRAM 11605 (2004). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica en cerramientos opacos.*

Norma IRAM 11.625. (2000). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación del riesgo de condensación del vapor de agua superficial e intersticial en paños centrales.*

Norma IRAM 11.630. (2000). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación riesgo de condensación intersticial y superficial en puntos singulares.*

RENABAP (2022). Renabap web site. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/desarrollosocial/renabap/informesyestadisticas>.