

Simulación computacional del rendimiento energético de espumas cementicias con PCM microencapsulado incorporado como materiales aislantes de envolventes de edificios.

Computational simulation of the energy performance of cementitious foams with microencapsulated PCM incorporated as insulating materials for building envelopes.

Presentación: 17/10/2023

Ignacio Girard¹, Santiago Berardo¹, M. Cecilia Demarchi^{1,2}, Alejandro E. Albanesi^{1,2}

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Argentina

² Centro de Investigación de Métodos Computacionales, Universidad Nacional del Litoral, Argentina

santiago_berardo@hotmail.com, ignacio_ggirard@hotmail.com, ingmcdemarchi@gmail.com, aalbanesi@cimec.unl.edu.ar

Resumen

Este estudio aborda la importancia de mejorar la eficiencia energética en edificios debido al crecimiento de la población y su impacto en el consumo de energía y la contaminación. Se enfoca en el uso de materiales con cambio de fase (PCM) en las envolventes de los edificios como una solución prometedora. Los PCM pueden almacenar y liberar energía, reduciendo el consumo de energía y siendo respetuosos con el medio ambiente. El estudio analiza el comportamiento térmico de espumas cementicias con PCM en tres climas de Argentina y compara sus resultados con aislantes convencionales. Se utiliza el modelo ANSI/ASHRAE BESTEST 900 para medir el consumo de energía y se evalúan las ventajas y desventajas de estos compuestos en cada zona climática.

Palabras clave: Simulación computacional, Energy Plus, rendimiento energético, PCM

Abstract

This study addresses the importance of improving energy efficiency in buildings due to population growth and its impact on energy consumption and pollution. It focuses on the use of phase change materials (PCM) in building envelopes as a promising solution. PCMs can store and release energy, reducing power consumption and being environmentally friendly. The study analyzes the thermal behavior of cementitious foams with PCM in three Argentinean climates and compares its results with conventional insulators. The ANSI/ASHRAE BESTEST 900 model is used to measure energy consumption and the advantages and disadvantages of these compounds in each climatic zone are evaluated.

Keywords: Computer simulation, Energy Plus, energy efficiency, PCM

Introducción

El crecimiento de la población induce al aumento del consumo de energía y el nivel de contaminación. Los edificios consumen la mayor parte de la energía total y son los responsables del mayor porcentaje de emisión de gases de efecto invernadero. Por tal motivo, lograr que sean energéticamente eficientes es de vital importancia para revertir dicha situación.

Una de las posibles soluciones es el empleo de materiales con cambio de fase en las envolventes. Estos materiales tienen la capacidad de almacenar energía cuando cambian de fase de sólido a líquido, absorbiendo el calor del entorno, y la liberarla pasivamente cuando la temperatura decrece y cambia de fase de sólido a líquido. El uso de estos sistemas, nos solo disminuye notablemente el consumo de energía, sino que también son materiales amigables con el medioambiente, ya que gran parte de ellos son orgánicos.

Este contexto, este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico de espumas cementicias con PCM incorporado como aislante para 3 climas diferentes de Argentina (Sauce Viejo, San Juan y Sauce Viejo). Se realiza un análisis paramétrico con el modelo ANSI/ASHRAE BESTEST 900, midiendo el consumo de energía para calefacción y refrigeración, para distintas composiciones de espumas cementicias, espesores y posiciones en el muro. Se compara con aislantes de uso masivo en Argentina como el EPS, la lana de vidrio y el poliuretano expandido. Se analizan las ventajas y desventajas del uso de estos compuestos en cada zona climática.

Marco teórico: Efecto de la incorporación de PCM en las envolventes de los edificios

Un PCM (phase change material) es una sustancia que tiene la capacidad de cambiar de estado físico (sólido, líquido o gas) en respuesta a cambios en la temperatura. La característica más importante de los PCM es su capacidad de absorber y liberar una gran cantidad de energía térmica durante el proceso de cambio de fase, manteniendo una temperatura constante durante la transición. Esto significa que pueden absorber calor cuando se funden y liberarlo cuando se solidifican, lo que los hace útiles para la regulación de temperatura y el almacenamiento de energía térmica. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como sistemas de climatización y calefacción, almacenamiento de energía solar, gestión de la temperatura en edificios, entre otros. La elección de un PCM específico depende de la temperatura de cambio de fase deseada y de las necesidades de la aplicación particular. Los materiales comunes utilizados como PCM incluyen parafinas, sales inorgánicas, polímeros y metales. Los PCM microencapsulados integrados a placas de espumas cementicias logran amortiguar los picos de temperatura en el interior del ambiente manteniendo el confort reduciendo el consumo de energía.

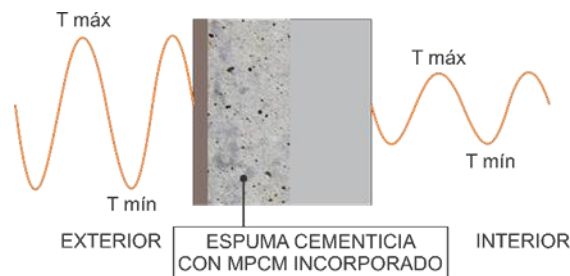


Figura 1 - Efecto de las espumas cementicias con PCM microencapsulado incorporado como aislante térmico en edificios

Metodología de trabajo

La metodología de trabajo utilizada para evaluar el rendimiento térmico de los aislantes puede resumirse en los siguientes pasos:

1. *Determinación de las propiedades de los materiales:* El primer paso es especificar las propiedades de las espumas cementicias, las láminas de EPS, lana de vidrio y poliuretano expandido: densidad, conductividad y calor específico, en el caso de las espumas cementicias, mediante la correspondiente curva de temperatura-entalpía del material. Se definen 12 tipos de espumas cementicias variando el tipo de cemento y la porosidad.

2. *Construcción del modelo numérico*: El paso siguiente es modificar el archivo “.idf” del BESTEST 900, incorporando el bloque de materiales aislantes y configurando los boques de paquetes constructivos. Se evalúan distintos espesores de material y posiciones en el paquete constructivo.

3. *Simulación por computadora*: Cada modelo se corre con EnergyPlus en forma secuencial en un solo núcleo de un PC de escritorio tipo Intel i7. Se ingresa al programa el archivo “.idf” con las configuraciones correspondientes al modelo de simulación y el archivo “.epw” que contienen los datos meteorológicos, el programa devuelve como salida un archivo “.csv” donde se tiene el consumo de energía para calefacción y refrigeración por hora a lo largo de todo el año.

4. *Análisis y comparación de resultados*: En este punto se analiza el comportamiento de los aislantes en cuanto a composición, espesor y posición en el muro considerando los tres climas seleccionados.

Caso de estudio

Como se mencionó anteriormente, la evaluación del rendimiento térmico de los materiales se realizará con el edificio de prueba BESTEST 900 detallados en la norma ANSI/ASHRAE 140. Este edificio tiene un tamaño de 8 mts de frente por 6 metros de profundidad y 2.50 mts de alto. La fachada orientada al norte posee dos ventanas de 3 mts de ancho por 2 mts de largo.

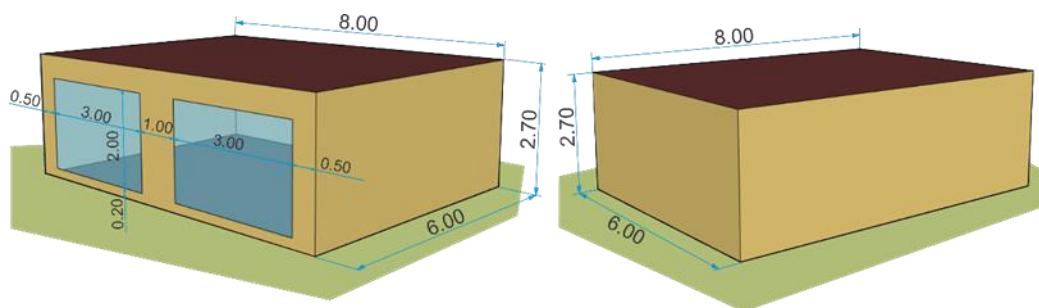


Figura 2 - Edificio modelo BESTEST 900

En cuanto a los materiales, las paredes están compuestas por una capa de concreto de 10 cm, material aislante, y madera como revestimiento exterior. El piso es una losa de concreto de 8 cm de espesor aislada del piso con aislación respecto del suelo. El techo es una estructura de madera con aislación térmica de fibra de vidrio y cielorraso de placas de yeso. Las ventanas son dos paños fijos de doble vidrio.

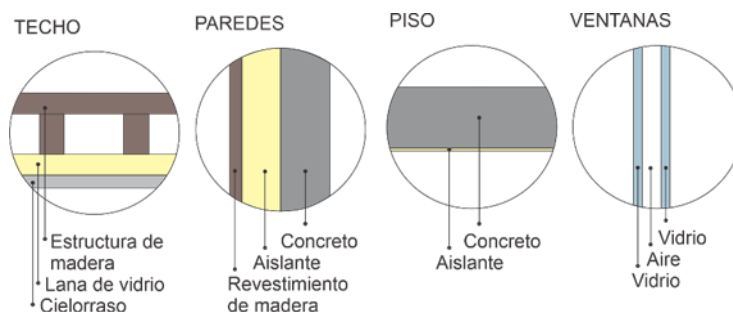


Figura 3 - Materiales del edificio

El consumo de energía se mide mediante la configuración de un sistema HVAC de cargas ideales, que mantiene la temperatura del ambiente interior entre 20°C y 27°C.

Climas

Se seleccionan tres tipos de climas de Argentina: Sauce Viejo (Santa Fe), San Juan (San Juan) y Ushuaia (Tierra del Fuego). Las simulaciones se realizan con los datos de los años meteorológicos típicos de cada ciudad, disponibles a través del laboratorio

NREL. El año meteorológico típico se define con los datos de temperatura, humedad, viento, lluvia y radiación de los meses típicos del lugar. Sauce viejo es un clima tipo templado pampeano con veranos relativamente calurosos e inviernos poco fríos. San Juan es un clima árido de sierras y campos con verano e inviernos cálidos. Ushuaia es un tipo de clima frío magallánico, con temperaturas bajas en verano y por debajo de cero en invierno. Las gráficas a continuación muestran la distribución de temperatura de cada localidad a lo largo del año.

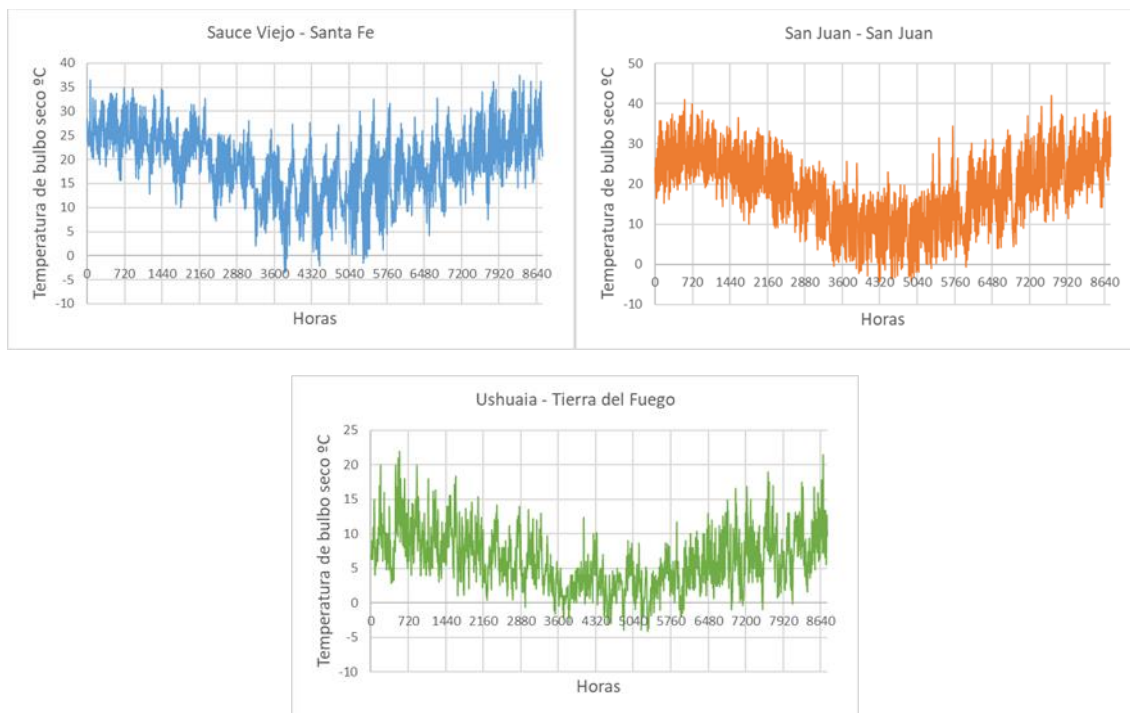


Figura 4 - Distribución de temperaturas en el año de Sauce Viejo, San Juan y Ushuaia

Materiales aislantes

Las espumas cementicias son compuestos formados por pasta de cemento con distintas conductividades (C588, conductividad: 0.588 W/m-K; C643, conductividad: 0.643 W/m-K; C732, conductividad: 0.732 W/m-K), y distintas porosidades (0%, 51%, 65% y 85%). El PCM micro encapsulado incorporado es un Nextek 24, cuya temperatura de cambio de fase es de 24°C. Este se incorpora a la espuma cementecia en una fracción del 30% de pasta de cemento. La conductividad de las espumas se obtiene mediante homogeneización y la capacidad calorífica a partir de la ley de mezcla.

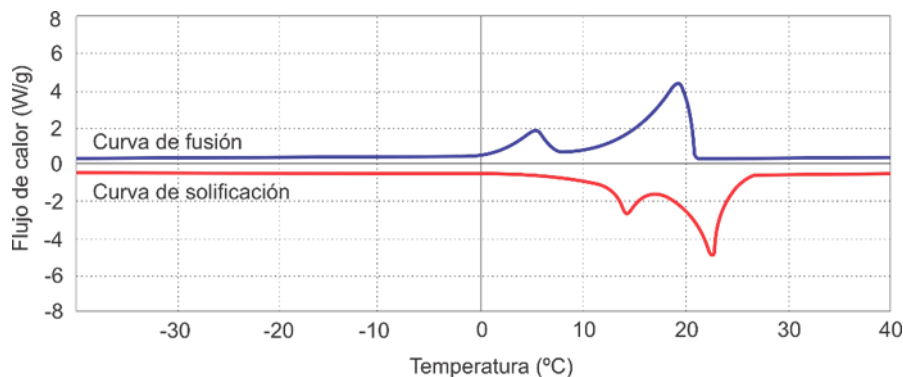


Figura 5 - Curvas de solidificación y fusión PCM NEXT24

ESPUMAS CEMENTICIAS					
Espuma Cementicia	Tipo de cemento	Porosidad (%)	Densidad (W/m-K)	Conductividad (W/m-K)	Cap. calorífica (kg/m3)
EC_1	C588	0	1377.15	0.399	f(temperatura)
EC_2	C643	0	1432.8	0.43263	f(temperatura)
EC_3	C732	0	1566.5	0.48699	f(temperatura)
EC_4	C588	51	673.6005	0.20979	f(temperatura)
EC_5	C643	51	700.7951	0.22606	f(temperatura)
EC_6	C732	51	766.1305	0.25231	f(temperatura)
EC_7	C588	65	476.2243	0.13802	f(temperatura)
EC_8	C643	65	495.4358	0.14734	f(temperatura)
EC_9	C732	65	541.592	0.16232	f(temperatura)
EC_10	C588	85	212.0566	0.070393	f(temperatura)
EC_11	C643	85	220.5838	0.07391	f(temperatura)
EC_12	C732	85	241.0705	0.079545	f(temperatura)

Tabla 1 - Características térmicas de las espumas cementicias

MATERIALES AISLANTES CONVENCIONALES			
Tipo de aislante	Resistencia térmica (m2 K / W)		
	3 cm	6 cm	10 cm
EPS	0.75	1.25	2.50
LANA DE VIDRIO	0.75	1.25	2.50
POLIURETANO EXPANDIDO	1.15	1.92	3.85

Tabla 2 - Características térmicas del EPS, lana de vidrio y poliuretano expandido

Paquetes constructivos

Se evalúa el rendimiento energético para las siguientes configuraciones de paquetes constructivos en paredes:

Configuración 1: La pared se compone de una capa interior de concreto de 10 cm, seguido de material aislante con espesores de 3 cm, 6cm y 10 cm, con terminación exterior revestimiento de madera.

Configuración 2: La pared se compone de una capa exterior de concreto de 10 cm, seguido de material aislante con espesores de 3 cm, 6cm y 10 cm, con terminación interior de revestimiento de madera.

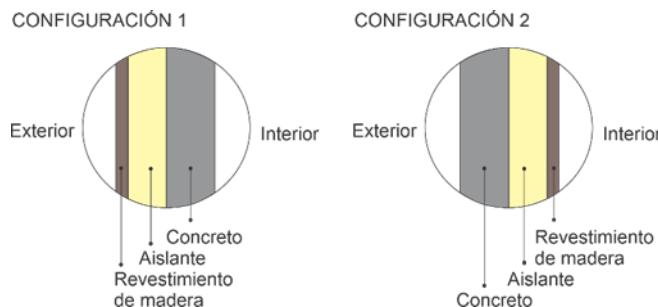


Figura 6 - Paquetes constructivos propuestos

Resultados y discusión

A continuación, se muestran en tabla el consumo energético para calefacción, refrigeración y total de cada modelo. Se define como rendimiento óptimo aquel que tenga cumpla con el compromiso de minimizar el consumo total de energía.

Sauce Viejo:

SAUCE VIEJO - CONFIGURACIÓN 1 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM									
Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	806.66	2676.68	3483.34	586.67	2662.44	3249.12	412.33	2754.52	3166.85
EC_2	819.68	2667.15	3486.84	605.04	2642.37	3247.42	432.08	2720.72	3152.80
EC_3	841.44	2662.57	3504.01	634.13	2623.62	3257.75	463.82	2681.51	3145.32
EC_4	694.81	2797.01	3491.82	444.70	2895.42	3340.12	276.27	3108.99	3385.26
EC_5	714.49	2784.41	3498.90	465.49	2864.88	3330.38	294.25	3061.54	3355.79
EC_6	744.96	2773.17	3518.13	498.55	2829.53	3328.08	323.59	3000.12	3323.71
EC_7	578.58	2893.44	3472.02	334.73	3105.75	3440.48	210.88	3493.53	3704.41
EC_8	598.55	2876.02	3474.57	352.25	3068.55	3420.80	202.92	3359.31	3562.23
EC_9	629.45	2856.39	3485.85	380.60	3021.56	3402.16	224.42	3289.07	3513.48
EC_10	375.95	3166.31	3542.27	185.63	3586.87	3772.50	99.11	3980.70	4079.81
EC_11	390.66	3141.39	3532.05	195.11	3548.24	3743.35	104.29	3938.96	4043.25
EC_12	413.83	3107.43	3521.26	210.88	3493.53	3704.41	113.39	3878.10	3991.48

Tabla 3 - Consumo de energía en Sauce Viejo con espuma cementicia con PCM como aislante en el exterior

SAUCE VIEJO - CONFIGURACIÓN 2 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM									
Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	816.35	2784.77	3601.12	585.92	2738.84	3324.76	409.39	2815.08	3224.47
EC_2	823.86	2758.77	3582.64	598.62	2701.34	3299.96	423.18	2764.25	3187.42
EC_3	840.51	2741.87	3582.37	621.71	2668.78	3290.49	448.53	2710.61	3159.14
EC_4	786.33	3085.50	3871.82	513.22	3161.01	3674.23	334.39	3347.38	3681.77
EC_5	800.16	3055.45	3855.60	529.17	3111.73	3640.91	348.23	3281.83	3630.06
EC_6	825.12	3028.11	3853.23	557.54	3061.26	3618.81	373.17	3205.48	3578.65
EC_7	710.95	3286.64	3997.60	435.63	3477.20	3912.83	272.26	3742.33	4014.59
EC_8	726.38	3253.26	3979.64	449.88	3424.09	3873.96	282.85	3677.07	3959.93
EC_9	753.20	3217.98	3971.18	476.05	3365.43	3841.48	302.59	3596.39	3898.98
EC_10	557.30	3723.56	4280.86	326.19	4112.52	4438.72	202.90	4432.62	4635.52
EC_11	571.08	3690.15	4261.23	335.47	4068.01	4403.48	208.26	4385.67	4593.93
EC_12	594.17	3647.12	4241.29	352.72	4011.27	4363.99	219.33	4325.35	4544.69

Tabla 4 - Consumo de energía en Sauce Viejo con espuma cementicia con PCM como aislante en el interior

SAUCE VIEJO - CONFIGURACIÓN 1									
Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	228.64	3536.81	3765.46	131.90	3928.88	4060.78	63.22	4459.28	4522.49
LV	228.64	3536.81	3765.46	131.90	3928.88	4060.78	63.22	4459.28	4522.49
PE	144.46	3862.52	4006.99	82.70	4266.48	4349.19	44.30	4732.44	4776.75

Tabla 5 - Consumo de energía en Sauce Viejo para el resto de los aislantes en el exterior

SAUCE VIEJO - CONFIGURACIÓN 2

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	1245.89	1704.96	2950.85	131.90	3928.88	4060.78	870.20	1740.65	2610.85
LV	1245.89	1704.96	2950.85	131.90	3928.88	4060.78	870.20	1740.65	2610.85
PE	1088.73	1711.59	2800.32	933.97	1729.49	2663.46	788.03	1758.85	2546.88

Tabla 6 - Consumo de energía en Sauce Viejo para el resto de los aislantes en el interior

San Juan:

SAN JUAN - CONFIGURACIÓN 1 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	1197.10	2937.75	4134.85	838.09	2884.50	3722.59	584.15	2963.74	3547.89
EC_2	1217.64	2931.08	4148.73	868.81	2869.38	3738.19	617.91	2934.68	3552.59
EC_3	1252.67	2931.06	4183.74	916.19	2857.53	3773.72	668.41	2900.71	3569.12
EC_4	1018.12	3030.45	4048.57	594.05	3075.00	3669.05	329.94	3274.01	3603.96
EC_5	1050.49	3021.91	4072.40	629.03	3049.00	3678.04	359.45	3228.71	3588.16
EC_6	1100.88	3017.13	4508.42	684.45	3020.99	4035.75	405.99	3169.62	3863.41
EC_7	823.94	3102.43	3926.37	408.35	3263.84	3672.19	187.24	3564.67	3751.91
EC_8	857.53	3089.04	3946.57	437.57	3229.39	3666.96	207.27	3513.86	3721.13
EC_9	909.79	3075.99	3985.78	485.22	3187.35	3672.57	240.20	3443.58	3683.78
EC_10	479.71	3338.30	3818.01	169.51	3733.54	3903.06	63.23	4108.51	4171.74
EC_11	504.83	3315.88	3820.71	183.70	3694.40	3878.09	63.23	4108.51	4171.74
EC_12	544.62	3286.26	3830.88	207.74	3639.76	3847.50	73.78	4041.72	4115.50

Tabla 7 - Consumo de energía en San Juan para espumas cementicias con PCM como aislante en el exterior

SAN JUAN - CONFIGURACIÓN 2 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	1202.84	3043.89	4246.73	838.49	2957.36	3795.85	588.09	3020.80	3608.89
EC_2	1215.71	3020.66	4236.37	862.23	2925.01	3787.24	615.14	2974.73	3589.87
EC_3	1243.21	3008.45	4251.67	901.66	2899.97	3801.63	658.23	2926.62	3584.85
EC_4	1158.82	3341.32	4500.14	701.50	3354.62	4056.12	415.90	3522.93	3938.83
EC_5	1180.39	3311.97	4492.36	727.88	3306.88	4034.75	439.66	3458.33	3897.99
EC_6	1220.20	3288.23	4508.42	774.92	3260.83	4035.75	480.28	3383.13	3863.41
EC_7	1043.55	3545.41	4588.96	577.87	3674.72	4252.59	309.95	3924.01	4233.96
EC_8	1067.71	3512.38	4580.09	600.85	3621.15	4222.00	326.80	3856.03	4182.83
EC_9	1110.53	3480.02	4590.54	644.11	3564.70	4208.81	357.76	3772.79	4130.56
EC_10	807.96	3999.91	4807.87	417.64	4365.02	4782.65	210.53	4688.42	4898.95
EC_11	829.64	3965.55	4795.19	432.00	4316.56	4748.57	217.87	4635.37	4853.23
EC_12	866.46	3922.84	4789.31	460.25	4257.24	4717.49	234.20	4568.39	4802.59

Tabla 8 - Consumo de energía en San Juan para espumas cementicias conPCM como aislante en el interior

SAN JUAN - CONFIGURACIÓN 1

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	235.46	3694.33	3929.79	94.42	4099.79	4194.21	23.67	4699.50	4723.17
LV	235.46	3694.33	3929.79	94.42	4099.79	4194.21	23.67	4699.50	4723.17
PE	110.94	4028.37	4139.31	39.41	4476.28	4515.69	11.56	5021.07	5032.63

Tabla 9 - Consumo de energía en San Juan para el resto de los aislantes en el exterior

SAN JUAN - CONFIGURACIÓN 2

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	599.49	4497.88	5097.36	401.52	4894.62	5296.15	224.98	5398.23	5623.22
LV	599.49	4497.88	5097.36	401.52	4894.62	5296.15	224.98	5398.23	5623.22
PE	429.80	4829.71	5259.51	280.20	5217.70	5497.90	161.42	5650.96	5812.38

Tabla 10 - Consumo de energía en San Juan para el resto de los aislantes en el interior

Ushuaia:

USHUAIA - CONFIGURACIÓN 1 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	10895.92	1.02	10896.94	9590.57	0.48	9591.04	8313.94	0.47	8314.41
EC_2	11006.79	0.94	11007.73	9763.14	0.41	9763.55	8528.15	0.39	8528.55
EC_3	11160.41	0.91	11161.32	10005.04	0.35	10005.39	8832.08	0.32	8832.40
EC_4	9777.66	2.73	9780.39	8000.60	2.61	8003.21	6490.15	3.78	6493.92
EC_5	9934.41	2.61	9937.02	8206.90	2.33	8209.23	6709.47	3.26	6712.73
EC_6	10155.29	2.53	10157.83	8505.13	2.05	8507.18	7033.01	2.71	7035.72
EC_7	8789.04	3.89	8792.93	6796.82	5.06	6801.88	5290.95	9.15	5300.10
EC_8	8955.92	3.71	8959.63	6989.12	4.61	6993.74	5473.33	8.02	5481.35
EC_9	9196.89	3.55	9200.44	9590.57	0.48	5749.49	5749.49	6.69	5756.18
EC_10	6896.84	7.63	6904.47	4885.39	16.08	3649.25	3649.25	33.21	3682.46
EC_11	7041.20	7.27	7048.47	5015.94	14.80	3751.64	3751.64	30.60	3782.24
EC_12	7258.52	6.82	7265.34	5217.534	13.17399	5230.71	3912.63	27.18	3939.81

Tabla 11 - Consumo de energía en Ushuaia para espumas cementicias con PCM en el interior

USHUAIA - CONFIGURACIÓN 2 - AISLANTE: ESPUMA CEMENTICIA CON PCM

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EC_1	10922.58	1.69	10924.27	9606.68	0.55	9607.24	8329.70	0.47	8330.16
EC_2	11025.90	1.37	11027.27	9772.38	0.40	9772.78	8537.29	0.30	8537.58
EC_3	11172.54	1.17	11173.72	10006.61	0.27	10006.88	8834.32	0.19	8834.51
EC_4	9924.02	9.11	9933.13	8128.02	8.01	8136.03	6604.93	9.86	6614.79
EC_5	10070.75	8.37	10079.12	8324.22	6.94	8331.17	6815.20	8.24	6823.44
EC_6	10281.72	7.74	10289.46	8612.83	6.01	8618.84	7129.42	6.66	7136.08
EC_7	9010.35	15.91	9026.26	7003.24	19.77	7023.01	5475.18	30.96	5506.14
EC_8	9167.19	14.78	9181.97	7185.40	17.31	7202.70	5648.40	26.33	5674.73
EC_9	11172.54	1.17	11173.72	7461.84	15.09	7476.93	5915.89	21.48	5937.37
EC_10	7252.68	49.59	7302.27	5251.04	97.87	5348.91	3980.16	148.98	4129.14
EC_11	7389.41	45.94	7435.35	5373.78	89.72	5463.50	4075.58	137.44	4213.02
EC_12	7597.79	41.60	7639.39	5568.77	80.57	5649.34	4231.79	124.12	4355.91

Tabla 12 - Consumo de energía en Ushuaia para espumas cementicias con PCM en el exterior

USHUAIA - CONFIGURACIÓN 1

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	5256.58	15.79	5272.37	3957.87	33.39	3991.26	2694.28	85.09	2779.37
LV	5256.58	15.79	5272.37	3957.87	33.39	3991.26	2694.28	85.09	2779.37
PE	4150.52	29.58	4180.10	3104.49	61.16	3165.66	2189.88	133.23	2323.11

Tabla 13 - Consumo de energía en Ushuaia para el resto de los aislantes en el interior

USHUAIA - CONFIGURACIÓN 2

Material	3 cm			6 cm			10 cm		
	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total	Energía Calefac.	Energía Refrig.	Energía Total
EPS	5721.86	131.09	5852.95	4467.33	233.20	4700.53	870.20	1740.65	2610.85
LV	5721.86	131.09	5852.95	4467.33	233.20	4700.53	870.20	1740.65	2610.85
PE	4654.85	214.25	4869.10	3626.90	343.01	3969.92	2695.77	532.64	3228.41

Tabla 14 - Consumo de energía en Ushuaia para el resto de los aislantes en el exterior

A partir de los resultados obtenidos podemos observar la variabilidad en el consumo de energía para los distintos modelo y climas. Se puede ver que resultan apropiadas el uso de espumas cementicias en todos los climas, siendo la diferencia fundamental de diseño el espesor y la posición en el paquete constructivo, esto se debe a la temperatura de cambio de fase de la espuma resultante. Debido a que la diferencia en consumo de energía en algunos casos es pequeña, podemos concluir que es necesario ampliar la combinación de materiales para buscar la óptima en cada caso e incorporar estudios de impacto ambiental como la generación de CO2 tanto en la fabricación del material como en el uso como aislante en el edificio.

Conclusiones

Este trabajo analizó distintos tipos de espumas cementicias y aislantes de uso masivos en Argentina para tres tipologías muy distintas de clima: Sauce Viejo, San Juan y Ushuaia. Los resultados muestran que el consumo de energía varía en función de las características de los materiales, en particular para las espumas cementicias con PCM incorporado, de los componentes de las mismas, de la posición en el paquete constructivo y en el espesor de los mismo. También se pudo apreciar, que en algunos casos la diferencia de consumo de energía es pequeña entre los distintos modelos, por lo que es necesario incorporar estudios de impacto ambiental y análisis de ciclo de vida a los materiales tanto en la etapa constructiva como en el uso en las edificaciones. Esto define trabajos a futuro que incorporen estos tipos de estudios, formulación de programas de optimización y diseño de mezclas para lograr maximizar la eficiencia energética en las edificaciones.

Referencias bibliográficas

- [1] IEA (2022), Building Envelopes, IEA, París <https://www.iea.org/reports/building-envelopes>, Licencia: CC BY 4.0.
- [2] <https://nrg-storage.eu/>
- [3] ANSI/ASHRAE Standard 140-2017
- [4] ASHRAE Guideline 14-2014. Measurement of Energy, Demand, and Water Savings.
- [5] ASHRAE HANDBOOK – FUNDAMENTALS – 2021
- [6] Auxiliary Programs – EnergyPlus V.22.0
- [7] Input Output Reference – EnergyPlus V.22.0
- [8] Fachinotti, V., Peralta, I., Toro, S., Storti, B., Caggiano, A.: Automatic generation of high-fidelity representative volume elements and computational homogenization for the determination of thermal conductivity in foamed concretes. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4286262>, 2022.

[9] Ma. Cecilia Demarchi, Victor D. Fachinotti, “Simulación del desempeño térmico de edificios con materiales con cambio de fase en su envolvente”, Congreso Argentino de Mecánica Computacional 2022.

[10] <https://climate.onebuilding.org/>