



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA PARA ESCUELAS  
MODULARES DE LA SCEE  
ESTUDIO DE TRES CASOS EN LA ARAUCANÍA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR: CARLA VALENZUELA CAMPOS**

**PROFESOR GUÍA: RODRIGO GARCÍA ALVARADO**

**CONCEPCION, 30 de JULIO de 2018**

*A mi esposo por apoyarme y aconsejarme incondicionalmente*

## Resumen

Este estudio presenta una estrategia de rehabilitación energética, con soluciones constructivas para la envolvente que sean factibles de implementar con recursos públicos, destinados a mejorar el confort térmico de las escuelas industrializadas ejecutadas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos en las zonas rurales del sur de Chile, que actualmente se encuentran deterioradas y con malas condiciones ambientales, siendo las inversiones para mejorar su infraestructura limitadas producto de su baja matrícula.

Se estudian tres escuelas rurales de La Araucanía, registrando las condiciones constructivas y gastos en servicios para realizar las simulaciones base determinando rangos de confort térmico. Posteriormente se aplicaron al modelo de simulación, un repertorio de soluciones constructivas enmarcadas en líneas de financiamiento públicas, extrayendo resultados de demanda y confort térmico.

Los resultados advierten que las escuelas más recuperables mediante la rehabilitación de la envolvente son las ubicadas en la zona sur litoral, aumentando su tiempo en confort y con demandas en calefacción equivalentes a lo que se financia actualmente. Planteando de este modo una estrategia de mejoramiento factible mediante soluciones específicas y adaptables al sistema modular de edificación industrializada. Esta investigación permite orientar a los equipos técnicos formuladores de iniciativas de rehabilitación para las escuelas, permitiendo estimar propuestas de soluciones más eficientes con costos accesibles y que pueden ser replicables en otras regiones.

**Palabras claves:** Rehabilitación energética; Confort térmico; Escuelas; SCEE; Simulación

## Abstract

This study presents a strategy of energy rehabilitation, with constructive solutions for the envelope that are feasible to implement with public resources, aimed at improving the thermal comfort of the industrialized schools executed by the SCEE in rural areas of southern Chile, which is currently they find themselves deteriorated and with bad environmental conditions, being the investments to improve their infrastructure limited as a result of their low enrollment. Three rural

schools of the Araucanía are studied, registering the constructive conditions and expenses in services to perform the base simulations, determining thermal comfort ranges. Subsequently, a repertoire of constructive solutions framed in public financing lines was applied to the simulation model, extracting results of demand and thermal comfort. The results warn that the most recoverable schools through the rehabilitation of the envelope are those located in the south coastal area, increasing their time in comfort and with heating demands equivalent to what is currently financed. Then, it proposes a strategy for feasible recovery with specific solutions proper to the modular building system. The research can guides the technical teams that formulate rehabilitation initiatives for schools, making it possible to estimate proposals for more efficient solutions with accessible costs and which can be replicated in other regions.

**Keywords:** Energy rehabilitation; Thermal comfort; Schools; SCEE; Simulation.

## Índice

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Hipótesis .....	4
1.4 Metodología .....	4
Capítulo 2. Arquitectura Escolar y Confort Térmico .....	6
2.1 Arquitectura escolar pública en Chile .....	6
2.2 Escuelas industrializadas SCEE-Chile .....	7
2.3 Confort térmico en aulas escolares.....	9
2.4 Rehabilitación en edificios escolares .....	12
2.5 Experiencia de rehabilitación en escuelas .....	13
Capítulo 3. Casos de Estudio Escuela Rurales en La Araucanía .....	15
3.1 Selección casos de estudio .....	15
3.2 Descripción análisis a desarrollar por cada caso de estudio.....	16
3.2.1 Escuela Chaychayen, zona climática sur litoral (6SL) .....	19
3.2.2 Escuela Rayen Mahuida, zona climática sur interior (7SI) .....	28
3.2.3 Escuela Ramón Ramírez, zona climática andina (9An).....	38
3.3 Resumen análisis casos de estudios.....	49
Capítulo 4. Propuestas de Rehabilitación en Envolverte .....	51
4.1 Líneas de financiamiento públicas para escuelas en Chile .....	51
4.2 Propuestas de rehabilitación en envolvente por caso de estudio.....	53
4.2.1 Rehabilitación envolvente Escuela Chaychayen .....	54
4.2.2 Rehabilitación envolvente Escuela Rayen Mahuida.....	66
4.2.3 Rehabilitación envolvente Escuela Ramón Ramírez .....	81
Conclusiones .....	102

Referencias bibliográficas.....	104
Anexos.....	107
Anexo 1: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Chaychayen .....	107
Anexo 2: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Chaychayen.....	107
Anexo 3: Imagen modelo simulación Escuela Chaychayen.....	108
Anexo 4: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Rayen Mahuida ..	108
Anexo 6: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Rayen Mahuida.....	109
Anexo 7: Imagen modelo simulación Escuela Rayen Mahuida .....	109
Anexo 8: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Ramón Ramírez..	109
Anexo 8: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Ramón Ramírez .....	110
Anexo 9: Imagen modelo simulación Escuela Ramón Ramírez.....	110

## **Capítulo 1. Introducción**

En Chile los edificios escolares entre los años 1937 y 1987 fueron diseñados y construidos por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos (SCEE), un organismo técnico y autónomo responsable de ejecutar los planes de edificación escolar que vendrían a resolver el déficit de infraestructura educacional. Los edificios construidos por la SCEE consideraron distintos sistemas constructivos, sin embargo, existe uno denominado MC 606, que consiste en un sistema industrializado de marcos metálicos, que fue repetido a lo largo de todo el país y que destacó por ser un sistema que combinaba estructura, parámetros e instalaciones, levantando un centenar de escuelas lo que significó poder ampliar la cobertura educacional tanto en zonas rurales como urbanas durante un corto tiempo.

En la actualidad aún existen estos edificios escolares a lo largo y ancho de todo el país, pero producto de los escasos recursos públicos para el mantenimiento de la infraestructura y su baja matrícula, se encuentran altamente deteriorados, presentando deficientes condiciones ambientales. Estas condiciones fueron analizadas en diversos estudios, como el post ocupacional desarrollado por Armijo el año 2011 en donde destacó los problemas comunes que tienen las escuelas públicas evaluando la temperatura del aire, niveles de ruido, iluminación natural y artificial y los niveles de dióxido de carbono, concluyendo que los principales problemas de las escuelas en todo Chile son la contaminación acústica, la mala calidad del aire interior, incomodidad térmica y poca iluminación. En el estudio desarrollado por Molina el año 2012, en donde monitorizó 10 edificios públicos en distintas regiones de los cuales 4 correspondieron a escuelas, evaluando durante el verano y el invierno. Las escuelas presentaron condiciones térmicas insuficientes estando fuera de las normas y referencias internacionales, no lográndose el confort de los usuarios debido a las bajas temperaturas interiores. Trebilcock el año 2015 analizó 11 edificios escolares en tres zonas climáticas diferentes y de diversos niveles socioeconómicos. Las mediciones se realizaron tanto en invierno como en verano y también se aplicaron cuestionarios a los estudiantes. Los resultados arrojaron que existe una relación entre el nivel socioeconómico de los estudiantes y las temperaturas de confort, dado que los niños que provienen de sectores más vulnerables se adaptan a temperaturas más bajas y que las normas de confort térmico actuales no son adecuadas para el caso de los estudiantes ya que estos se sienten confortables a temperaturas más bajas.

Estos estudios dieron el paso al desarrollo de manuales de diseño para nuevos edificios escolares públicos, como la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (2012) desarrollado por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos (2012) desarrollado por CITEC UBB y los Términos de Referencia Estandarizados (2015) de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas. En estos tres documentos principalmente se dan recomendaciones de estrategias de diseño pasivo para edificaciones nuevas por cada zona climática de la NCh 1079 con el objeto de mejorar el desempeño energético y ambiental de los edificios, proponiendo valores de transmitancia térmica para la envolvente, porcentaje de aperturas, orientaciones, tipo de agrupamiento, infiltraciones, estrategias de ventilación natural, estrategias de calentamiento y enfriamiento pasivo, estrategias de iluminación y estrategias de diseño acústico.

Es importante destacar que las inversiones de reposición de edificios escolares en Chile están acotadas a un número de establecimientos que cumpla con los requisitos establecidos por el Sistema Nacional de Inversiones, en donde la matrícula juega un rol fundamental, no logrando optar a la reposición cuando una escuela posee una baja matrícula, por lo que el proyecto tendría una baja rentabilidad social, siendo una inversión riesgosa para el estado. Es así como parte de los edificios escolares construidos por la SCEE se han demolido y construido nuevos edificios, los que en la actualidad se diseñan en base a los manuales antes indicados.

La problemática actual es que existe una serie de establecimientos de baja matrícula que principalmente corresponden a escuelas rurales, que solo pueden optar a proyectos de rehabilitación y en muy pocos casos de reposición. Cabe destacar que del parque edificado de edificios escolares en Chile un 54% corresponde a escuelas rurales, por lo anterior, es un número considerable de escuelas a lo largo del país, que solo se podrían rehabilitar para mejorar sus condiciones de habitabilidad. En los edificios escolares el confort térmico toma una relevancia mayor dado que puede influenciar positiva o negativamente en los aprendizajes de los estudiantes en las aulas y en el desempeño de los docentes, es por esto por lo que es de suma importancia que las aulas brinden un ambiente confortable.

En la actualidad no existen documentos que aporten ideas sobre como rehabilitar un edificio escolar, y dar orientaciones a los equipos técnicos municipales, quienes carecen de capacidades

especializadas para determinar que tipo de rehabilitación sería la más adecuada de acuerdo con la zona climática de la escuela y la inversión pública que se podría optar.

Por lo anterior este estudio se centra principalmente en probar que la estrategia de rehabilitación en la envolvente de las escuelas rurales en La Araucanía emplazadas en distintas zonas climáticas, mejora considerablemente el tiempo de ocupación en confort al interior de las aulas para que los aprendizajes se desarrollen en ambientes más adecuados, con soluciones constructivas enmarcadas en presupuestos a los cuales este tipo de escuelas puede optar con inversión pública, por su tamaño y matrícula, enfocado en las escuelas metálicas MC 606, dado que por su sistema constructivo, al tener independiente la estructura de la envolvente son factibles constructivamente de rehabilitar. Es entonces como se obtiene un repertorio de soluciones constructivas las que darán orientaciones a los equipos técnicos municipales, sobre que iniciativa de rehabilitación desarrollar y postular a los diversos fondos públicos disponibles, optimizando el tiempo de desarrollo del proyecto de los profesionales, cumpliendo con los plazos que establece el estado para postular las iniciativas y de paso poner en valor este tipo de edificios escolares construidos por la SCEE dado que son una parte importante de la historia de la Arquitectura Chilena del siglo veinte.

### **1.1 Objetivo general**

Proponer una estrategia de rehabilitación constructiva que mejore el tiempo en confort térmico de las aulas, que sean factibles de financiar e implementar para orientar a los futuros proyectista de las intervenciones en las escuelas rurales industrializadas de la zona sur de Chile, experimentada mediante el análisis de soluciones para tres casos de distintas zonas climáticas en La Araucanía.

### **1.2 Objetivos específicos**

Diagnosticar energéticamente tres casos de estudio de escuelas rurales industrializadas de distintas zonas climática en La Araucanía, en el ámbito de iluminación, artefactos electrónicos y calefacción para cuantificar y valorizar su consumo energético durante el año 2017.

Determinar la demanda teórica por concepto de calefacción en cada caso de estudio de escuelas rurales industrializadas en La Araucanía para definir el porcentaje del tiempo de ocupación en donde las aulas se encuentra en confort térmico relacionándolo con el consumo en calefacción actual.

Establecer soluciones constructivas de rehabilitación energética que sean factibles de financiar e implementar para cada caso de estudio de escuelas rurales industrializadas en La Araucanía para aumentar el porcentaje del tiempo de ocupación del edificio en confort térmico manteniendo los consumos en calefacción actuales.

### **1.3 Hipótesis**

Algunas soluciones constructivas en escuelas rurales industrializadas de La Araucanía permiten mejorar el confort térmico al interior de las aulas cerca de un 50% del tiempo de ocupación en relación con el tiempo de confort actual manteniendo sus bajos consumos energéticos

### **1.4 Metodología**

Para responder a los objetivos de la investigación, la metodología se divide en:

#### ***Selección casos de estudios***

La investigación se plantea desde un punto de vista arquitectónico-histórico por lo que los casos de estudios a analizar corresponden a escuelas construidas por la SCEE, en la etapa de industrialización período 1960-1987, en estructura metálica MC 606. En los casos de estudios deberá corresponder su emplazamiento a cada zona climática presente en la región de acuerdo con NCh 1079 (Andina-Sur Interior-Sur Litoral). A la vez este tipo de arquitectura tiene diversos tipos de ordenamiento, por lo que los casos escogidos corresponden a 3 tipos de ordenamiento distintos, distintas superficies y distinta cantidad de matrícula.

#### ***Diagnóstico energético de casos de estudios en base a consumos actuales***

Se realizan visitas a terreno en cada caso de estudio para levantar información respecto a los consumos energéticos del edificio (iluminación, artefactos electrónicos y calefacción), accediendo a facturas del año 2017. No se considera ACS dado que solo cuenta en la cocina, gasto que no es

asumido por el sostenedor con la finalidad de definir el consumo actual de las escuelas y los costos asociados a estos consumos. También se realizarán entrevistas a los directores y trabajadores para identificar el uso, horario y funcionamiento. Se realiza un análisis visual de la envolvente y su estado.

### ***Análisis energético casos de estudio***

Se realizará a través del programa de simulación “Design Builder”, el cual permite crear un modelo computacional con los datos recogidos en la visita a terreno, para identificar la demanda de cada caso de estudio en su estado real construido, consumos y confort térmico. Para evaluar el confort térmico se utiliza la fórmula de confort adaptativo para cada zona climática, analizando invierno y verano, determinando el porcentaje del tiempo en confort para cada estación. Se utiliza la escala de categoría de confort térmico del estudio “Desempeño ambiental de escuelas en zonas de sensibilidad cultural” de Maurenn Trebilcock.

### ***Análisis energético rehabilitación envolvente***

Se propone rehabilitar la envolvente de cada escuela con presupuestos enmarcados en las líneas de financiamiento públicas a las cuales puede optar cada uno de los establecimientos en estudio. Las soluciones constructivas son modulares adaptables al sistema constructivo de cada escuela y van desde los 60 millones hasta las 5000 UTM.

Se simula cada solución constructiva extrayendo los datos de confort térmico, demanda en calefacción y refrigeración, analizando el aula orientada hacia el norte de cada establecimiento. Con esto se logra identificar cual solución constructiva es la que mejora el tiempo en confort y tiene un a menor inversión.

## Capítulo 2. Arquitectura Escolar y Confort Térmico

La importancia de proporcionar condiciones térmicas confortables en los edificios escolares debe ser el rol fundamental de su diseño, dado que la incomodidad térmica en estos edificios puede provocar que los aprendizajes no se logren como se esperan.

Los estudios realizados han ayudado a desarrollar pautas de diseño para la construcción de nuevos edificios escolares, sin embargo, las escuelas que aún no han sido posible de reponer presentan problemas ambientales los cuales se pueden abordar con estrategia de rehabilitación.

### 2.1 Arquitectura escolar pública en Chile

Chile desde su inicio como república a tenido un énfasis especial en la educación, a mediados del siglo XIX el país contaba con 571 establecimientos en todo el país, sin embargo, esta infraestructura era insuficiente para responder a la demanda educacional.

En 1888 se crea la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Industria de Obras Públicas, los que desarrollan planos tipo para escuelas y edificios de carácter monumental como se muestra en figura 1. La arquitectura de estos edificios escolares monumentales es una organización en base a un patio central, marcando su tendencia a cerrarse con el exterior, como los conventos y cuarteles.



Figura 1. Liceo Técnico de Temuco 1905. Fuente: propia

En 1937 se crea la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos SCEE, responsable de ejecutar los planes de edificación escolar, pues el déficit en infraestructura continuaba. La labor de la SCEE se divide en dos períodos el primero comprendido entre 1937-1965 con edificios de diseño formal, volúmenes macizos, con espesores de muros de entre 30 y 40 cm, construidos principalmente con albañilería de ladrillo reforzada con pilares o albañilería de bloques de cemento, como se muestra en figura 2. Las ejecuciones de las obras eran muy lentas, por lo que no se lograba los plazos y metas establecidas en las planificaciones anuales. El segundo período comprendido entre 1965 y 1987 está marcado por la masificación y la estandarización de las nuevas construcciones, en donde aparece como nuevo material de construcción el acero, lo que dio pie a sistemas prefabricados con los que se logra mayor rapidez en la ejecución de los proyectos y conseguir las metas de las planificaciones anuales, logrando la cobertura educacional esperada. La SCEE durante sus 50 años de labor levanto 5.739 establecimientos con una superficie total de 3.836.799 m<sup>2</sup>, estos edificios fueron escuelas primarias, liceos de educación secundaria y técnica, escuelas normales, universidad y también centros de perfeccionamiento, experimentación e investigaciones pedagógicas.



**Figura 2. Escuela Anexa de Niñas, Temuco 1942. Fuente: propia**

## **2.2 Escuelas industrializadas SCEE-Chile**

En 1965 surge la Reforma Educacional Chilena, la que logró la universalización de la educación básica. Por lo anterior el presidente de la época dispuso que se estableciera un nuevo Plan Nacional de construcción de edificios escolares. Es entonces que se comienza a experimentar con

diseños prefabricados. El edificio escolar que más se repite a lo largo del país corresponde a las escuelas construidas en el segundo período de la SCEE 1965-1987, en donde se empleó el procedimiento de prefabricación, el cual fue desarrollado en Europa en los procesos de reconstrucción durante la post guerra.

Sólo se pudo implementar en Chile en la década del 60, por que el país es en estos años en donde cuenta con recursos materiales industrializados y mano de obra calificada.

Por lo anterior se pudo implementar sistemas de estructuras metálicas en los edificios escolares, los que están constituidas por sistemas de marcos rígidos de planchas de fierro doblada de 4 mm de espesor a dos aguas distanciados a 3m, como se muestra en figura 3 y figura 4.

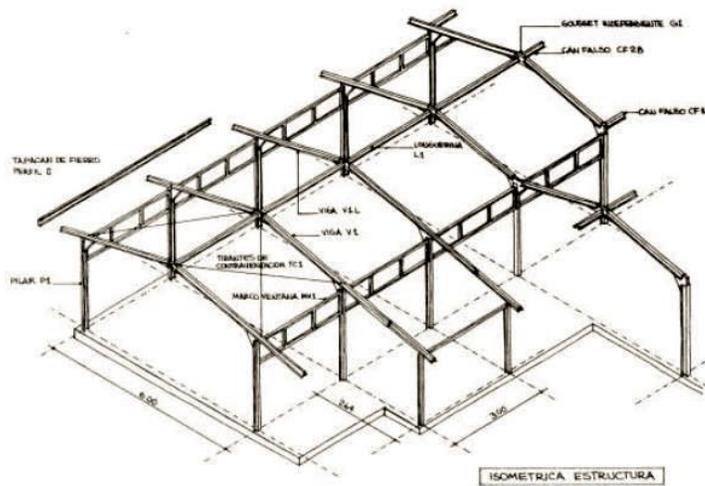


Figura 3. Isométrica estructura sistema tipo 606. Fuente: SCEE 50 años de labor 1937-1987

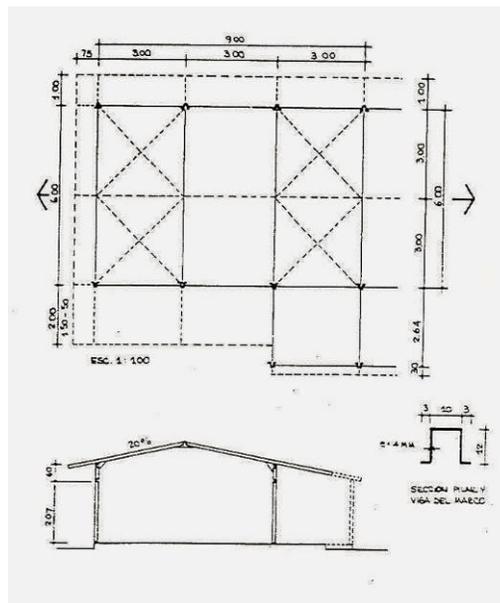


Figura 4. Planta y corte sistema metálico 606. Fuente: SCEE 50 años de labor 1937-1987

Su agrupamiento es unidireccional en módulos de 3x6, sobre fundaciones de hormigón armado, con arriostramientos longitudinal el que permite una viga tipo marco que rigidiza el espacio para las ventanas superiores. Todos los elementos estructurales de unen mediante pernos. Se incluyen tirantes diagonales en la estructura de la techumbre para evitar las deformaciones. Las cubiertas eran principalmente de asbesto cemento o de acero galvanizado. Los cerramientos eran de albañilería o madera, dependiendo de cual material era más predominante en la zona de emplazamiento del edificio escolar y las ventanas de fierro, se puede apreciar este sistema constructivo en la figura 5.



**Figura 5. Escuela Especial Ñielol, Temuco 1969. Fuente: propia**

La aplicación de esta tipología constructiva fue aplicada en jardines infantiles, escuelas básicas y liceos, emplazadas en áreas rurales y urbanas a lo largo de todo el país.

Al desarrollar esta tipología más otras con hormigón, se estandarizaron y tipificaron los edificios escolares, por lo que fue posible resolver en poco tiempo y a bajo costo la demanda por escolarización, lo que permitió aumentar la superficie construida de edificios escolares en el período de 1965-1987 mucho más que desde el inicio del período de construcción de la SCEE, llegando a construir este período alrededor de 4845 locales con una superficie total de construcción 2.452.446 m<sup>2</sup>.

### **2.3 Confort térmico en aulas escolares**

De acuerdo con la definición indicada en ASHRAE 55 y UNE-ISO 7730 el confort térmico es el “estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”, este estado se ve

representado en una zona de confort en donde las personas se sienten a gusto. Esta definición toma más peso cuando pensamos en que en las aulas escolares los niños asisten a aprender y que estos deben estar apropiados para que los aprendizajes se lleven a cabo.

Existe consenso entre los investigadores (Mendel y Heath 2004, Schneider 2002, Earthman y Lemasters 1996) en donde señalan claramente que existe una serie de factores ambientales: confort térmico, iluminación, ventilación y ruido, los que influyen directamente en el desempeño académico y la salud de los estudiantes.

Los estudios desarrollados en nuestro país (Armijo 2011, San Juan 2014 y Trebilcock 2015) en donde se han realizado mediciones objetivas y subjetivas en escuelas públicas de distintas zonas climáticas y distintos años de construcción de los edificios, los resultados de los tres estudios arrojan lo mismo; los estudiantes están desarrollando sus aprendizajes en ambientes muy fríos o calurosos. Se registraron temperaturas inferiores a los 8°C en invierno, siendo las escuelas insuficientes en sus condiciones térmicas dado que la gran mayoría no posee aislación, lo que las hace insuficientes como edificios escolares y no clasifican en ninguna normativa internacional. Se ha concluido que los estudiantes en Chile están acostumbrados a temperaturas bajas, siendo una tremenda desventaja el aprender en estas condiciones de discomfort.

Esto se ve acrecentado con que los sistemas de climatización utilizados en la mayoría de las escuelas son deficientes y que por un tema de recursos no son utilizados. Cabe mencionar que las escuelas en Chile son mantenidas por una subvención la cual está directamente relacionada con su matrícula, lo que se transforma en precarias mantenciones de los sistemas de climatización y del edificio en general.

El tema del discomfort en las aulas escolares también se ve aumentado porque en nuestro país no existe una regulación en las propiedades térmicas de la envolvente para edificios escolares y los requerimientos de temperaturas mínimas exigidos en el Decreto Supremo N°548 del Mineduc, están asociados solo a los recintos docentes y en algunas zonas climáticas del país.

**Tabla 1: confort térmico y propiedades de la envolvente. Fuente: Guía de EE para establecimientos educacionales AChEE**

	CHILE	PERÚ	EE.UU	INGLATERRA	
	Decreto Supremo N°548	Ministerio de educación 2006	ASHRAE 55-2010	Building regulation part L2	Building bulletin 87
Temperatura operativa recomendable	Aulas mín 12°C Parvularia 15°C (en zonas SL, SI, SE y Andina)	18°-25°C (HR=50%)	Según PMV y modelo adaptativo	N/A	Invierno aulas 18°C con calefacción Verano aulas 24°C ±4° y no superar 28°C por más de 80hr
Transmitancia térmica de la envolvente	N/A	N/A	N/A	BR Part L2 U muros= 0,25 U techos = 0,35	N/A

Si revisamos las normativas internacionales, nos damos cuenta de que la normativa chilena es limitada, cuando las escuelas tienen un rol fundamental en el desarrollo de un país. En la tabla 1 se realiza una comparación de las normativas internacionales.

El estado ha financiado parte de los estudios realizados en el país, con la finalidad de poder establecer nuevos criterios de diseño para los nuevos edificios escolares y que estos finalmente sean de calidad. Un edificio escolar debe facilitar el aprendizaje y brindar ambientes confortables con el mínimo consumo de energía.

El tema del confort térmico en edificios escolares ha tomado relevancia los últimos 5 años, junto con la mayor conciencia del gasto energético que generan estos edificios en el mundo, dado que en la gran mayoría de los países europeos los edificios escolares poseen sistemas de climatización lo que genera un alto consumo. Zomorodian el año 2016 publica un artículo en donde realiza el análisis de los estudios de campo que se han realizado de confort térmico en edificios escolares publicados entre los años 1969-2015, de un total de 48 artículos y actas de congresos internacionales de estudios desarrollados en los cinco continentes, principalmente en Asia y Europa y con distintos enfoques de confort térmico. Como conclusiones generales se consideraron inapropiados los estándares establecidos en ISO 7730, EN 15251 y ASHRAE estándar 55, dado que estos se elaboraron en base de estudios de adultos y los niños tienen a sentirse cómodos en ambientes más fríos y que son más sensibles a las temperaturas cálidas, por lo anterior el buen

diseño de un edificio escolar debe concentrarse como preocupación principal en el bienestar térmico de sus habitantes y que las medidas de ahorro energético en las aulas deben aplicarse sin interferir en el confort térmico.

#### **2.4 Rehabilitación en edificios escolares**

En los tres estudios desarrollados en nuestro país, los investigadores declaran que la envolvente térmica de los edificios escolares es precaria, repitiéndose esta situación a lo largo del país.

El censo de infraestructura escolar realizado entre 2012-2013 evaluó como indicador el estado de los edificios en porcentaje de deterioro, en donde los edificios más antiguos presentaban más porcentajes producto de su deficiente envolvente y escasa mantención. La gran mayoría de estos establecimientos deteriorados corresponde a escuelas rurales.

En el país año tras año se están construyendo nuevos edificios escolares, producto de la implementación de la reforma escolar, sin embargo, el número de edificios nuevos se ve acotado a un tema financiero, contando aún en nuestro país con edificios escolares construidos a principios durante el siglo XX.

Adicionalmente el Sistema nacional de inversiones permite financiar obras en establecimientos que cumplen con una serie de requisitos, siendo el más importante la cantidad de beneficiarios, es aquí en donde las escuelas rurales, se ven marginadas en la reposición de su establecimiento, dado que poseen poca matrícula.

Expuesto lo anterior, se ve como alternativa para mejorar el bienestar de los estudiantes en las aulas, principalmente el confort, el “rehabilitar” el parque edificado de escuelas, enfocando las acciones en mejorar su envolvente, de acuerdo con su zona climática.

Los edificios tienen una historia y fueron construidos y diseñados para resolver la problemática existente en la época que fueron construidos y los problemas o deficiencias que tengan no debe significar su demolición y fin de la vida útil de este, un edificio nuevo puede ser muy eficiente y confortable, pero es mucho menos sostenible que reacondicionar un edificio ya existente.

## 2.5 Experiencia de rehabilitación en escuelas

El tema de la rehabilitación para edificios escolares es aún incipiente en nuestro país, dado que el estado ha priorizado hace décadas, mejorar temas sanitarios, ampliar la cobertura del nivel parvulario, no desarrollando planes para rehabilitar los edificios escolares.

Producto del sismo del 27F varios edificios escolares de la zona central resultaron con daños. Estos corresponden a un período de construcción de principio del siglo XX, edificios macizos con una carga histórica importante, ante lo cual, el estado invirtió en proyectos de conservación para reparar los daños y de paso rehabilitarlos. En los proyectos se consideraron conceptos de eficiencia energética, renovando todos los sistemas de iluminación por equipos eficientes y lo mismo con los sistemas de climatización.

Un ejemplo es el Liceo Bicentenario Oscar Castro Zúñiga de la comuna de Rancagua, en donde para lograr un mayor confort y calidad ambiental en sus espacios de contemplo una fachada doble con vegetación en cara norte, cumpliendo un rol de atenuador térmico y acústico, también se incorporaron aislantes en las fachadas y vidrio dobles para controlar las fugas térmicas, como se muestra en figura 6.



**Figura 6. Liceo Bicentenario Oscar Zúñiga (2013). Fuente: La reconstrucción en Educación 27/F Mineduc**

En el Liceo Abate Molina en la comuna de Talca, se instaló un revestimiento sobre puesto en la fachada norte, como se muestra en figura 7, lo que permitió crear una cámara ventilada, la cual controla el sobrecalentamiento de los muros, mejorando las condiciones térmicas de las aulas y controlando la luminosidad. Para mantener la homogeneidad en la envolvente se instaló la

aislación por el interior de las aulas, lo que sumado a los vidrios termopalenes, reduce la pérdida de calor y mejora la acústica de los recintos.



**Figura 7. Liceo Abate Molina (2013). Fuente: La reconstrucción en Educación 27/F Mineduc**

### **Capítulo 3. Casos de Estudio Escuela Rurales en La Araucanía**

Se analizan tres escuelas rurales, con baja matrícula correspondientes a la tipología de escuela metálica MC 606, construidas por la SCEE-Chile, describiendo su zona climática, arquitectura del edificio, envolvente, horario de ocupación, sistemas de calefacción, tipo de iluminación y artefactos electrónicos utilizados.

Se realiza un diagnóstico energético cuantificando y valorizando sus consumos durante el año 2017, para dar paso a la simulación térmica dinámica del caso base, evaluando el confort térmico actual de los recintos docentes de cada caso de estudio.

#### **3.1 Selección casos de estudio**

Las escuelas seleccionadas corresponden a la tipología de escuelas metálicas MC 606, construidas por la SCEE-Chile durante los años 1965-1987.

Este sistema constructivo de escuela se repitió a lo largo de todo el país, utilizando la misma envolvente en distintas zonas climáticas.

Por lo anterior se escogieron escuelas que estuvieran poco intervenidas constructivamente, sin ampliaciones o modificaciones en su envolvente, en el mismo estado original de su construcción. También la selección se realizó en base a aquellas escuelas de las cuales se podría obtener el levantamiento arquitectónico y tener acceso a las facturas de sus consumos energéticos.

Los emplazamientos corresponden a zonas rurales en la región de La Araucanía, de acuerdo con cada zona climática de la NCh 1079 presente en la región: Andina, Sur Interior, Sur Litoral. Las escuelas seleccionadas y su emplazamiento se indican en figura 8.



Figura 8. Casos de estudio y ubicación geográfica en región de La Araucanía.

### 3.2 Descripción análisis a desarrollar por cada caso de estudio

Se realiza una visita a terreno por cada caso de estudio, en donde se verifica el tipo de sistema para calefacción utilizado, identificando la ubicación de estos equipos por recinto.

Se realizan entrevistas a las personas encargadas de la operación de los equipos de calefacción, para obtener un estimado del consumo energético mensual. Posteriormente en la entrevista con cada jefe de finanzas del departamento de educación se obtiene el costo del consumo energético

por concepto de calefacción del año 2017. Se tiene acceso a toda la información necesaria a través del sistema de mercado público. Para convertir los m<sup>3</sup> de leña a kWh, se utilizaron los siguientes datos:

- i) Se identifica el tipo de leña utilizada y su valor GJ/m<sup>3</sup>, de acuerdo con manual leñito disponible en [www.lena.cl](http://www.lena.cl), del cual se desprende la tabla 2.

**Tabla 2: Poder calorífico por tipo de leña. Fuente: [www.lena.cl](http://www.lena.cl)**

TIPO LEÑA	Espino	Eucalipto globulus	Mañío	Lenga	Canelo
	Luma	Aromo australiano	Eucalipto nitens	Lingue	Pino oregón
	Frutales	Ulmo	Coigue	Raulí	Pino insigne
	Trevo	Tineo	Roble	Tepa	
GJ/m <sup>3</sup>	8,6	5,5	5	4,5	4,5

- ii) 1 GJ/m<sup>3</sup> equivale a 277,7 kWh/m<sup>3</sup>

Se identifica visualmente su envolvente y el estado de esta, para poder obtener datos que permitan realizar la simulación térmica de cada escuela.

Con el apoyo de las fichas de la guía de autodiagnóstico de eficiencia energética para establecimiento educacionales de la AChEE, se identifica por recinto el tipo de iluminación y artefactos electrónicos presentes por escuela y con la entrevista realizada el jefe de finanzas se obtienen las facturas de luz del año 2017, identificando el consumo y costo energético por concepto de electricidad.

Con los datos ya definidos se realiza la simulación térmica dinámica de cada escuela en el programa Design Builder, el cual posee el motor de cálculo de Energyplus que es uno de los más confiables y reconocidos en el mundo. Se utilizando la base de datos climáticos de Meteonorm.

El programa permite comprobar cómo funcionan los elementos que componen el edificio y predecir que puede esperarse de cada solución constructiva propuesta, bajo una determinada característica climática. Como el estudio pretende evaluar el confort térmico de los recintos docentes, el programa posee las características óptimas para llevar a cabo esta investigación.

Para definir el rango de confort de cada escuela se utiliza el modelo de confort adaptativo de Szolokay,. La fórmula para definir el rango es:

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_m$$

Donde:  $T_n$ : temperatura neutral (°C)

$T_m$ : temperatura media del mes (°C)

$$T_{inf} = T_n - 2,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{sup} = T_n + 2,5^{\circ}\text{C}$$

El análisis de confort térmico se realiza para el mes de junio en invierno que corresponde al mes con promedio de temperatura más baja y que los alumnos se encuentran en clases durante todo el mes y el mes de marzo en verano, que corresponde al mes con las temperaturas promedio más altas y que los alumnos están en clases todo el mes.

Se analizan en total 180 horas de ocupación por cada mes, de lunes a viernes desde las 8:00 a 16:00 hrs. Se considera este horario que comienza con la llegada de los auxiliares que son los encargados de encender las estufas antes que los niños ingresen a clases que es a las 8.30. El término de la jornada es a las 15:40 hrs, sin embargo, el establecimiento permanece abierto hasta las 16:30 hrs, producto del aseo y orden que se realiza después de la jornada. Sin embargo, las estufas son apagadas entre las 15:00 y 16:00 hrs en las tres escuelas.

Se analiza por cada caso de estudio, los recintos con alta ocupación y que posea sistema de calefacción. Para los tres casos se analiza el aula orientada al norte y solo en el caso de la Escuela Ramón Ramírez se analizan dos recintos, un aula orientada al norte y otra hacia el sur. Lo que permite simular la misma aula en tres zonas climáticas distintas, con la misma envolvente y poder analizar su comportamiento térmico.

En la simulación de cada caso de estudio como caso base se obtiene el porcentaje del tiempo de ocupación que el recinto se encuentra en confort, clasificando su estado actual.

A continuación, se desarrolla el análisis por caso de estudio, en donde se exponen los resultados que son considerados como el caso base de esta investigación.

### 3.2.1 Escuela Chaychayen, zona climática sur litoral (6SL)

Fue construida durante el año 1974 su forma se puede apreciar en figura 9. Es una escuela pública administrada por el Departamento de Educación de Teodoro Schmidt, que posee nivel de enseñanza básica, emplazada en la localidad rural de Chaychayen, en un terreno aproximado de 10.000 m<sup>2</sup>.



Figura 9. Escuela Chaychayen, vista elevación sur

Chaychayen está ubicada en los 38° 58' latitud sur y 73° 3' longitud oeste a 15 msn, posee un clima cálido y templado, con una temperatura anual promedio de 12,7°C, registrándose las temperaturas más altas durante el mes de enero y julio el mes más frío, como se ve en tabla 3.

Tabla 3. Datos históricos del clima en Teodoro Schmidt. Fuente: climate-data.org

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media °C	17,2	17	15,2	12,8	10,6	9,2	8,8	9	10,3	12,1	13,9	15,8
Temperatura mínima °C	10,6	10,5	9,2	7,8	6,9	6,1	5,3	4,9	5,5	6,8	8,3	9,8
Temperatura máxima °C	23,9	23,5	21,3	17,8	14,4	12,4	12,4	13,2	15,1	17,5	19,5	21,8
Precipitación	52	45	87	142	234	274	253	248	129	90	80	70

El establecimiento está conformado por dos pabellones, uno corresponde a los servicios higiénicos y el otro a las salas de clases, como se muestra en figura 10. Para el estudio solo se consideró el pabellón de las salas de clases dado que es el edificio con mayor ocupación, el cual posee una superficie útil de 230,83 m<sup>2</sup>.

El edificio se desarrolla en un pabellón lineal en donde todos los recintos se orientan hacia el norte y una circulación horizontal que los conecta hacia el sur el cual es cubierta y cerrada hacia el oriente y solo cubierta hacia el poniente.

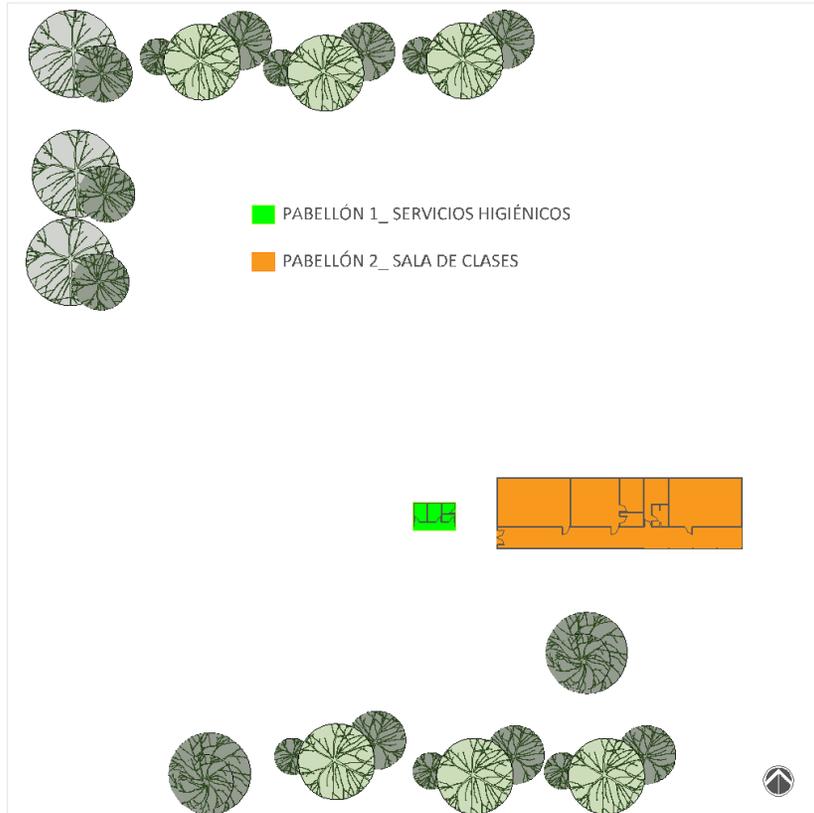


Figura 10. Emplazamiento pabellones Escuela Chaychayen. Elaboración: propia

El pabellón se desarrolla de oriente a poniente con los siguientes recintos: aula, comedor, cocina, bodega y multitaller, como se muestra en figura 11. En tabla 4 se detallan cada recinto con su superficie útil.

La envolvente está compuesta por antepechos en todo el perímetro con revestimiento exterior de madera traslapada, sobre una estructura de madera de 2"x4" y revestimiento interior de madera, sin aislación térmica y barrera contra la humedad más perfiles de ventanas metálicos y vidrio simple. El exterior ha sido pintado en varias oportunidades, siendo el único mantenimiento en la envolvente que se le ha realizado. El detalle del estado de la envolvente se puede apreciar en figura 12.

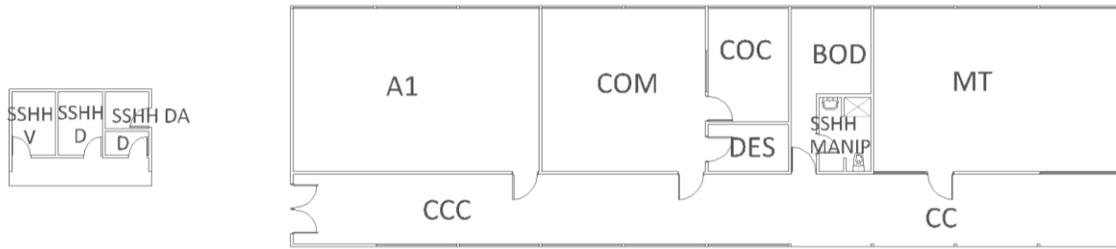


Figura 11. Planta Arquitectura Escuela Chaychayen. Fuente: DEM Teodoro Schmidt

Tabla 4. Nomenclatura recintos Escuela Chaychayen

SIGLA	RECINTOS	SUP ÚTIL
A 1	Aula 1	52,42
COM	Comedor	34,63
COC	Cocina	11,86
DES	Despensa	4,93
BOD	Bodega	8,97
SSHH MANIP	Servicio higiénico manipuladora	4,97
MT	Multitaller	52,42
CCC	Circulación cubierta cerrada	45,63
CC	Circulación cubierta	15
SSHH D	Servicio higiénico damas	3,67
SSHH V	Servicio higiénico varones	3,67
SSHH DA	Servicio higiénico docentes y administrativos	2,1
D	Ducha	1,39

El sector de los servicios higiénicos es de albañilería estucada por el interior y el exterior con ventanas metálicas y vidrio simple.



Figura 12. Envoltente pabellón de aulas. Fuente: propia

Los consumos energéticos del edificio se concentran principalmente en electricidad y energía térmica para calefaccionar a través de estufas las cuales se alimentan con leña, los recintos calefaccionados se indican en figura 13.

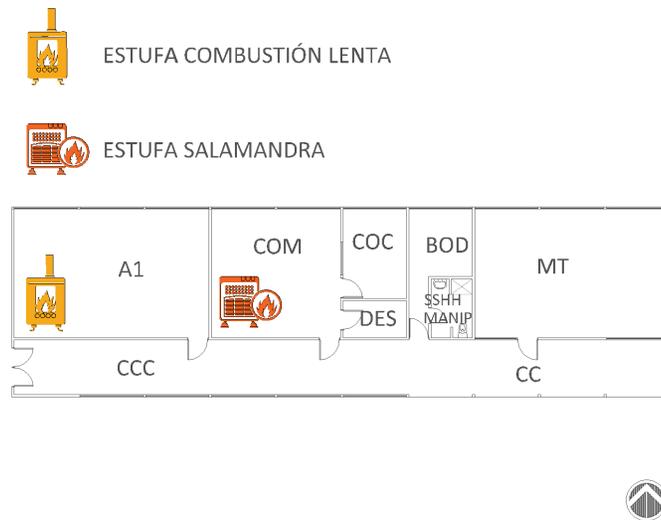


Figura 13. Planta arquitectura ubicación estufas por recintos. Fuente: elaboración propia

Los recintos que poseen estufas corresponden solo a aquellos que son más utilizados por los alumnos: aula y comedor. Estas estufas permanecen encendidas durante toda la jornada escolar, desde las 8:00 hasta las 15:30 horas. Durante el año 2017 fue comprada la leña por el

departamento de educación, comprando al establecimiento 7 m<sup>3</sup>. El detalle del consumo y costo mensual, se indica en tabla 5. La leña corresponde al tipo Mañío y Coigue. Por lo anterior se realiza el siguiente cálculo:

Donde:

5 GJ/m<sup>3</sup> equivale al calor de la leña Mañío y Coigue

$$(277,7 \text{ kWh} * 5 \text{ GJ/ m}^3) * 7 \text{ m}^3 = \mathbf{9.719,5 \text{ kWh año}}$$

**Tabla 5. Detalle consumo mensual leña, costo y kWh, Escuela Chaychayen**

MES	M3 LEÑA	COSTO \$ M3	Kwh
Marzo	0,1	2.900	138,85
Abril	0,7	20.300	971,95
Mayo	1,1	31.900	1527,35
Junio	2,1	60.900	2915,85
Julio	1,6	46.400	2221,6
Agosto	1	29.000	1388,5
Septiembre	0,2	5.800	277,7
Octubre	0,2	5.800	277,7
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>203.000</b>	<b>9719,5</b>

La escuela funciona de lunes a viernes desde las 8:00 hasta las 15:40 horas. El viernes los alumnos se retiran a las 14:00 hrs, sin embargo, el personal, tiene jornada hasta las 16:00 horas. El establecimiento posee un curso combinado desde 1° a 6° básico con 4 alumnos, más una profesora y un profesor de educación física el cual visita el establecimiento una vez a la semana. También trabaja en la escuela un auxiliar y una manipuladora.

Los consumos eléctricos se concentran en la iluminación y artefactos electrónicos. Estos últimos se concentran en el aula y son: 2 computadores de escritorio, 2 notebook, 1 impresora, 1 equipo de sonido y 1 data. En la cocina se encuentra un refrigerador. Los consumos por concepto de iluminación se detallan en tabla 6 y 7.

**Tabla 6. Tipo de luminarias por recintos y consumo anual de energía Escuela Chaychayen**

TIPO RECINTO	SUP TOTAL	TIPO LUMINARIA		POTENCIA LUMINARIA (W)	POTENCIA TOTAL (kW)	HORAS ANUALES ENCENDIDO	CONSUMO ANUAL (kWh)
		UN	TIPO				
Aula	52,42	4	C	100	0,1	800	80
Comedor	34,63	1	C	100	0,1	400	40
Cocina	11,86	1	A	96	0,096	500	48
Despensa	4,93	1	A	96	0,096	200	19,2
SSHH Manipuladora	4,97	1	C	100	0,1	100	10
Bodega	8,97	1	C	100	0,1	50	5
Multitaller	52,42	2	C	200	0,2	100	20
SSHH varones	3,67	1	C	100	0,1	100	10
SSHH damas	3,67	1	C	100	0,1	100	10
SSHH profesor	2,1	1	C	100	0,1	50	5
Circulación cubierta	49,3	2	C	200	0,2	150	30
<b>TOTALES</b>		<b>16</b>			<b>1,292</b>		<b>277,2</b>

A: luminaria 2 tubos fluorescentes de 40W con un balastro que incrementa un 20% C: ampolleta incandescente de 100 W

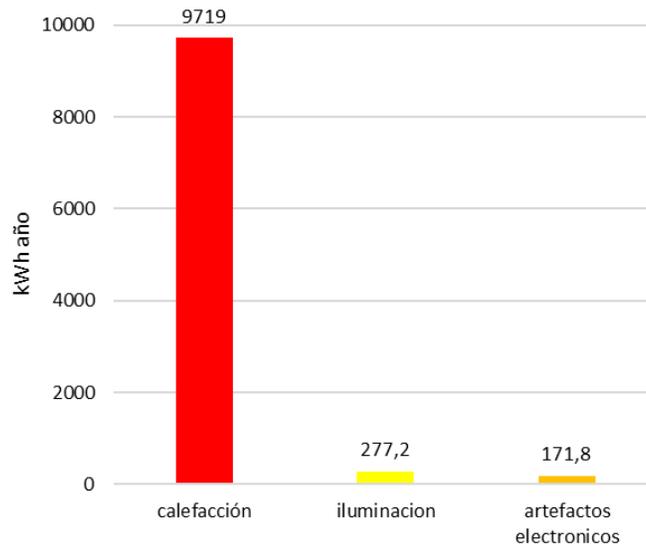
**Tabla 7. Facturas consumos anuales de energía eléctrica Escuela Chaychayen**

PERÍODO DE LECTURA		ENERGÍA CONSUMIDA	DEMANDA LEÍDA PRESENTE EN PUNTA	ENERGÍA	DEMANDA FACTURADA PRESENTE EN PUNTA	TRANSPORTE ELECTRICIDAD + INTERESES	VALOR NETO
Desde	Hasta	kWh/mes	kW	\$/mes	\$/mes	\$/mes	\$/mes
12-11-2016	12-01-2017	86	6	\$12.083	\$2.070	\$107	\$15.397
12-01-2017	14-03-2017	58	6	\$8.350	\$2.090	\$1.780	\$12.220
14-03-2017	12-05-2017	85	6	\$12.266	\$2.103	\$1.512	\$16.061
12-05-2017	13-07-2017	77	6	\$11.160	\$2.114	\$1.408	\$14.682
13-07-2017	12-09-2017	73	6	\$12.626	\$933	\$0	\$13.559
12-09-2017	13-11-2017	70	6	\$10.018	\$2.078	\$1.203	\$13.299
<b>Totales</b>		<b>449</b>		<b>\$66.503</b>	<b>\$11.388</b>	<b>\$6.010</b>	<b>\$85.218</b>

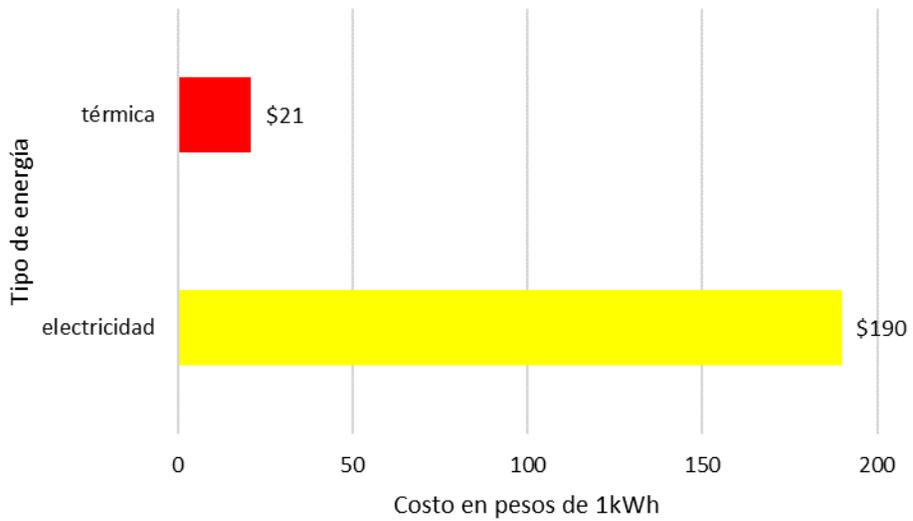
En la tabla 6 se aprecia que la mayor cantidad de luminaria utilizada corresponde a ampolletas incandescentes y solo en cocina y comedor, por un tema de normativa se utilizan equipos fluorescentes los cuales son herméticos. Los datos de la tabla 7 se elaboran en base a las facturas de electricidad.

Se elabora el gráfico 1 donde se desglosan los consumos energéticos del establecimiento en calefacción, iluminación y artefactos electrónicos. Se puede apreciar que los mayores consumos energéticos corresponden a calefacción y los más bajos a los aparatos electrónicos, existiendo una diferencia de casi 57 veces más el consumo de calefacción que el de los artefactos. En gráfico 2 se muestra el costo por tipo de energía.

**Gráfico 1: Consumos energéticos desglosados Escuela Chaychayen**



**Gráfico 2: Costo 1kWh por tipo de energía Escuela Chaychayen**



Se evalúa el comportamiento térmico del aula 1, recinto que se ve en figura 14 y se utilizan en la simulación los datos indicados en tabla 8.



Figura 14. Imagen interior aula Escuela Chaychayen. Fuente: propia

Tabla 8. Datos entrada para simulación térmica caso base Escuela Chaychayen

ENVOLVENTE	
	valor U
muros	2,725
techumbre	3,198
vanos	5.894
OCUPACIÓN	
días	lunes a viernes
horario	08:00 a 16:00 hrs
vacaciones	enero-febrero 15 al 26 julio
CONDICIONES INTERNAS	
carga de equipos	6 W/m2
iluminación mínima	180 lux
infiltraciones	24,6 renov/h
consigna refrigeración	24°C
consigna calefacción	20°C
COP calefacción	0,6
ventilación natural	2 renov/h

El rango de confort se establece en:

Invierno  $T_m = 9,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 \cdot 9,2$$

$$T_n = 20,45$$

$$T_{inf} = 20,45 - 2,5$$

$$T_{sup} = 20,45 + 2,5$$

$$T_{inf} = 17,9^\circ\text{C}$$

$$T_{sup} = 22,9^\circ\text{C}$$

Verano  $T_m = 12,8^\circ\text{C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 \cdot 12,8$$

$$T_n = 21,56$$

$$T_{inf} = 21,56 - 2,5$$

$$T_{sup} = 21,56 + 2,5$$

$$T_{inf} = 19^\circ\text{C}$$

$$T_{sup} = 24^\circ\text{C}$$

El rango de temperatura de confort para invierno es  $17,9^\circ\text{C} - 22,9^\circ\text{C}$  y para verano es los  $19^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}$ . El porcentaje del tiempo de ocupación que se encuentra en confort el aula tanto en invierno como en verano se indica en figura 15.

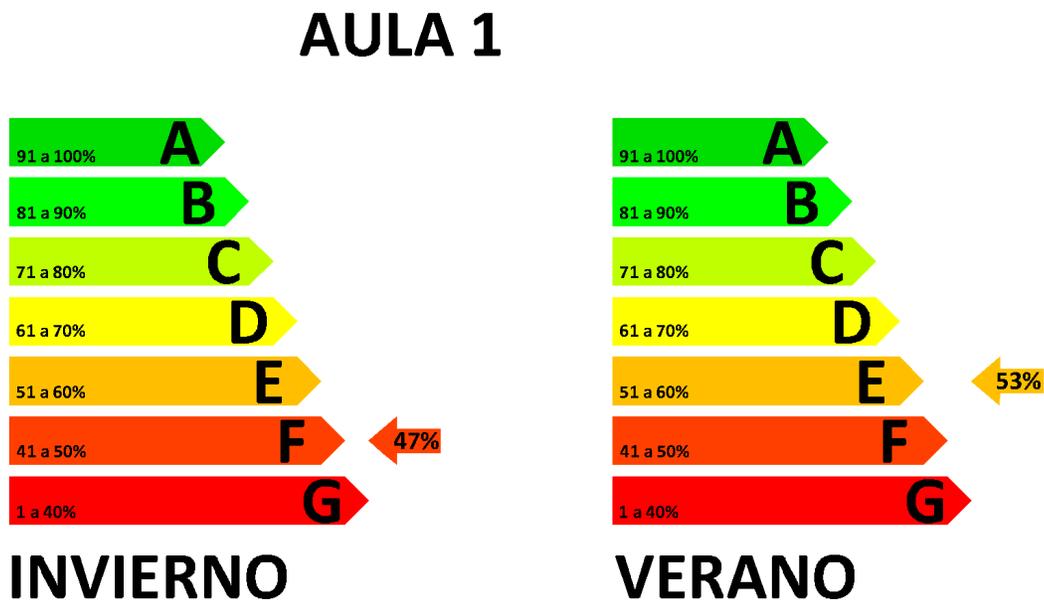


Figura 15. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Chaychayen. Fuente: elaboración propia

En verano la temperatura interior del aula más baja corresponde a 14,9°C, cumpliendo con la normativa vigente. Las temperaturas sobre el rango equivalen a un 32%, alcanzando temperaturas de 32,8°C.

Al comparar los resultados de la simulación con los que realmente consume el edificio, encontramos que el edificio actualmente funciona con un 29% de la energía que el edificio demanda para calefaccionar, lo que deja en evidencia los bajos índices de confort térmico al interior del aula. También encontramos que el edificio utiliza muy poca electricidad para iluminación. Los consumos desglosados comparativos se indican en tabla 9.

Tabla 9. Comparación consumos desglosados Escuela Chaychayen

	calefacción	refrigeración	iluminación	artefactos electrónicos
gasto kWh año actual	9719,5	0	277,2	171,8
kWh año simulada	33113,09	21,61	2660,11	1295,92

### 3.2.2 Escuela Rayen Mahuida, zona climática sur interior (7SI)

La construcción data del año 1970, se puede apreciar en figura 16. Corresponde a una escuela rural pública administrada por el departamento de educación de la comuna de Nueva Imperial, emplazada en la localidad de Peleco al interior de una comunidad mapuche. Es una escuela unidocente, posee un solo curso combinado de 1° a 6° básico.



Figura 16. Imagen exterior Escuela Rayen Mahuida. Fuente: propia

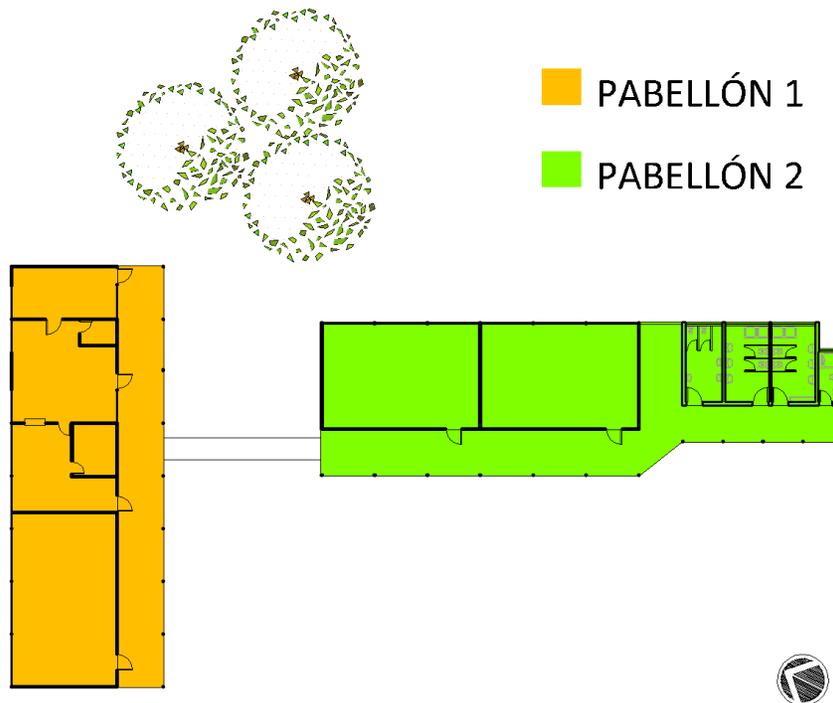
Peleco está ubicada a los 38° 44´ latitud sur y 72° 57´ longitud oeste a 28 metros sobre el nivel mar, posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, con una temperatura media anual promedio de 12,5 °C. En el mes de enero se registran las temperaturas promedio más altas y en julio las más bajas, como se indica en tabla 10.

**Tabla 10. Datos históricos del clima en Nueva Imperial. Fuente: climate-data.org**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media °C	17,7	17,6	15,4	12,5	9,9	8,3	8	8,4	10,1	12	14,1	16
Temperatura mínima °C	10,1	9,9	8,4	6,6	5,5	4,7	4,1	4	4,9	6,1	7,8	9,2
Temperatura máxima °C	25,3	25,3	22,4	18,5	14,4	12	11,9	12,9	15,4	18	20,4	22,8
Precipitación	42	36	50	91	195	198	191	151	108	79	65	52

La escuela se compone de dos pabellones como se indica en figura 17. La escuela original fue diseñada para contar con tres cursos, sin embargo, hoy cuenta solo con uno.

El pabellón 1 es el más utilizado por los alumnos y el pabellón 2 se utiliza entre 3 y 4 veces a la semana. En total cuenta con una superficie útil de 344,61 m<sup>2</sup>



**Figura 17. Planta conjunto Escuela Rayen Mahuida. Fuente: DOM Nueva Imperial**

El establecimiento se organiza como se indica en figura 18 y tabla 11, de forma lineal en pabellón 1 la sala de clases orientada hacia el norte utilizada por el curso combinado, más el comedor cocina y despensa. El pabellón 2 que posee el multitaller el cual es utilizado por los profesionales del programa PIE, tres veces a la semana y también se desarrollan aquí las clases de música y arte las cuales son un día a la semana. La segunda sala del pabellón 2 es utilizada como patio cubierto en los días de lluvia y es facilitada a la comunidad para sus reuniones.

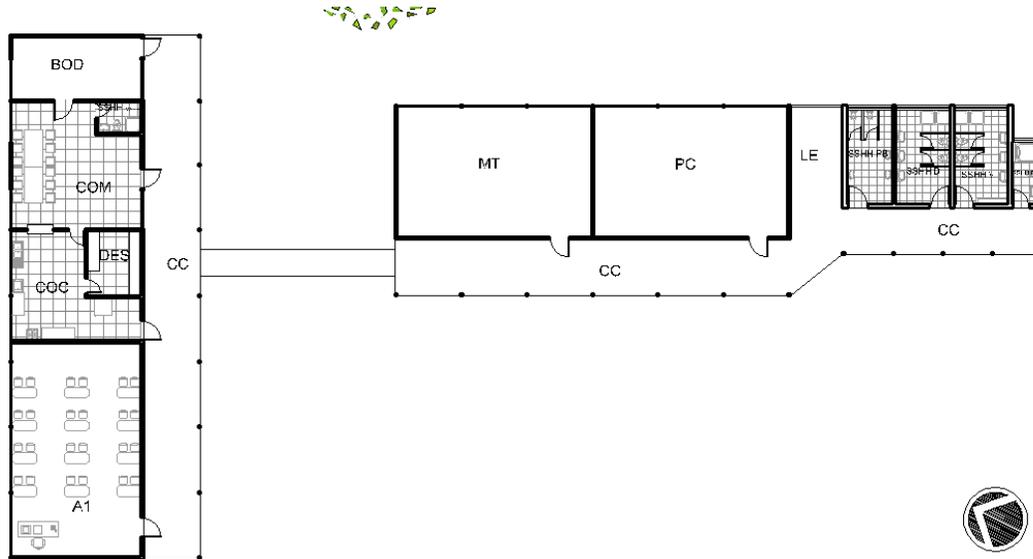


Figura 18. Planta arquitectura Escuela Rayen Mahuida. Fuente: DOM Nueva Imperial

Tabla 11. Nomenclatura recintos Escuela Rayen Mahuida

SIGLA	NOMBRE RECINTO	SUP ÚTIL
A1	Aula 1	52,51
COC	Cocina	21,72
DES	Despensa	7,23
COM	Comedor	31,04
SSH MANIP	Servicio higiénico manipuladora	2,82
BOD	Bodega	17,11
MT	Multitaller	52,51
PC	Patio cubierto	52,51
LE	Leñera	11
SSHH PB	Servicio higiénico pre básica	9,07
SSHH D	Servicio higiénico damas	10,8
SSHH V	Servicio higiénico varones	10,8
SSHH DA	Servicio higiénico docentes y administrativos	3,54
CC	Circulación cubierta	66,9

Ambos pabellones poseen el mismo sistema constructivo que el primer caso de estudio. Ambos pabellones se muestran en figura 19 y 20.



**Figura 19. Vista exterior pabellón 1 Escuela Rayen Mahuida. Fuente: propia**



**Figura 20. Pabellón 2 Escuela Rayen Mahuida. Fuente: propia**

El sistema de climatización corresponde a estufas combustión lenta y salamandra ubicadas de acuerdo con lo indicado en figura 21 y las características de las estufas se muestran en figura 22 y 23. Las estufas de comedor y sala de clases están encendidas durante toda la jornada, sin

embargo, la correspondiente al multitaller se enciende solo cuando es ocupada por los alumnos, lo cual ocurre tres veces a la semana.

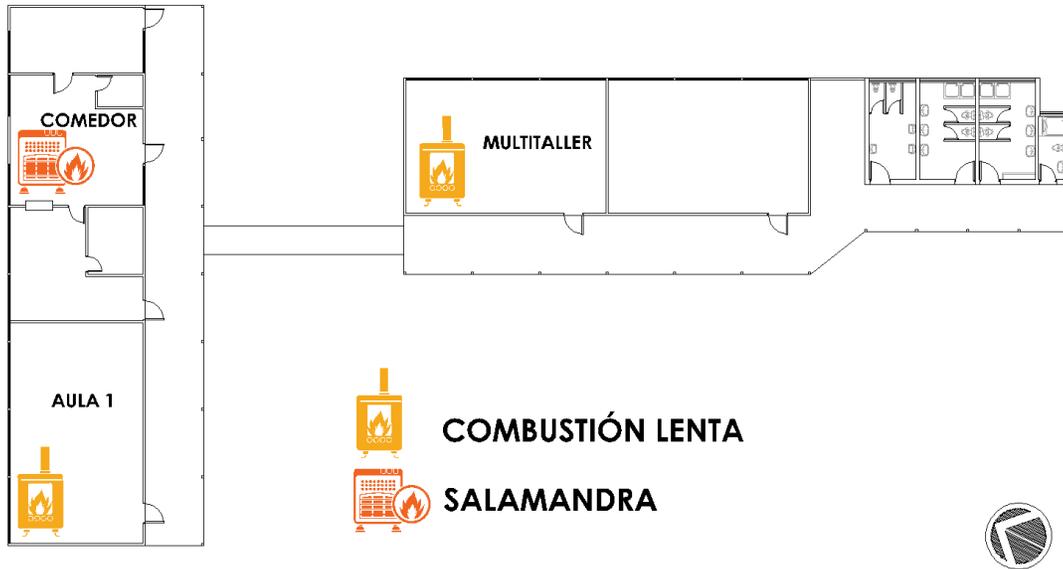


Figura 21. Ubicación sistemas de calefacción por recintos Escuela Rayen Mahuida. Elaboración: propia



Figura 22. Estufa tipo salamandra



Figura 23. Estufa tipo combustión lenta

Durante el año 2017 el establecimiento consumió 14 m<sup>3</sup> de leña. El detalle del consumo y costo mensual, se indica en tabla 12. La leña comprada corresponde al tipo Aromo australiano. Por lo anterior se realiza el siguiente calculo:

Donde:

5,5 GJ/m<sup>3</sup> equivale al calor de la leña de Aromo australiano

$$(277,7 \text{ kWh} * 5,5 \text{ GJ/ m}^3) * 14 \text{ m}^3 = \mathbf{21.382,9 \text{ kWh año}}$$

**Tabla 12. Detalle consumo mensual leña, costo y kWh, Escuela Rayen Mahuida**

MES	M3 LEÑA	COSTO \$ M3	kWh
Marzo	0,8	15.232	1221,88
Abril	1,4	30.464	2138,29
Mayo	2,2	45.696	3360,17
Junio	3,8	87.584	5803,93
Julio	2,9	106.624	4429,315
Agosto	1,7	57.120	2596,495
Septiembre	0,9	26.656	1374,615
Octubre	0,3	11.424	458,205
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>380.800</b>	<b>21382,9</b>

Los consumos eléctricos corresponden principalmente a iluminación y artefactos. El detalle del tipo de luminaria por recinto está indicado en tabla 13, en donde se calcula que los consumos anuales por iluminación ascienden a 915,2 kWh año.

**Tabla 13. Tipo de luminarias por recintos y consumo anual de energía Escuela Rayen Mahuida**

TIPO RECINTO	CANTIDAD DE RECINTOS	SUP TOTAL	TIPO LUMINARIA		POTENCIA LUMINARIA (W)	POTENCIA TOTAL (kW)	HORAS ANUALES ENCENDIDO	CONSUMO ANUAL (kWh)
			UN	TIPO				
Bodega	1	17,11	1	B	96	0,096	300	28,8
Comedor	1	31,04	3	A	144	0,144	1000	144
Aulas	1	52,51	6	A	288	0,288	2000	576
Dispensa	1	7,33	1	B	96	0,096	100	9,6
Multitaller	1	52,51	2	A	96	0,096	200	19,2
Patio Cubierto	1	52,51	2	A	96	0,096	100	9,6
Circulación	2	73,64	2	C	392	0,392	100	39,2
			4	A				
SSH	4	33,67	3	C	444	0,444	200	88,8
			1	B				
<b>TOTALES</b>			<b>25</b>			<b>1,652</b>		<b>915,2</b>

A: luminaria con tres tubos fluorescentes de 40W con balastro que incrementa un 20%

B: luminaria con reflector y dos tubos fluorescentes de 40W

C: ampolleta incandescente 100W

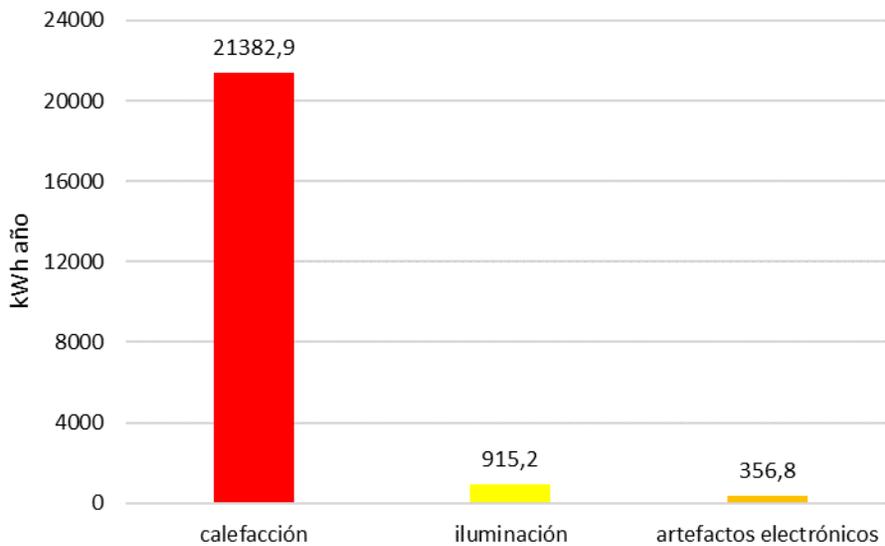
Con la información facilitada por el sostenedor se realiza tabla 14 en donde se resume el consumo eléctrico anual del edificio.

**Tabla 14. Facturas consumos anuales de energía eléctrica Escuela Rayen Mahuida**

PERÍODO DE LECTURA		ENERGÍA CONSUMIDA	DEMANDA LEÍDA PRESENTE EN PUNTA	ENERGÍA	MULTAS POR MAL FACTOR DE POTENCIA	VALOR NETO
Desde	Hasta	kWh/mes	kW	\$/mes	\$/mes	\$/mes
20-12-2016	20-02-2017	60	6	\$9.768	\$1.754	\$14.003
20-02-2017	20-04-2017	143	6	\$23.366	\$212	\$26.075
20-04-2017	19-06-2017	130	6	\$23.485		\$23.485
19-06-2017	21-08-2017	478	6	\$78.482	\$707	\$60.858
21-08-2017	19-10-2017	274	6	\$39.535		\$36.900
20-10-2017	20-12-2017	187	6	\$30.308	\$276	\$33.052
<b>Totales</b>		<b>1.272</b>		<b>\$204.944</b>	<b>\$2.949</b>	<b>\$194.373</b>

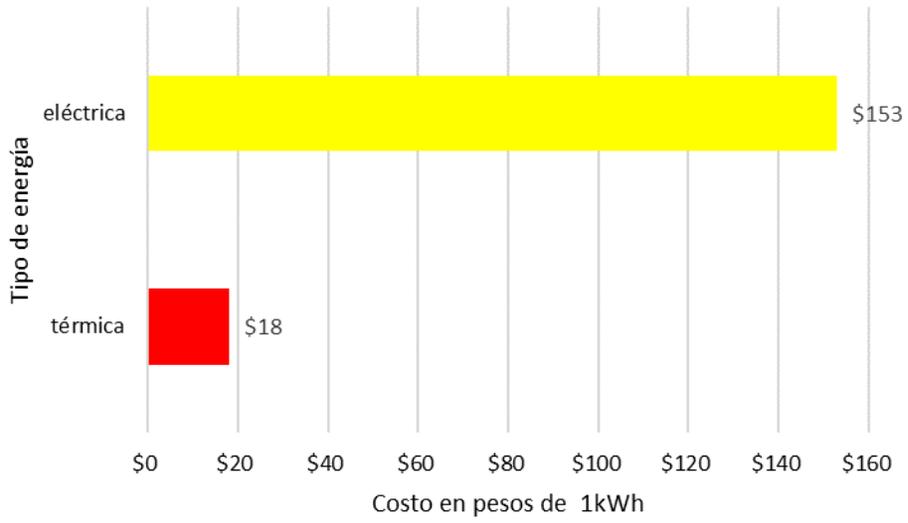
Con la información recopilada se puede elaborar el gráfico 3 que corresponde a los consumos desglosados de energía en el establecimiento.

**Gráfico 3: Consumos energéticos desglosados Escuela Rayen Mahuida**



El consumo por concepto de calefacción es el más alto y el de artefactos electrónicos el más bajo, siendo este último 60 veces menor. Al comparar el costo de 1kWh por cada tipo de energía utilizada en la escuela se aprecia en gráfico 4, que el consumo térmico por concepto de leña tiene un costo de \$18, siendo 8,5 veces menor que el costo de la electricidad.

**Gráfico 4: Costo 1kWh por tipo de energía Escuela Rayen Mahuida**



Se evalúa el comportamiento térmico del aula ubicado en el pabellón 1, la figura 24 muestra las condiciones interiores del recinto a analizar y en tabla 15 los datos para la simulación.



**Figura 24. Imagen interior aula Escuela Rayen Mahuida**

**Tabla 15. Datos entrada para simulación térmica caso base Escuela Rayen Mahuida**

ENVOLVENTE	
	U W/m <sup>2</sup> K
techumbre	3,015
muros pabellón 1	2,351
muros pabellón 2	2,918
vanos	5,829
CALENDARIO DE OCUPACIÓN	
días	lunes a viernes
horario	8:00 a 16:00
vacaciones	enero-febrero 15 al 26 julio
CONDICIONES INTERNAS	
carga de equipos	6 W/m <sup>2</sup>
iluminación mínima	180 lux
Infiltraciones	24,6 renov/h
consigna refrigeración	24°C
consigna calefacción	20°C
Cop calefacción	0,6
ventilación natural	2 renov/h

El rango de confort se establece en:

Invierno  $T_m = 8,3 \text{ °C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 * 8,3$$

$$T_n = 20,17$$

$$T_{inf} = 20,17 - 2,5$$

$$T_{sup} = 20,17 + 2,5$$

$$T_{inf} = 17,7 \text{ °C}$$

$$T_{sup} = 22,7 \text{ °C}$$

Verano  $T_m = 15,4 \text{ °C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 * 15,4$$

$$T_n = 22,37$$

$$T_{inf} = 22,37-2,5$$

$$T_{sup} = 22,37+2,5$$

$$T_{inf} = 19,9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{sup} = 24,9^{\circ}\text{C}$$

El rango de temperatura de confort para invierno es 17,6°C-22,7°C y para verano 19,9°C-24,9°C. El porcentaje del tiempo de ocupación que se encuentra en confort el aula tanto en invierno como en verano se indica en figura 25.

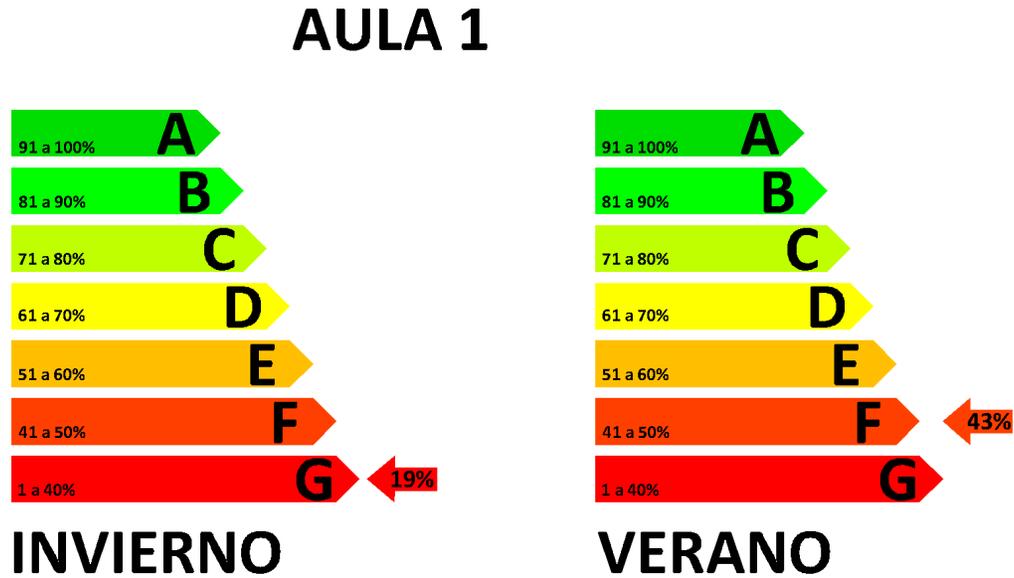


Figura 25. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Rayen Mahuida. Fuente: propia

Al comparar los consumos energéticos actuales con los simulados como se indica en tabla 16 se obtiene que el edificio opera solo con un 65% de energía por concepto de calefacción en relación con la que realmente demanda el edificio en la simulación, sin embargo, la clasificación energética del confort térmico del aula en invierno es la más baja (G).

En verano las horas en confort térmico son 77 mientras que en invierno solo 34, por lo que el edificio es más confortable durante la época estival.

Tabla 16. Comparación consumos desglosados Escuela Rayen Mahuida

	calefacción	refrigeración	iluminación	artefactos electrónicos
gasto kWh año actual	21382,9	0	915,2	356,8
kWh año simulada	33048,13	596,32	5501,91	2551,97

### 3.2.3 Escuela Ramón Ramírez, zona climática andina (9An)

Fue construida durante el año 1972. Es una escuela pública administrada por el departamento de educación de Curacautín, que posee nivel de enseñanza parvulario y básica emplazada en la localidad rural de Malalcahuello, en un terreno de aproximadamente 1 hectárea, limitando al sur con la ruta internaciones 181, como se muestra en figura 26.



Figura 26. Vista exterior escuela desde ruta 181. Fuente: propia

Malalcahuello está ubicada a los 38° 47' latitud sur y 71° 57' longitud oeste a 950 metros sobre el nivel mar, posee un clima templado frío lluvioso, con una temperatura anual promedio de 9,6 °C, registrándose las temperaturas más altas durante el mes de enero y junio el mes más frío, como se ve en Tabla 17. Durante el año caen aproximadamente 2168 mm de precipitaciones, registrándose nevadas entre los meses de marzo a octubre.

Tabla 17. Datos históricos del clima en Malalcahuello. Fuente: climate-data.org

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media °C	15,3	14,7	14,7	9,5	6,6	4,7	4,8	5,4	7,1	9,3	11,4	13,5
Temperatura mínima °C	5,7	5	3,4	1,5	1,1	1,7	2	1,4	0,9	1,5	3,1	5
Temperatura máxima °C	25	24,4	21,7	17,5	12,1	7,7	7,6	9,5	13,3	17,1	19,8	22,1
Precipitación	48	56	97	134	352	374	354	277	178	105	116	77

El complejo original del edificio está constituido por tres viviendas para profesores y un internado, como se aprecia en figura 27.

Las viviendas más el internado no están siendo utilizados en la actualidad. El internado se encuentra cerrado desde el 2010 y las viviendas están siendo utilizadas como bodegas. Por lo anterior el edificio considerado para el estudio sólo corresponde a la escuela la cual cuenta con una superficie útil a 915,02 m<sup>2</sup>.

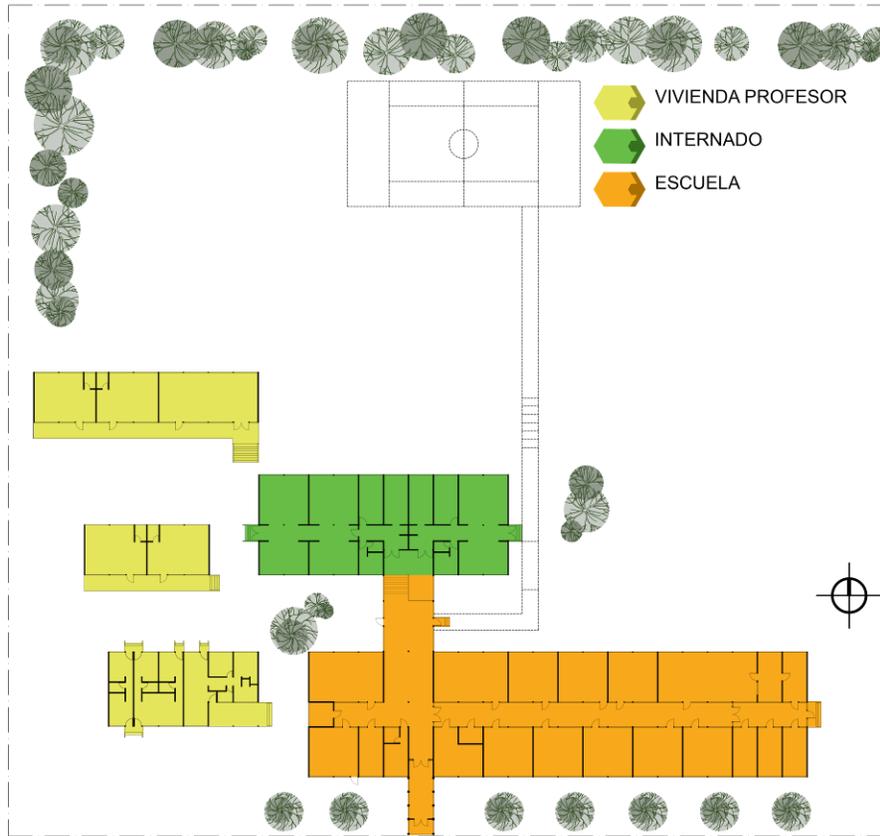


Figura 27. Escuela Ramón Ramírez y los edificios que conformaron el complejo. Elaboración: propia

El edificio se desarrolla de manera lineal, ver figura 28 y tabla 18, de oriente a poniente en donde las salas de clases se iluminan y ventilan naturalmente desde el norte o desde el sur, posee un pasillo central sin iluminación natural el cual hacia el oriente organiza a un costado los servicios higiénicos y hacia el otro el comedor y cocina. En el extremo poniente se encuentra el sector del parvulario con sus recintos independientes del área de básica. En el patio exterior se encuentra la multicancha la cual es abierta. El patio cubierto y el pasillo central son los principales sitios de juego para los alumnos.

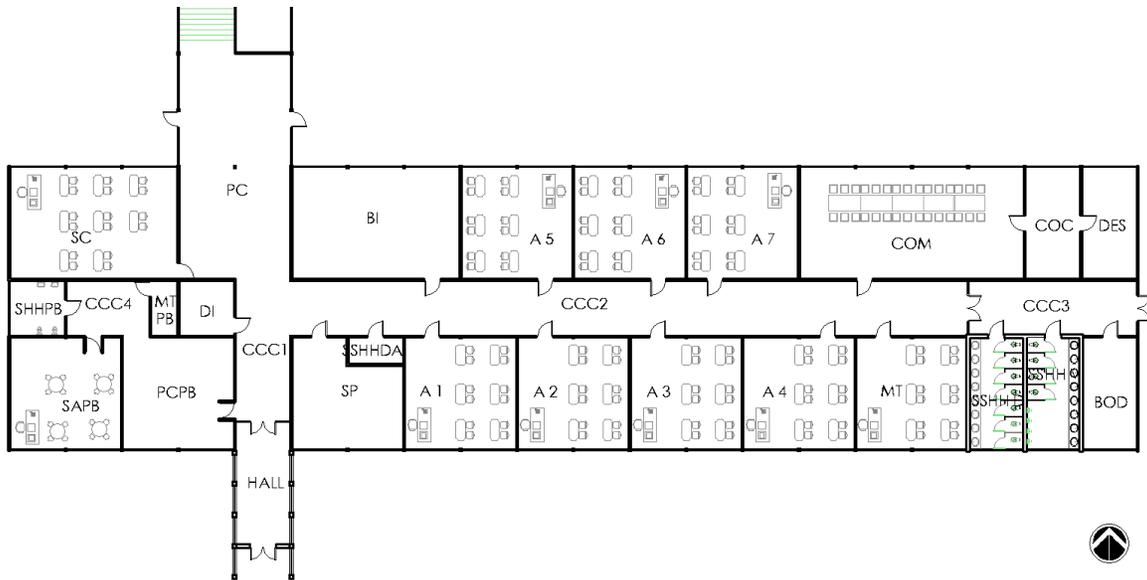


Figura 27. Planta arquitectura Escuela Ramón Ramírez. Fuente: DEM Curacautín

Tabla 18. Nomenclatura recintos Escuela Ramón Ramírez. Fuente: elaboración propia

SIGLA	RECINTO	SUP UTIL
SC	Sala de computación	52,5
SHH PB	Sala de hábitos higiénicos pre básica	8,41
SAPB	Sala actividades pre básica	33,94
PCPB	Patio cubierto pre básica	34,08
MT PB	Multitaller pre básica	4,06
DI	Dirección	8,41
SP	Sala de profesores	30,3
SSHDA	Servicios higiénicos docentes y	4,06
A1	Aula 1	34,8
A2	Aula 2	34,8
A3	Aula 3	34,8
A4	Aula 4	34,8
MT	Multitaller	34,8
BI	Biblioteca	52,5
A5	Aula 5	34,8
A6	Aula 6	34,8
A7	Aula 7	34,8
COM	Comedor	70,2
COC	Cocina	17,11
DES	Despensa	17,11
SSH V	Servicios higiénicos varones	16,38
SSH D	Servicios higiénicos damas	16,38
BOD	Bodega	16,81
HALL	Hall	18,21
CCC 1-2-3	Circulaciones cubiertas y cerradas 1-2-3-4	165,96
PC	Patio cubierto	70,2
	<b>Superficie útil total</b>	<b>915,02</b>

La envolvente es igual que los casos de estudios anteriores con la diferencia que están revestidos los muros exteriores con planchas de zinc como se muestra en figura 29.



Figura 29. Envolvente Escuela Ramón Ramírez. Fuente: propia

Los consumos energéticos del establecimiento se concentran principalmente en energía térmica para calefaccionar y energía eléctrica para iluminación y artefactos. La energía térmica es a través de la combustión de leña. El equipamiento utilizado y su ubicación por recinto, se encuentra indicado en figura 30, 31 y 32. Corresponden a ocho estufas a combustión lenta y seis salamandras.



Figura 30. Estufa tipo salamandra



Figura 31. Estufa tipo combustión lenta

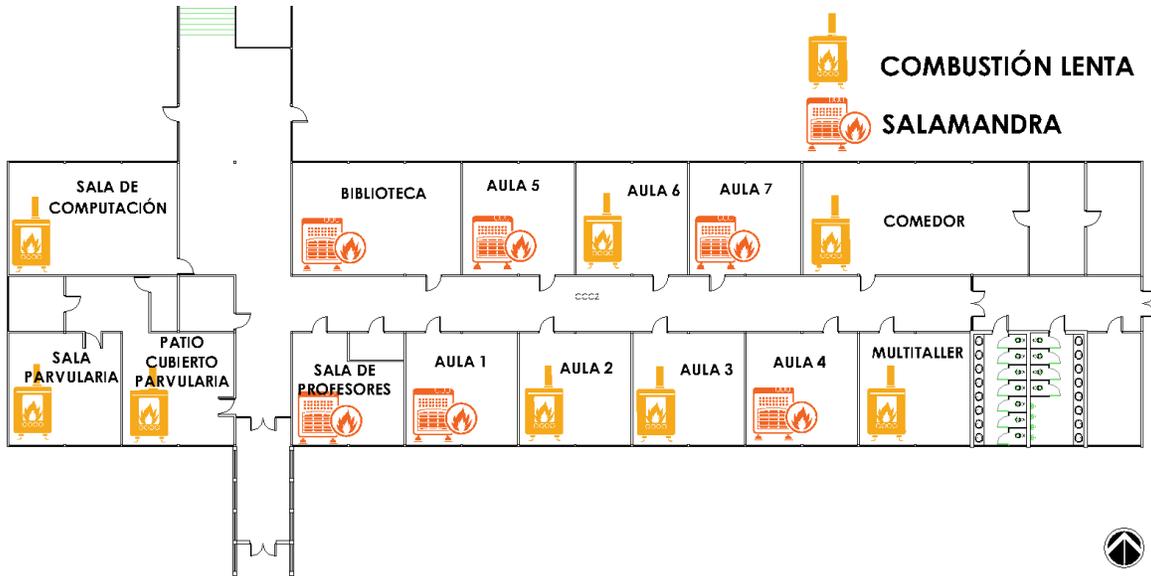


Figura 32. Ubicación sistemas de calefacción por recintos Escuela Ramón Ramírez. Elaboración: propia

Los recintos que son calefaccionados durante toda la jornada corresponden solo a las salas de clases, sala parvulario, patio cubierto parvulario, comedor y multitaller, este último también es utilizado por los profesores como comedor. El laboratorio de computación y la biblioteca tienen una ocupación esporádica durante la semana de al menos 3 días y son encendidas las estufas sólo cuando estos recintos son utilizados por los alumnos.

Durante el año 2017 se compraron y consumieron 35 m<sup>3</sup> de leña de eucaliptus, Mañío y Roble, con un porcentaje de humedad inferior al 20%, trozada. El detalle del consumo y costo mensual, se indica en tabla 19. Por lo anterior se realiza el siguiente cálculo:

Donde:

5,5 GJ/m<sup>3</sup> equivale al calor de la leña de eucaliptus, Mañío y Roble

$$(277,7 \text{ kWh} * 5 \text{ GJ/ m}^3) * 35 \text{ m}^3 = 48.597,5 \text{ kWh año}$$

**Tabla 19. Detalle consumo mensual leña, costo y kWh**

MES	M3 LEÑA	COSTO \$ M3	Kwh
Marzo	1	27.000	1389
Abril	3	81.000	4166
Mayo	5,1	137.700	7081
Junio	6,4	172.800	8886
Julio	8,5	229.500	11802
Agosto	6,5	175.500	9025
Septiembre	3	81.000	4166
Octubre	1,5	40.500	2083
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>945.000</b>	<b>48598</b>

Los consumos eléctricos corresponden principalmente a iluminación y artefactos. El detalle del tipo de luminaria por recinto está indicado en tabla 20 y en 21 los consumos eléctricos anuales.

**Tabla 20. Tipo de luminarias por recintos y consumo anual de energía**

TIPO RECINTO	CANTIDAD DE RECINTOS	SUP TOTAL	TIPO LUMINARIA		POTENCIA LUMINARIA (W)	POTENCIA TOTAL (kW)	HORAS ANUALES ENCENDIDO	CONSUMO ANUAL (kWh)
			UN	TIPO				
Sala de profesores	1	30,3	2	D	40	0,04	1000	40
Servicios higiénicos	4	45,23	1	D	516	0,516	800	412,8
			1	A				
			4	C				
Aulas	8	277,54	17	A	1268	1,268	2000	2536
			13	D				
Multitaller	2	38,86	1	A	176	0,176	800	140,8
			4	D				
Biblioteca	1	52,5	4	D	80	0,08	2000	160
Comedor	1	70,2	4	A	192	0,192	1400	268,8
Cocina	1	17,11	1	A	48	0,048	800	38,4
Despensa	1	17,11	1	A	48	0,048	800	38,4
Bodega	1	16,81	1	C	100	0,1	400	40
Patio Cubierto	2	104,28	7	A	1400	1,4	800	1120
			1	D				
			6	E				
Circulación	5	165,96	7	A	672	0,672	1400	940,8
Dirección	1	8,41	1	C	100	0,1	2000	200
Hall acceso	1	18,21	1	B	96	0,096	1400	134,4
<b>TOTALES</b>			<b>77</b>			<b>4,736</b>		<b>6070,4</b>

A: tubos fluorescentes tubular      B: tubos fluorescentes compacta      C: ampolletas incandescentes 100W  
 D: ampolleta fluorescente compacta      E: ampolleta incandescente 150W

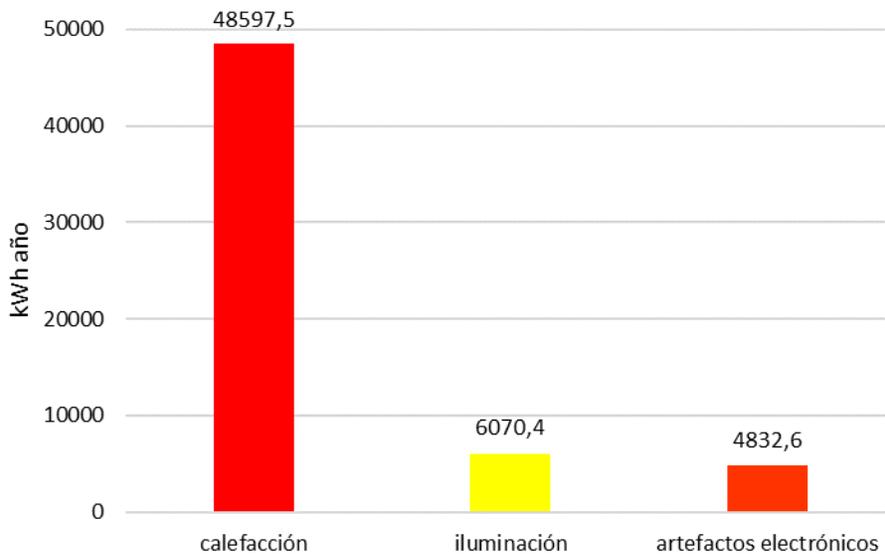
**Tabla 21. Facturas consumos anuales de energía eléctrica**

PERÍODO DE LECTURA		ENERGÍA CONSUMIDA	DEMANDA LEÍDA PRESENTE EN PUNTA	ENERGÍA	DEMANDA FACTURADA PRESENTE EN PUNTA	MULTAS POR MAL FACTOR DE POTENCIA	VALOR NETO
Desde	Hasta	kWh/mes	kW	\$/mes	\$/mes	\$/mes	\$/mes
05-12-2016	06-02-2017	1.244	5	\$77.034	\$98.924	\$6.159	\$185.829
06-02-2017	04-04-2017	859	5	\$53.192	\$99.515	\$5.345	\$161.297
04-04-2017	05-06-2017	1.824	5	\$112.950	\$99.730	\$7.444	\$224.583
05-06-2017	04-08-2017	1.885	5	\$116.727	\$100.156	\$7.591	\$229.017
04-08-2017	05-10-2017	2.926	5	\$185.131	\$99.561	\$9.964	\$309.066
05-10-2017	05-12-2017	2.165	5	\$154.209	\$101.606	\$8.954	\$294.370
<b>Totales</b>		<b>10.903</b>		<b>\$699.243</b>	<b>\$599.492</b>	<b>\$45.457</b>	<b>\$1.404.162</b>

Por lo anterior podemos resumir los consumos energéticos anuales del establecimiento en el gráfico 5.

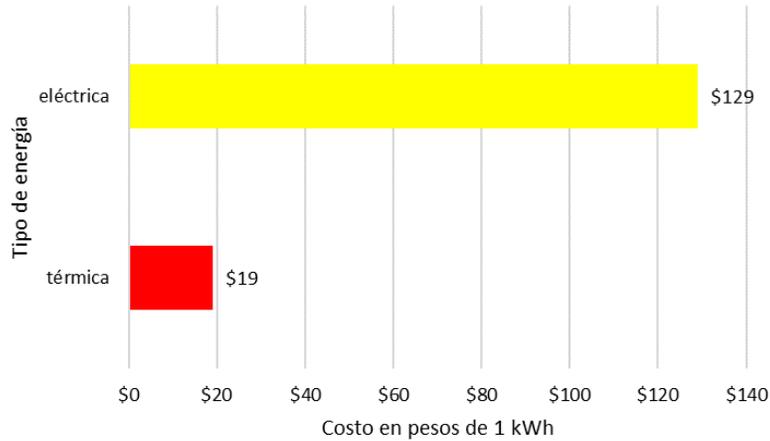
En relación con los consumos energéticos el que demanda más kWh es la calefacción con un 82% en relación con la energía total que consume el establecimiento, iluminación un 10% y un 8% los artefactos electrónicos.

**Gráfico 5. Consumos energéticos desglosados Escuela Ramón Ramírez**



En relación con los costos por tipo de energía, se aprecia en gráfico 6 que, si bien la energía térmica es la más utilizada, solo representa un 40% de los costos, siendo la energía térmica más económica que la energía eléctrica.

**Gráfico 6: Costo 1kWh por tipo de energía Escuela Ramón Ramírez**



Para la simulación térmica, se configura la actividad y horario de ocupación de cada recinto, con los datos indicados en tabla 22 y 23.

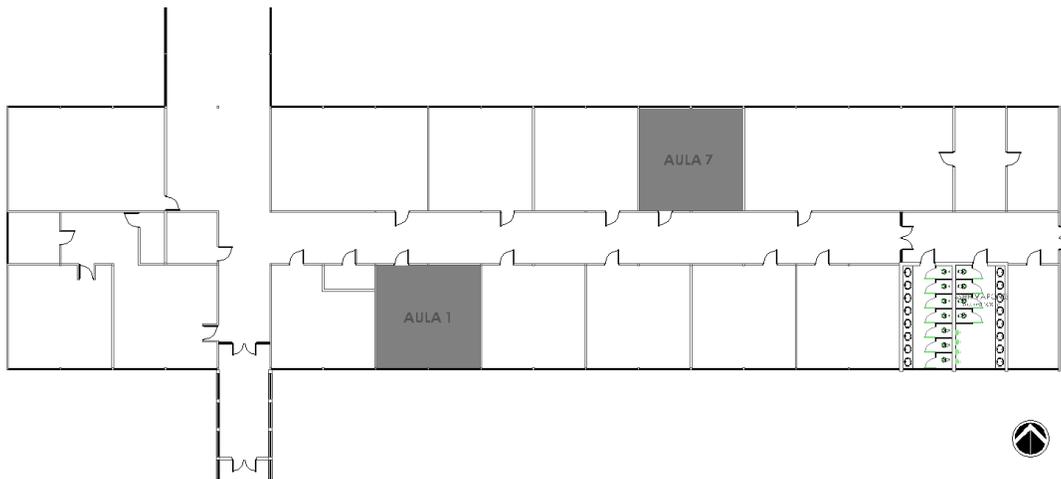
**Tabla 22. Datos entrada para simulación térmica caso base Escuela Ramón Ramírez**

ENVOLVENTE	
	U W/m2K
techumbre	3,198
muros	2,918
vanos	5,829
CALENDARIO DE OCUPACIÓN	
días	lunes a viernes
horario	8:00 a 16:00
vacaciones	enero-febrero 15 al 26 julio
CONDICIONES INTERNAS	
carga de equipos	6 W/m2
iluminación mínima	180 lux
Infiltraciones	24,6 renov/h
consigna refrigeración	24°C
consigna calefacción	20°C
Cop calefacción	0,6
ventilación natural	2 renov/h

**Tabla 23. Ocupación recintos calefaccionados Escuela Ramón Ramírez**

RECINTO	SUPERFICIE ÚTIL (m2)	DÍAS DE OCUPACIÓN	HORARIO DE OCUPACIÓN
Sala de profesores	28,8	lunes a viernes	8:00 a 12:00
Aula 1	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 2	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 3	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 4	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Multitaller	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 5	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 6	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula 7	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Biblioteca	52,21	lunes-miercoles-jueves	10:00 a 15:00
Comedor	69,62	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Sala de computación	34,8	martes-jueves-viernes	10:00 a 15:00
Patio cubierto básica	69,6	lunes a viernes	8:00 a 16:00
Aula parvularia	34,8	lunes a viernes	8:00 a 16:00

Los recintos por analizar para evaluar el confort térmico corresponden a los que poseen una alta ocupación, igual superficie, pero distintas orientaciones. El aula 1 y aula 7 tiene iluminación y ventilación natural hacia el sur y hacia el norte, como se indica en figura 33.



**Figura 33. Planta arquitectura con recintos a evaluar el confort térmico. Fuente: elaboración propia**

El interior del aula 7, se muestra en figura 34.



Figura 34. Interior aula 7 Escuela Ramón Ramírez. Fuente: propia

El rango de confort se establece en:

Invierno  $T_m = 4,7\text{ °C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 * 4,7$$

$$T_n = 19,05$$

$$T_{inf} = 19,05 - 2,5$$

$$T_{sup} = 19,05 + 2,5$$

$$T_{inf} = 16,5\text{ °C}$$

$$T_{sup} = 21,5\text{ °C}$$

Verano  $T_m = 12,5\text{ °C}$

$$T_n = 17,6 + 0,31 * 12,5$$

$$T_n = 21,47$$

$$T_{inf} = 21,47 - 2,5$$

$$T_{sup} = 21,47 + 2,5$$

$$T_{inf} = 18,9\text{ °C}$$

$$T_{sup} = 23,9\text{ °C}$$

Por lo anterior el rango de temperatura de confort para invierno es  $16,5\text{ °C} - 21,5\text{ °C}$  y para verano es  $18,9\text{ °C} - 23,9\text{ °C}$ .

Los resultados de confort térmico en invierno y verano para los recintos analizados se indican en figura 35 y 36.

El aula 1, presenta 14% de las horas de ocupación en confort en invierno, lo que corresponde a 25 horas. Bajo este rango se registran 155 horas de las cuales 110 están bajo los 15°C. La temperatura más baja es de 9,9°C. En verano el tiempo en confort aumenta considerablemente con 105 horas.

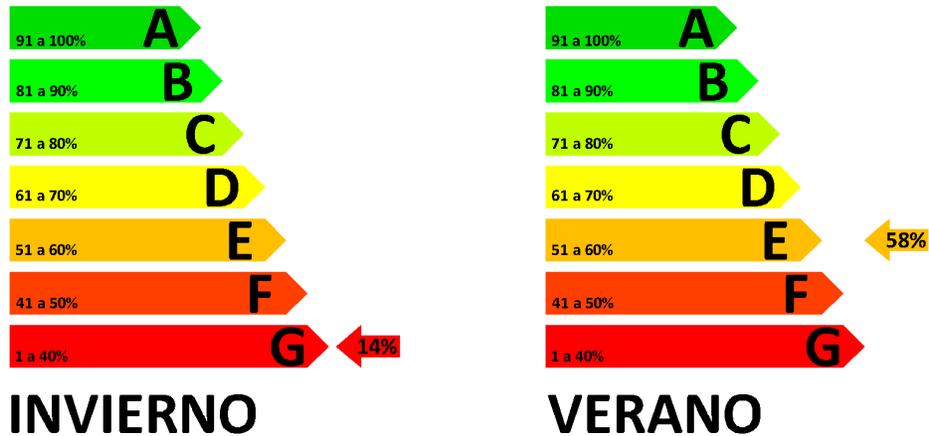


Figura 34. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez. Fuente: propia

El aula 7 en invierno registra mejores temperaturas que el aula 1, llegando a estar dentro del rango de confort 61 horas lo que duplica el del aula 1. Las horas bajo son 111 de las cuales 83 son bajo los 15°C. La temperatura más baja es 10,2°C. Sobre el rango se registra solo un 4% del tiempo, con una temperatura máxima de 24,4°C, estando sobre el rango superior de confort 2,9°C.

En verano el tiempo en confort es inferior al del aula 1, esto se debe a que las horas sobre el rango de confort aumentan equivaliendo a un 21% del tiempo de ocupación. La temperatura más alta registrada es de 26,4°C, estando sobre el rango superior de confort 2,5°C. Las temperaturas bajo el rango se registran durante 57 horas, estando todas superiores a los 15°C.

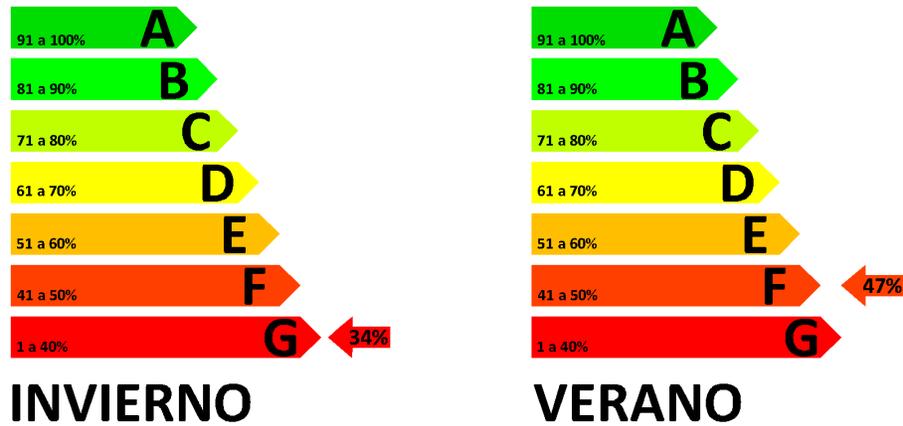


Figura 36. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez. Fuente: propia

Al realizar la comparación de los consumos desglosados como se indica en tabla 24, la calefacción sigue siendo quien más energía requiere. El edificio hoy funciona solo un 72% de energía para calefaccionar en base a la energía que realmente demanda el edificio. El edificio al simularlo requiere un 31% más de energía de la cual consume actualmente.

Tabla 24. Comparación consumos desglosados Escuela Ramón Ramírez

	calefacción	refrigeración	iluminación	artefactos electrónicos
gasto kWh año actual	48597,5	0	6070,4	4832,6
kWh año simulada	67172,64	755,44	13067,31	5644,89

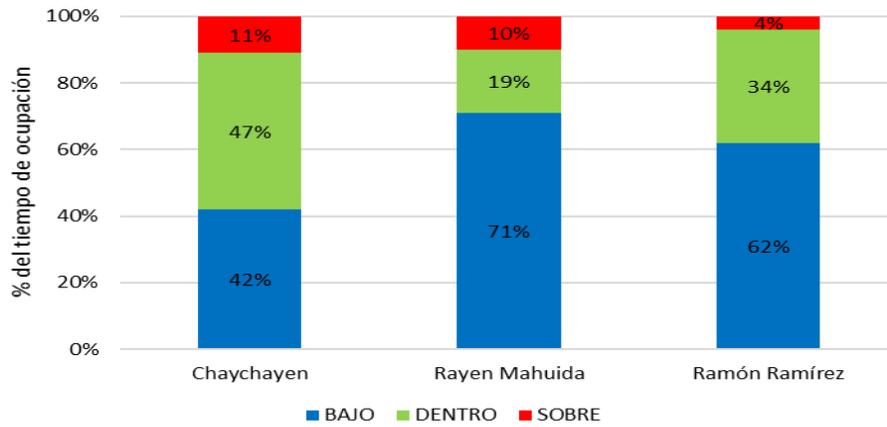
### 3.3 Resumen análisis casos de estudios

Al evaluar el comportamiento térmico de la misma tipología del edificio en las tres zonas climáticas presentes en la región en invierno, como se indica en gráfico 7, podemos concluir que la envolvente de esta tipología de escuela se comporta mejor en la zona sur litoral y es menos favorable en la zona sur interior.

El tiempo en confort en la Escuela Chaychayen 2,5 veces mejor que el Escuela Rayen Mahuida con una diferencia de 50 horas.

Las temperaturas más bajas se registran en la zona sur interior y las más altas en la zona sur litoral, como se indica en tabla 25.

**Gráfico 7. Resumen confort térmico aula orientada norte por caso de estudio en invierno**

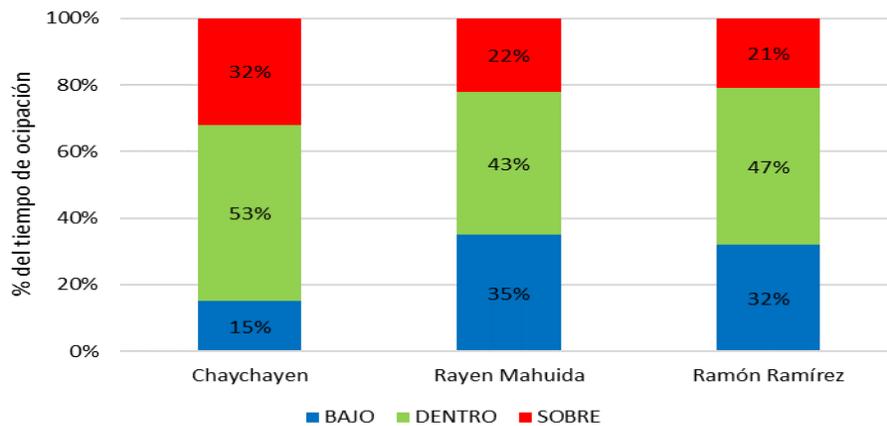


**Tabla 25. Resumen casos de estudio confort y temperaturas mínimas y máximas**

zona climática	escuela	tiempo en confort invierno Szolokay	t° más baja registrada	tiempo en confort verano Szolokay	t° más alta registrada
sur litoral	Chaychayen	47%	8°C	53%	32,8°C
sur interior	Rayen Mahuida	19%	4,6°C	43%	32,2°C
andina	Ramón Ramírez	34%	10,2°C	47%	26,4 °C

En verano el mejor comportamiento también es la escuela Chaychayen como se indica en gráfico 8, con 95 horas dentro del rango de confort. También es la escuela que registra menos tiempo bajo el rango, pero la con más porcentaje sobre, siendo la Escuela Ramón Ramírez la que presenta menos tiempo sobre el rango de confort.

**Gráfico 8. Resumen confort térmico aula orientada norte por caso de estudio en verano**



## Capítulo 4. Propuestas de Rehabilitación en Envolverte

En este capítulo se abordarán las líneas de financiamiento públicas a las cuales pueden postular los casos de estudio, montos que definen las soluciones constructivas de rehabilitación que podrían ser implementadas en cada una de las escuelas. Cada escuela por sus características principalmente de matrícula puede optar a distintas líneas de financiamiento, en donde mejorar el confort térmico del aula queda condicionado al monto posible de la inversión. Se analizan distintas soluciones constructivas por escuela considerando el tiempo en confort que mejora al interior del aula por cada una.

### 4.1 Líneas de financiamiento públicas para escuelas en Chile

Los recursos públicos para invertir en infraestructura escolar se dividen en distintos tramos y son otorgados por distintos servicios públicos. Cada comuna a través de sus departamentos de planificación puede postular a estos recursos. Los plazos para postular a veces son muy acotados, por lo que los equipos técnicos municipales deben desarrollar proyectos en muy poco tiempo, que consisten principalmente en planimetría, especificaciones técnicas y presupuesto.

Como explicaba en la introducción las escuelas analizadas, por su baja matrícula solo pueden optar a proyectos de rehabilitación y no de reposición, dado que la inversión por alumnos es muy alta. El Sistema Nacional de Inversiones, solicita un informe de recomendación satisfactoria elaborado por el Ministerio de Desarrollo Social en donde se realiza un cálculo que se basa en el total de la inversión versus cantidad de beneficiarios, en donde estas escuelas quedan fuera de poder optar a fondos para reponer el establecimiento.

Los tramos de financiamiento a los cuales pueden optar los casos de estudios se dividen en tres, los que se describen en tabla 26.

Tabla 26. Tramos de financiamiento fondo públicos

TRAMO	HASTA	SERVICIO PÚBLICO
1	\$60.000.000	SUBDERE através del programa PMU
2	\$94.038.000	GORE programa FRILL hasta 2000 UTM
		MINEDUC programa conservación hasta 2000 UTM
3	\$235.095.000	MINEDUC programa conservación hasta 5000 UTM

### Tramo 1

PMU: Son proyectos postulados por los municipios al programa de mejoramiento urbano y equipamiento comunal (PMU) se postula en línea en la plataforma [www.subdereenlinea.gov.cl](http://www.subdereenlinea.gov.cl). El costo del proyecto debe ser inferior a \$60.000.000, pues queda exento del informe del Ministerio de Desarrollo Social. Los establecimientos educacionales pueden optar a las líneas de emergencia o tradicional. El proyecto presentado debe ser independiente y autosuficiente, capaz de resolver la problemática que se está declarando, no puede corresponder a una etapa de un proyecto mayor. Los documentos que presentar son: planos, especificaciones técnicas, presupuesto desglosados, factibilidad técnica y un set fotográfico de la situación actual. La ejecución del proyecto puede ser a través de administración directa o licitación.

### Tramo 2

FRIL: Son proyectos postulados por los municipios al programa Fondo Regional de Iniciativa Local (FRIL) en donde su costo total no debe superar las 2000 UTM valorizadas al 1 de enero del ejercicio presupuestario vigente, con este monto, no requerirán del informe favorable del Ministerio de Desarrollo Social y las acciones deben destinarse a mantener o conservar infraestructura pública. Los establecimientos educacionales pueden optar a la tipología de proyecto corresponde a edificación pública. Se postula mediante oficio conductor firmado por alcalde dirigido al Sr. Intendente y Ejecutivo, ingresado en la oficina de partes de Intendencia, adjuntando: ficha de proyecto, especificaciones técnicas, presupuesto, planos, certificados de factibilidad, visación técnica de servicio público según tipología, fotografías situación actual, certificación de la propiedad, certificado del concejo municipal que respalda la iniciativa. La ejecución del proyecto puede ser a través de administración directa o licitación.

INTEGRAL MENOR A 2000 UTM: Corresponden a proyectos postulados por el municipio al Fondo de Apoyo a la Educación Pública (FEP) en donde su costo total no debe superar las 2000 UTM

valorizadas al 1 de enero del ejercicio presupuestario vigente, con este monto, no requerirán del informe favorable del Ministerio de Desarrollo Social. Los establecimientos deben optar a la tipología Conservación. Se postula a través de la plataforma [www.inframeducenlinea.cl](http://www.inframeducenlinea.cl) y debe presentar los siguientes antecedentes: especificaciones técnicas, planos, presupuesto desglosado, set fotográfico situación actual, formulario presentación de proyectos, titularidad del terreno, declaración de cuenta corriente y carta de compromiso. La ejecución del proyecto se debe realizar a través de licitación pública.

### **Tramo 3**

INTEGRAL MENOR A 5000 UTM: Corresponden a proyectos postulados por el municipio al Fondo de Apoyo a la Educación Pública (FEP), tiene las mismas exigencias que los proyectos de hasta 2000 UTM.

## **4.2 Propuestas de rehabilitación en envolvente por caso de estudio**

En relación con las características de cada escuela y su matrícula, se definen los tramos de financiamiento a los cuales pueden optar cada una. Las mejoras consisten principalmente en cambiar la envolvente: muros, vanos, techumbre. Las escuelas tienen independiente la estructura de la envolvente, lo que permite que sea factible constructivamente la rehabilitación de la envolvente.

Las soluciones constructivas que se plantean tienen como valor de transmitancia térmica en muros, vanos y techumbre, los valores recomendados por zona climática en la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos y los Términos de Referencia Estandarizados, lo que se logra es soluciones constructivas a valores financiables con recursos públicos, pero con el estándar que se está aplicando hoy en día a la edificación nueva.

Se utilizan soluciones constructivas basadas en paneles SIP, el cual es un sistema modular que constructivamente es factible de instalar en la estructura de las escuelas en estudio, lo que permite optimizar el tiempo de construcción.

Posteriormente el precio de cada solución se transforma en UF para que el estudio no se devalúe con el tiempo, si no que pueda mantenerse vigente.

Cada solución constructiva es simulada en el programa Design Builder el cual permite evaluar cómo funcionan los elementos que componen la envolvente y predecir las temperaturas operativas del interior del aula en rangos horarios, permitiendo obtener como resultado final el porcentaje del tiempo de ocupación en donde el aula se encuentre en confort.

Las soluciones constructivas se abreviarán como SC y estarán acompañadas de un número que definirá la alternativa propuesta.

#### 4.2.1 Rehabilitación envolvente Escuela Chaychayen

La Escuela Chaychayen como posee muy baja matrícula (4 alumnos), solo es posible optar a intervenciones enmarcadas dentro del tramo 1, que no sean superiores a sesenta millones.

En cuadro 27 se indican los valores de transmitancia térmica de la envolvente actual, comparándolos con los que recomienda la Guía AchEE y TDRé.

**Tabla 27. Valores transmitancia térmica recomendados para zona sur litoral**

	Guía AchEE	TDRé	Actual
<b>Muro</b>	0,4	0,6	2,4
<b>Techumbre</b>	0,22	0,4	3,2
<b>Vanos</b>		3,4	5,89

Las alternativas que se evalúan como mejoras para la envolvente de la Escuela Chaychayen, se orientan a cumplir con los valores de transmitancia térmica recomendados. De acuerdo con el costo de cada intervención se organizan de la forma indica en tabla 28.

**Tabla 28. Costos soluciones constructivas Escuela Chaychayen**

Tramo 1	HASTA	SIGLA	ALTERNATIVAS	\$	UF
	\$60.000.000	SC1	Muro + Ventana	\$35.415.298	1.313
SC2		Muro + Cubierta	\$41.002.691	1.520	
SC3		Ventana + Cubierta	\$50.200.492	1.862	
SC4		Muro + Ventana + Cubierta	\$58.914.437	2.185	

**Solución constructiva: Muro + Ventana (SC1)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 209 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>). Revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Ventana con vidrio termopanel (4-12-4). También se incluye cambiar las puertas en contacto con el exterior. El presupuesto se indica en tabla 29. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,188 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup> k; cubierta 3,198 W/m<sup>2</sup> k.

**Tabla 29. Presupuesto desglosado SC1 Escuela Chaychayen**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	138	\$2.100	\$289.800
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	138	\$10.100	\$1.393.800
3	Panel SIP 209 mm	m2	138	\$19.738	\$2.723.844
4	Membrana hidrofuga	m2	138	\$3.100	\$427.800
5	tinglado fibrocemento	m2	138	\$19.170	\$2.645.460
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	138	\$7.350	\$1.014.300
7	Retiro ventana	m2	88	\$1.800	\$158.400
8	Ventana termopanel	m2	88	\$165.000	\$14.520.000
9	Reposición puertas	un	4	\$85.000	\$340.000
10	Marcos puertas	un	4	\$12.800	\$51.200
11	Quincallería	un	4	\$55.000	\$220.000
12	Bisagras	un	4	\$6.000	\$24.000
				<b>Costo directo</b>	\$23.808.604
				<b>GG y U 25%</b>	\$5.952.151
				<b>Neto</b>	\$29.760.755
				<b>IVA 19%</b>	\$5.654.543
				<b>TOTAL</b>	\$35.415.298

La demanda por calefacción de la solución es 9607,17 kWh año, un 71% menos que el caso base y de refrigeración 49,3 kWh año que equivale a 2,28 veces más que el caso base.

En invierno la categoría de la solución se muestra en figura 37, que es letra D, subiendo dos letras en comparación con el caso base que es letra F. Las horas dentro del rango de confort son 116, lo que equivale a un 64% del tiempo de ocupación.

Bajo este rango figuran 37 horas en donde la temperatura más baja registrada corresponde a 13,7°C.

Sobre el rango figuran 27 horas que equivalen al 15% del tiempo de ocupación aumentando en relación con el caso base un 4%. La temperatura más alta registrada es de 31,6°C, la cual está 8,7°C sobre el límite superior del rango de confort.

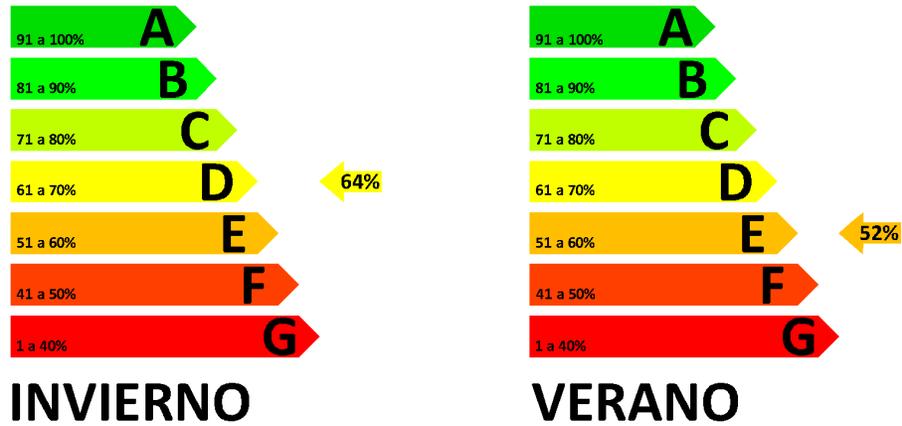


Figura 37. Clasificación confort térmico aula Escuela Chaychayen SC1

En verano el tiempo en confort es similar al del caso base siendo solo un 52%. No se registran temperaturas bajo el rango de confort, pero si sobre, llegando a registrar una temperatura máxima de 31,6°C.

**Solución constructiva: Muro + Cubierta (SC2)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 209 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>). Revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior en terciado ranurado de 12 mm. Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 254 mm. La terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm. La solución incluye el cambio de la canales y bajas de aguas lluvias más las puertas exteriores. El presupuesto se indica en tabla 30. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,188 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup> k; cubierta 0,157 W/m<sup>2</sup> k.

**Tabla 30. Presupuesto desglosado SC2 Escuela Chaychayen**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	138	\$2.100	\$289.800
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	138	\$10.100	\$1.393.800
3	Panel SIP 209 mm	m2	138	\$19.738	\$2.723.844
4	Membrana hidrofuga	m2	138	\$3.100	\$427.800
5	tinglado fibrocemento	m2	138	\$19.170	\$2.645.460
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	138	\$7.350	\$1.014.300
7	Retiro cubierta	m2	335	\$2.400	\$804.000
8	Reposicion estructura techumbre	m2	335	\$9.100	\$3.048.500
9	Panel SIP 254 mm	m2	335	\$21.038	\$7.047.730
10	Membrana hidrofuga	m2	335	\$3.100	\$1.038.500
11	Cubierta tipo PV-4	m2	335	\$11.600	\$3.886.000
12	Yeso Cartón 15mm cielo	m2	262	\$7.550	\$1.978.100
13	Hojalaterias	ml	60	\$4.375	\$262.500
14	Tapacan	ml	21	\$3.300	\$69.300
15	Sellos	gl	1	\$300.000	\$300.000
16	Reposición puertas	un	4	\$85.000	\$340.000
17	Marcos puertas	un	4	\$12.800	\$51.200
18	Quincailleria	un	4	\$55.000	\$220.000
19	Bisagras	un	4	\$6.000	\$24.000
				<b>Costo directo</b>	\$27.564.834
				<b>GG y U 25%</b>	\$6.891.209
				<b>Neto</b>	\$34.456.043
				<b>IVA 19%</b>	\$6.546.648
				<b>TOTAL</b>	\$41.002.691

La solución demanda para calefacción 10747,17 kWh año que es un 68% menos en comparación con el caso base y para refrigeración 50 kWh año que es 2,3 veces más que el caso base.

La clasificación del confort del aula para esta estrategia se indica en figura 38, donde en invierno la categoría es la letra E mejorando en relación con el caso base. Las horas dentro del rango corresponden a 108 horas equivaliendo a un 60% del tiempo de ocupación.

Las temperaturas bajo el rango equivalen a un 27% del tiempo de ocupación registrando como temperatura más baja 11,5°C.

Las temperaturas sobre el rango equivalen a un 13% del tiempo de ocupación, registrando como temperatura más alta 32,8°C.

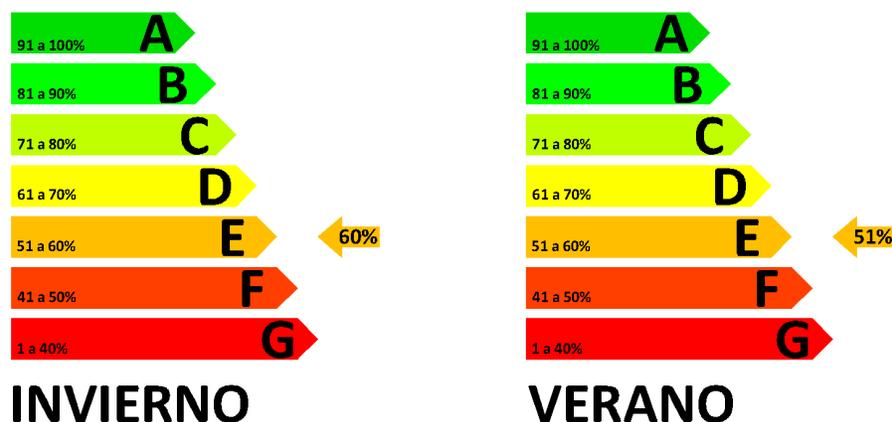


Figura 38. Clasificación confort térmico aula Escuela Chaychayen SC2

En verano la clasificación es letra E igual que el caso base, sin embargo, las horas en confort del caso base son 95 y la de la solución 91 horas.

Las temperaturas registradas bajo el rango superan los 12°C, con un tiempo de ocupación del 7%, las que se registran entre las 8 y 9 de la mañana.

Sobre el rango se identifican 77 horas, en donde la temperatura más alta de 30,7°C estando esta sobre el rango superior de confort 6,7°C.

### Solución constructiva: Ventana + Cubierta (SC3)

Se mantiene el muro existente el cual se compone de una estructura de madera sin aislación térmica y barrera contra la humedad, revestida tanto al interior como el exterior de madera traslapada, más cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 254 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de 232 mm de espesor. La terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm. Ventana con vidrio termopanel (4-12-4). El presupuesto se indica en tabla 31, incluye el cambio de la canales y bajas de aguas lluvias más el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 2,351 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup> k; cubierta 0,157 W/m<sup>2</sup> k.

Tabla 31. Presupuesto desglosado SC3 Escuela Chaychayen

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro ventana	m2	88	\$1.800	\$158.400
2	Ventana termopanel	m2	88	\$165.000	\$14.520.000
3	Retiro cubierta	m2	335	\$2.400	\$804.000
4	Reposicion estructura techumbre	m2	335	\$9.100	\$3.048.500
5	Panel SIP 254 mm	m2	335	\$21.038	\$7.047.730
6	Membrana hidrofuga	m2	335	\$3.100	\$1.038.500
7	Cubierta tipo PV-4	m2	335	\$11.600	\$3.886.000
8	Yeso cartón 15mm cielo	m2	262	\$7.550	\$1.978.100
9	Hojalaterias	ml	60	\$4.375	\$262.500
10	Tapacan	ml	21	\$3.300	\$69.300
11	Sellos	gl	1	\$300.000	\$300.000
12	Reposición puertas	un	4	\$85.000	\$340.000
13	Marcos puertas	un	4	\$12.800	\$51.200
14	Quincalleria	un	4	\$55.000	\$220.000
15	Bisagras	un	4	\$6.000	\$24.000
				<b>Costo directo</b>	\$33.748.230
				<b>GG y U 25%</b>	\$8.437.058
				<b>Neto</b>	\$42.185.288
				<b>IVA 19%</b>	\$8.015.205
				<b>TOTAL</b>	\$50.200.492

La solución simulada demanda en calefacción 12621,05 kWh año y en refrigeración 58,78 kWh año. Al comparar estos resultados con el caso base vemos que los valores disminuyen en calefacción casi 3 veces y aumentan en refrigeración. Los resultados de confort térmico de la estrategia simulada se muestran en figura 39.

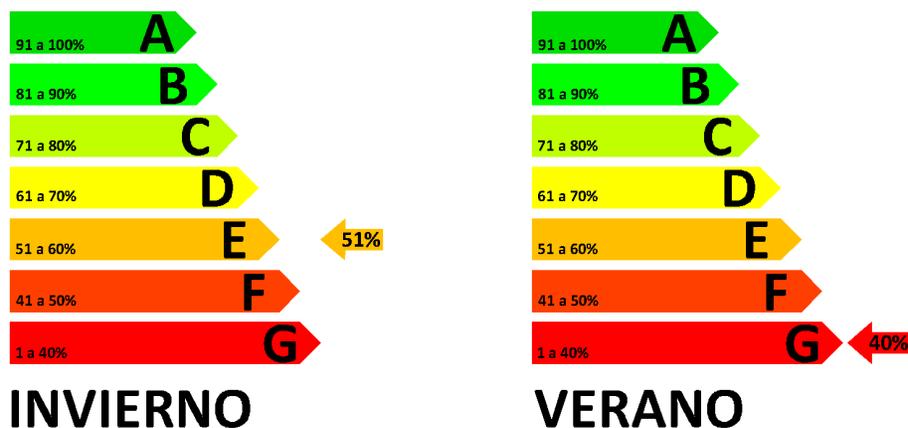


Figura 38. Clasificación confort térmico aula Escuela Chaychayen SC3

En invierno se registran 67 horas bajo el rango de confort donde la temperatura más baja que se registra corresponde a 9,1°C, estando esta temperatura 8,8°C bajo el límite inferior del rango. Las horas dentro del rango son 91 equivaliendo al 51% del tiempo de ocupación. Sobre el rango se registran 22 horas con una temperatura máxima de 32,7°C a las 16:00 horas. En verano la solución muestra resultados más desfavorables que el caso base, solo con 72 horas dentro del rango de confort. Sin embargo, el mayor porcentaje es sobre el rango las cuales son 73 horas en donde la temperatura máxima es de 32,8°C estando esta temperatura 8,8°C sobre el límite superior del rango de confort.

#### **Solución constructiva: Muro + Ventana + Cubierta (SC4)**

Se contempla el cambio de la envolvente completa, sin embargo, en relación con las soluciones anteriores, se modifica el espesor del panel SIP del muro y cubierta, para que la solución en costos se enmarque en el tramo de financiamiento.

Se compone de un muro en base a panel SIP de 92 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de 70 mm de espesor. Revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Ventana con vidrio termopanel (4-12-4). Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 141 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de 119 mm de espesor. La terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm.

A diferencia de las otras soluciones no considera el cambio de las puertas exteriores, de lo contrario el presupuesto aumentaría, no estando en el tramo financiable.

El presupuesto de la estrategia se indica en tabla 32. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,438 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup> k; cubierta 0,291 W/m<sup>2</sup> k.

**Tabla 32. Presupuesto desglosado SC4 Escuela Chaychayen**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	138	\$2.100	\$289.800
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	138	\$10.100	\$1.393.800
3	Panel SIP 92 mm	m2	138	\$14.278	\$1.970.364
4	Membrana hidrofuga	m2	138	\$3.100	\$427.800
5	tinglado fibrocemento	m2	138	\$19.170	\$2.645.460
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	138	\$7.350	\$1.014.300
7	Retiro ventana	m2	88	\$1.800	\$158.400
8	Ventana termopanel	m2	88	\$165.000	\$14.520.000
9	Retiro cubierta	m2	335	\$2.400	\$804.000
10	Reposicion estructura techumbre	m2	335	\$9.100	\$3.048.500
11	Panel SIP 141 mm	m2	335	\$17.312	\$5.799.520
12	Membrana hidrofuga	m2	335	\$3.100	\$1.038.500
13	Cubierta tipo PV-4	m2	335	\$11.600	\$3.886.000
14	Volcanita RH 15mm cielo	m2	262	\$7.550	\$1.978.100
15	Hojalaterias	ml	60	\$4.375	\$262.500
16	Tapacan	ml	21	\$3.300	\$69.300
17	Sellos	gl	1	\$300.000	\$300.000
				<b>Costo directo</b>	\$39.606.344
				<b>GG y U 25%</b>	\$9.901.586
				<b>Neto</b>	\$49.507.930
				<b>IVA 19%</b>	\$9.406.507
				<b>TOTAL</b>	\$58.914.437

La simulación solución da como demanda de calefacción 10454,83 kWh año, valor que disminuye un 68% en relación con el caso base simulado. La demanda por refrigeración es de 48,72 kWh año, dos veces más que el caso base.

La evaluación del confort del aula durante el invierno al cambiar las tres envolventes (muro-ventana-cubierta) da como resultado que 113 horas se encuentran dentro del rango de confort las cuales se concentran entre las 8:00 y las 12:00 horas principalmente. Las horas que se registran bajo el rango equivalen a 23% de las horas de ocupación, registrando una temperatura mínima de 13,1°C. Las horas que se registran sobre el rango son 25 equivaliendo al 14% del tiempo de ocupación. La categoría durante el invierno cambia a la letra D como se muestra en figura 41.

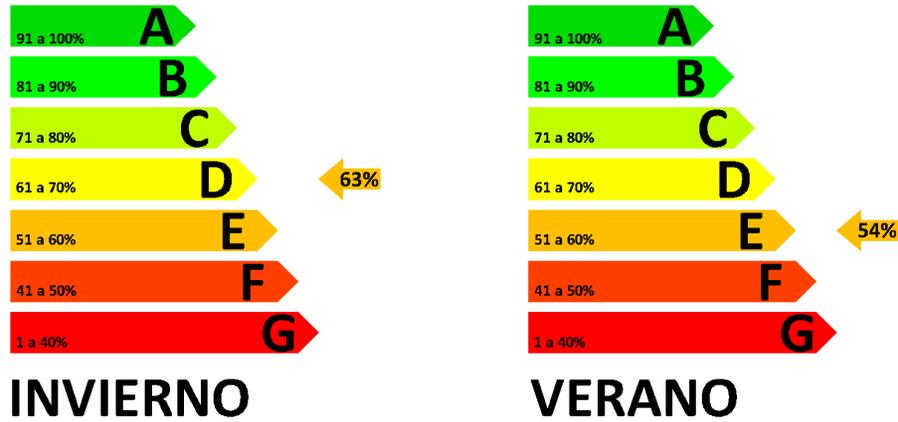


Figura 41. Clasificación confort térmico aula Escuela Chaychayen SC4

En verano no se registran temperaturas bajo el rango de confort. Dentro del rango 97 horas las cuales se concentran principalmente entre las 8:00 y las 12:00 horas. Sobre el rango un 46% del con una temperatura máxima de 31°C estando 7°C sobre la temperatura superior del rango del confort.

**Resumen soluciones constructivas en Escuela Chaychayen**

Al evaluar en conjunto los resultados del caso base más las cuatro soluciones, nos encontramos con que las tres soluciones durante el verano tienen resultados similares en cuanto al porcentaje del tiempo de ocupación en confort. Ninguna solución mejora la clasificación del caso base en verano, como se muestra en tabla 33, sin embargo, solo una solución baja la categoría de confort a la letra G, la SC3.

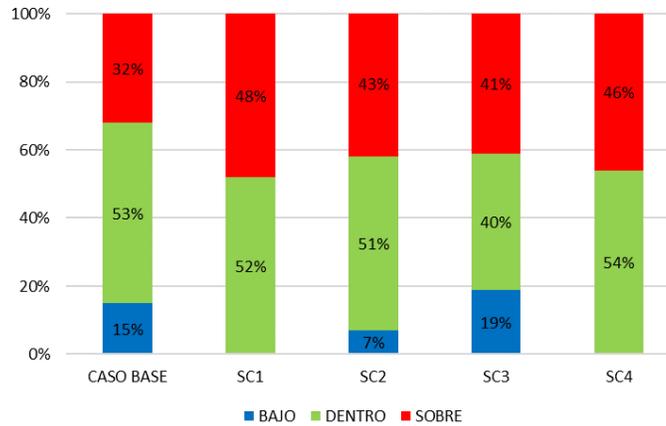
Tabla 33. Categoría confort por solución en invierno y verano Escuela Chaychayen

	CATEGORÍA	
	INVIERNO	VERANO
CASO BASE	F	E
SC1	D	E
SC2	E	E
SC3	E	G
SC4	D	E

Como se muestra en gráfico 9, al revisar más a fondo los resultados en verano, las horas con menos tiempo sobre el rango de confort son el caso base, esto se debe a las mayores infiltraciones

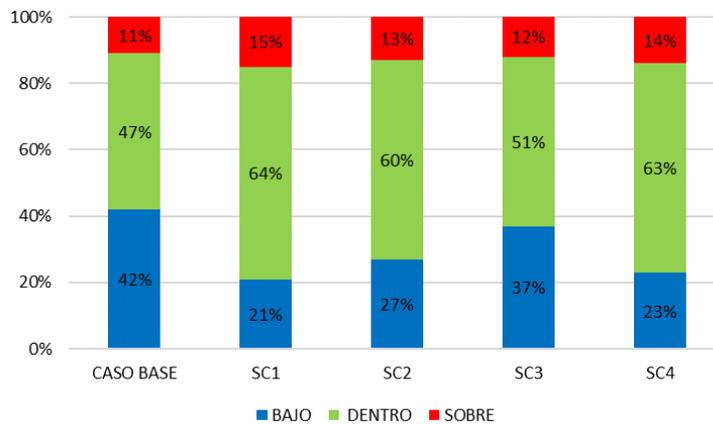
que posee, mientras que las soluciones constructivas van bajando los índices de infiltraciones, dado que las cuatro estrategias se concentran sobre el 40% del tiempo de ocupación con temperaturas sobre el rango de confort. Las soluciones SC1 y SC2 no registran horas bajo el rango de confort, siendo estas dos alternativas las que presentan mejores resultados que el caso base.

**Gráfico 9. Porcentaje del tiempo en confort por solución en verano Escuela Chaychayen**



Al evaluar las cuatro soluciones en invierno como se muestra en gráfico 10, la SC1 es la que presenta menos tiempo bajo el rango de confort con un total de 37 horas, sin embargo, la que registra menos tiempo sobre el rango de confort es el caso base. Las cuatro soluciones mejoran la categoría del caso base y los mejores resultados son en SC1 y SC4.

**Gráfico 10. Porcentaje del tiempo en confort por solución en invierno Escuela Chaychayen**

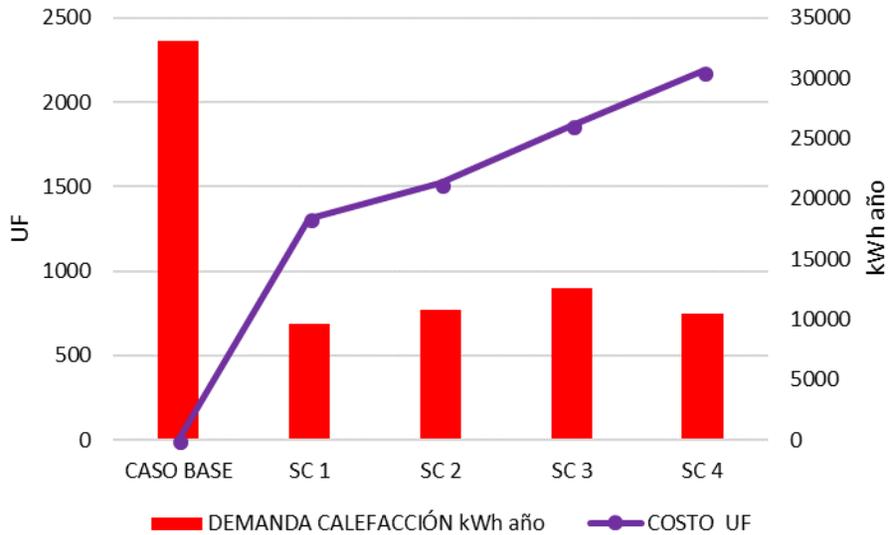


Al comparar las demandas de calefacción y el costo de cada estrategia como se muestra en gráfico 11, la SC1 es la que tiene menos demanda y también menos inversión. La SC2 y SC4 tienen

demanda por calefacción similares, sin embargo, la inversión es distinta de 1520 UF la SC2 a 2185 UF la SC4.

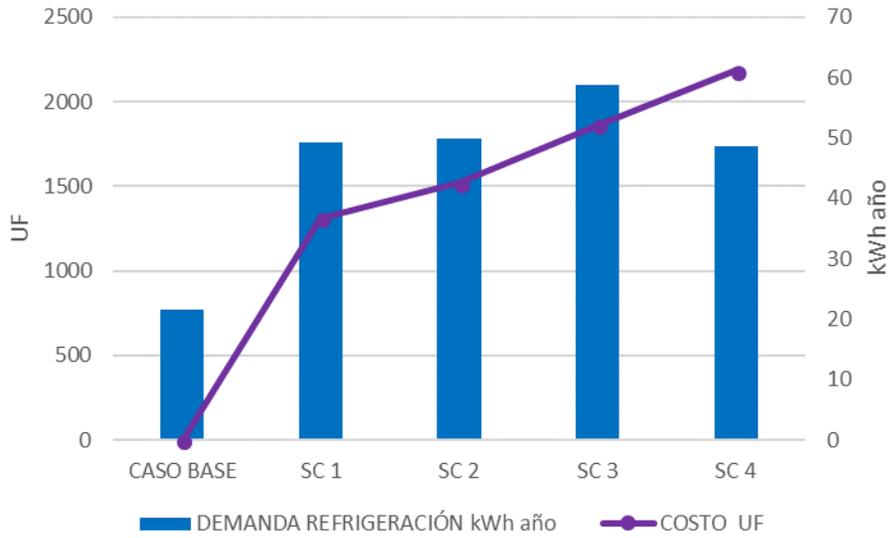
La solución que demanda kWh de calefacción dentro de los consumos actuales de la escuela es la SC1, el consumo actual por calefacción es de 9.719,5 kWh año y SC1 es de 9.607,17 kWh año.

**Gráfico 11. Demanda calefacción y costos de soluciones Escuela Chaychayen**



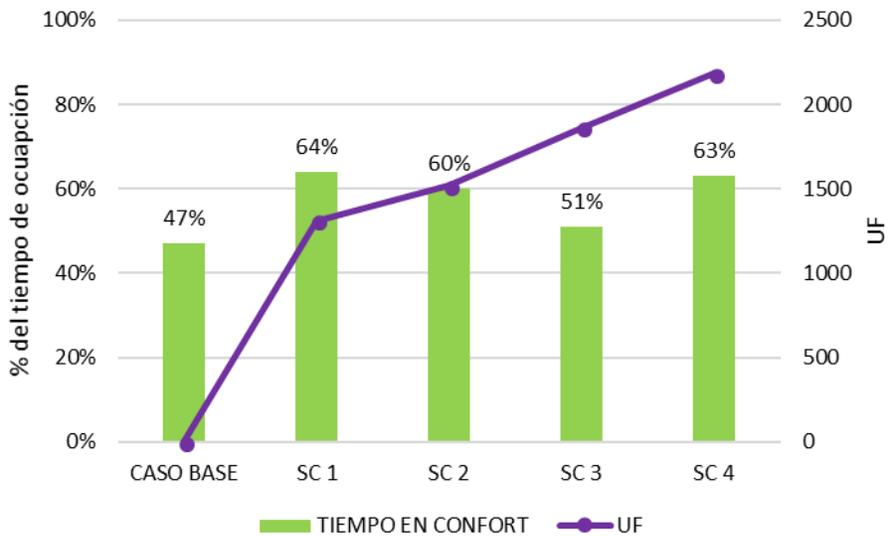
En cuanto a la demanda por refrigeración como se indica en gráfico 12, todas las soluciones simuladas suben en comparación con el caso base, siendo la SC4 la que tiene menor incremento, el cual es 56% más que el caso base siendo la estrategia de mayor inversión. La sigue SC1 y SC2, con 49,3 kWh año y 50 kWh año respectivamente a una inversión menor que la SC4, siendo SC3 la que demanda más refrigeración.

**Gráfico 12. Demanda refrigeración y costos de soluciones Escuela Chaychayen**



Al comparar el tiempo en confort con el costo de la solución como se muestra en gráfico 13, podemos observar que la SC1 en donde solo se cambia el muro y la ventana se obtienen similares porcentajes de confort que SC4 en donde se cambia muro, ventana y cubierta, sin embargo, la inversión de SC1 es la menor, siendo SC4 la mayor. SC3 que es el cambio de la cubierta más la ventana tiene una inversión de 1862 UF, sin embargo, es la solución con menor tiempo en confort.

**Gráfico 13. Tiempo en confort y costos de soluciones Escuela Chaychayen**



#### 4.2.2 Rehabilitación envolvente Escuela Rayen Mahuida

La Escuela Rayen Mahuida como posee una matrícula intermedia (14 alumnos), puede optar a intervenciones enmarcadas dentro del tramo 1 y 2, que no sean superiores a 2000 UTM.

En cuadro 34 se indican los valores de transmitancia térmica de la envolvente actual, comparándolos con los que recomienda la Guía AChEE y TDRé.

Tabla 34. Valores transmitancia térmica recomendados para zona sur interior

	Guía AChEE	TDRé	Actual
<b>Muro</b>	0,19	0,5	2,4
<b>Techumbre</b>	0,15	0,3	3,2
<b>Vanos</b>		3,4	5,89

Las soluciones que se evalúan como mejoras para la envolvente de la Escuela Rayen Mahuida, se orientan a cumplir con los valores de transmitancia térmica recomendados. De acuerdo con el costo de cada intervención se organizan en tabla 35.

Tabla 35. Costos soluciones constructivas para Escuela Rayen Mahuida

TRAMO	HASTA	SIGLA	ALTERNATIVAS	\$	UF
1	\$60.000.000	SC1	Muro + Ventana	\$49.566.323	1838
		SC2	Muro + Cubierta	\$59.982.847	2224
2	\$94.038.000	SC3	Muro + Cubierta	\$67.700.702	2511
		SC4	Ventana + Cubierta	\$72.600.679	2692
		SC5	Muro + Cubierta + Ventana	\$83.122.961	3082
		SC6	Muro + Cubierta + Ventana	\$92.919.173	3446

#### Solución constructiva: Muro + Ventana (SC1)

Se compone de un muro en base a panel SIP de 209 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 187 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Ventana con vidrio termopanel (4-12-4). También se incluye cambiar las puertas en contacto con el exterior. El presupuesto se indica en tabla 36. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,188 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup> k; cubierta 3,198 W/m<sup>2</sup> k.

**Tabla 36. Presupuesto desglosado SC1 Escuela Rayen Mahuida**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	231	\$2.100	\$485.100
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	231	\$10.100	\$2.333.100
3	Panel SIP 209 mm	m2	231	\$19.738	\$4.559.478
4	Membrana hidrofuga	m2	231	\$3.100	\$716.100
5	tinglado fibrocemento	m2	231	\$19.170	\$4.428.270
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	231	\$7.350	\$1.697.850
7	Retiro ventana	m2	105	\$1.800	\$189.000
8	Ventana termopanel	m2	105	\$165.000	\$17.325.000
9	Puerta	un	10	\$85.000	\$850.000
10	Marcos puertas	un	10	\$12.800	\$128.000
11	quincallería	un	10	\$55.000	\$550.000
12	Bisagras	un	10	\$6.000	\$60.000
				<b>Costo directo</b>	\$33.321.898
				<b>GG y U 25%</b>	\$8.330.475
				<b>Neto</b>	\$41.652.373
				<b>IVA 19%</b>	\$7.913.951
				<b>TOTAL</b>	\$49.566.323

La simulación térmica dinámica de la solución demanda 21.273,6 kWh año de calefacción valor inferior al caso base y en refrigeración 835,14 kWh año valor superior al caso base.

La categoría de confort del aula se muestra en figura 42. En invierno el tiempo mejora en relación con el caso base, sin embargo, la categoría sigue siendo la misma G. Bajo el rango se registran 98 horas y la temperatura más baja es de 10,6°C, siendo el valor más alto de esta alternativa el estar bajo el rango de confort. Sobre el rango se registra un 15% del tiempo de ocupación con una temperatura máxima 27,4°C estando 4,7°C sobre la temperatura superior del rango de confort.

En verano solo se registran 7 horas bajo el rango y 114 dentro. En comparación con el caso base la categoría sube a D. Las temperaturas sobre el rango de confort corresponden a un 33% del tiempo, con una máxima de 30,3°C.

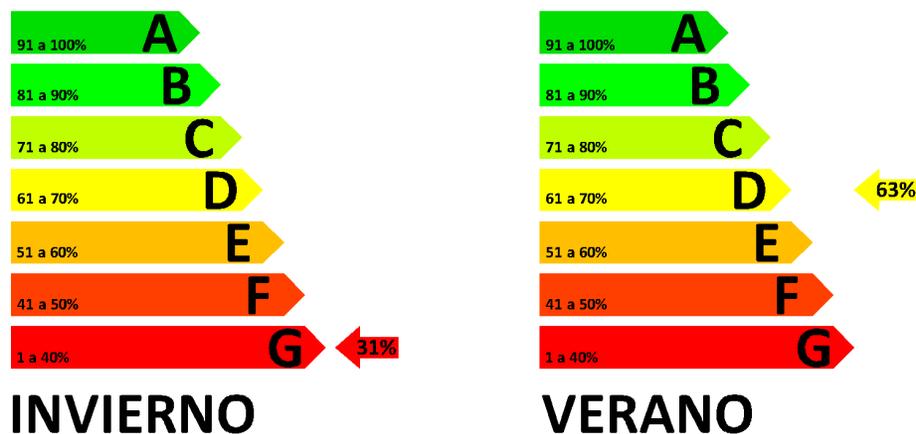


Figura 42. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC1

**Solución constructiva: Muro + Cubierta (SC2)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 69 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 50 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior enterciado ranurado de 12 mm. Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 141 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 119 mm. La terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm.

El presupuesto de la solución se indica en tabla 37. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,568 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,274 W/m<sup>2</sup>k.

La demanda por calefacción de la solución es de 20.573,52 kWh año inferior en un 38% a lo que demandaba el caso base. La refrigeración que demanda es de 812,1 kWh año, superior al caso base.

El confort se registra durante 37 horas entre las 10:00 y 13:00 horas, bajo el rango 119 horas de las cuales 30 horas están bajo los 12°C, registrando como temperatura mínima 7,6°C. Sobre el rango se registran 24 horas entre las 14:00 y las 16:00 horas con una máxima de 27,1°C estando 4,4°C sobre la temperatura superior del rango de confort.

Tabla 37. Presupuesto desglosado SC2 Escuela Rayen Mahuida

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	231	\$2.100	\$485.100
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	231	\$10.100	\$2.333.100
3	Panel SIP 69 mm	m2	231	\$13.152	\$3.038.112
4	Membrana hidrofuga	m2	231	\$3.100	\$716.100
5	tinglado fibrocemento	m2	231	\$19.170	\$4.428.270
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	231	\$7.350	\$1.697.850
7	Retiro cubierta	m2	558	\$2.400	\$1.339.200
8	Reposicion estructura techumbre	m2	558	\$9.100	\$5.077.800
9	Panel SIP 141 mm	m2	558	\$17.312	\$9.660.096
10	Membrana hidrofuga	m2	558	\$3.100	\$1.729.800
11	Cubierta tipo PV-4	m2	558	\$11.600	\$6.472.800
12	Yeso Cartón 15mm cielo	m2	298	\$7.550	\$2.249.900
13	Hojalaterias	ml	95	\$4.375	\$415.625
14	Tapacan	ml	24,5	\$3.300	\$80.850
15	Sellos	gl	1	\$600.000	\$600.000
				<b>Costo directo</b>	\$40.324.603
				<b>GG y U 25%</b>	\$10.081.151
				<b>Neto</b>	\$50.405.754
				<b>IVA 19%</b>	\$9.577.093
				<b>TOTAL</b>	\$59.982.847

Con esta solución la categoría del confort en invierno se mantiene en relación con el caso base en la letra G. En figura 43 se indican las categorías de confort de la solución simulada.

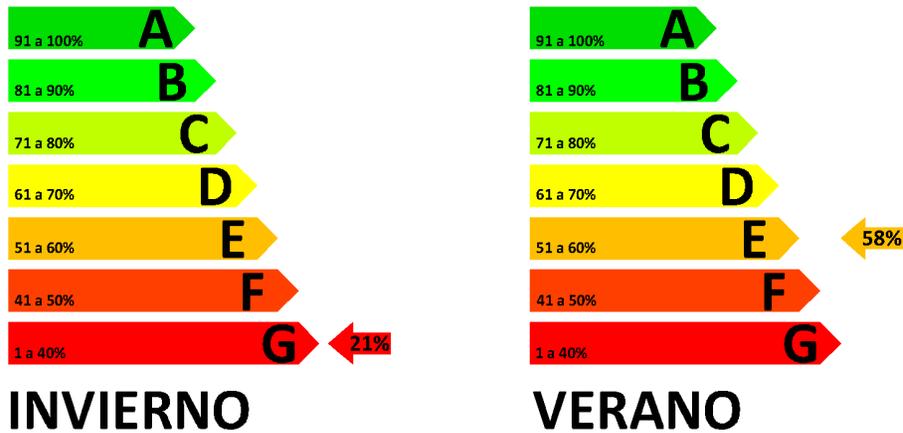


Figura 43. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC2

En verano la categoría de confort cambia desde el caso base de la letra F a la letra E con 104 horas dentro del rango de confort las que se registran entre las 11:00 y las 15:00 horas. Bajo el rango se

registran 33 horas de las cuales todas están sobre los 12°C. Sobre el rango se registran 43 horas que equivalen al 24% del tiempo de ocupación del aula, en donde se registra la temperatura más alta de 30,1°C.

### **Solución constructiva: Muro + Cubierta (SC3)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 209 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 187 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 254 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm. La terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm.

El presupuesto se indica en tabla 38 el cual incluye el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,188 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,152 W/m<sup>2</sup>k.

La demanda por calefacción es de 23012,66 kWh año, disminuyendo en relación con el caso base un 30%. La refrigeración es de 794,78 kWh año aumentado con relación al caso base un 33%.

La categoría del confort del aula en SC3 para invierno corresponde a la letra G manteniendo la misma categoría del caso base con un 23% del tiempo de ocupación en confort, como se indica en figura 44, mejorando un 4% en relación con el caso base. Bajo el rango 113 horas, donde 24 se encuentran bajo los 12°C, identificándose como mínima 8,3°C, la cual tiene una diferencia de 9,4°C de la temperatura inferior del rango de confort.

Tabla 38. Presupuesto desglosado SC3 Escuela Rayen Mahuida

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	231	\$2.100	\$485.100
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	231	\$10.100	\$2.333.100
3	Panel SIP 209 mm	m2	231	\$19.738	\$4.559.478
4	Membrana hidrofuga	m2	231	\$3.100	\$716.100
5	tinglado fibrocemento	m2	231	\$19.170	\$4.428.270
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	231	\$7.350	\$1.697.850
7	Retiro cubierta	m2	558	\$2.400	\$1.339.200
8	Reposicion estructura techumbre	m2	558	\$9.100	\$5.077.800
9	Panel SIP 254 mm	m2	558	\$21.038	\$11.739.204
10	Membrana hidrofuga	m2	558	\$3.100	\$1.729.800
11	Cubierta tipo PV-4	m2	558	\$11.600	\$6.472.800
12	Yeso cartón 15mm cielo	m2	298	\$7.550	\$2.249.900
13	Hojalaterias	ml	95	\$4.375	\$415.625
14	Tapacan	ml	24,5	\$3.300	\$80.850
15	Sellos	gl	1	\$600.000	\$600.000
16	Puerta	un	10	\$85.000	\$850.000
17	Marcos puertas	un	10	\$12.800	\$128.000
18	quincailleria	un	10	\$55.000	\$550.000
19	Bisagras	un	10	\$6.000	\$60.000
				<b>Costo directo</b>	\$45.513.077
				<b>GG y U 25%</b>	\$11.378.269
				<b>Neto</b>	\$56.891.346
				<b>IVA 19%</b>	\$10.809.356
				<b>TOTAL</b>	\$67.700.702

Sobre el rango se identifican un 14% del tiempo de ocupación, en donde la máxima es de 27,3°C, con una diferencia de 4,6°C de la temperatura superior del rango de confort.

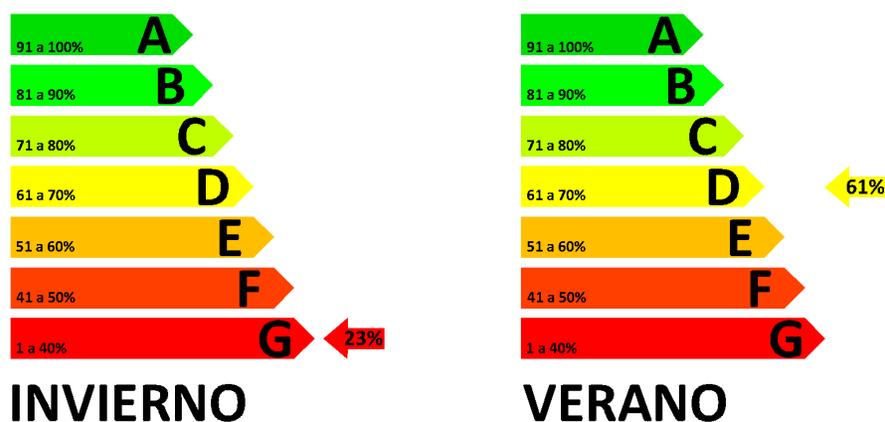


Figura 44. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC3

La categoría del confort en verano sube a la letra D en esta solución, con 109 horas las cuales se concentran entre las 10:00 y las 14:00 horas.

Las temperaturas bajo el rango que se identifican son 24 horas, siendo estas temperaturas superiores a los 12°C.

Sobre el rango se registran 47 horas con una máxima de 30,3°C, con una diferencia de 5,2°C de la temperatura superior del rango de confort.

**Solución constructiva: Ventana + Cubierta (SC4)**

Se compone del muro original el cual es una estructura de madera, sin aislación térmica y sin barrera de humedad revestida por el interior y el exterior en madera traslapada, cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 254 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm, más una ventana con vidrio termopanel (4-12-4).

El presupuesto se indica en tabla 39 el cual incluye el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 2,351 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,152 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 39. Presupuesto desglosado SC4 Escuela Rayen Mahuida**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro ventana	m2	105	\$1.800	\$189.000
2	Ventana termopanel	m2	105	\$165.000	\$17.325.000
3	Retiro cubierta	m2	558	\$2.400	\$1.339.200
4	Reposicion estructura techumbre	m2	558	\$9.100	\$5.077.800
5	Panel SIP 254 mm	m2	558	\$21.038	\$11.739.204
6	Membrana hidrofuga	m2	558	\$3.100	\$1.729.800
7	Cubierta tipo PV-4	m2	558	\$11.600	\$6.472.800
8	Yeso Cartón 15mm cielo	m2	298	\$7.550	\$2.249.900
9	Hojalaterias	ml	95	\$4.375	\$415.625
10	Tapacan	ml	24,5	\$3.300	\$80.850
11	Sellos	gl	1	\$600.000	\$600.000
12	Puerta	un	10	\$85.000	\$850.000
13	Marcos puertas	un	10	\$12.800	\$128.000
14	quincalleria	un	10	\$55.000	\$550.000
15	Bisagras	un	10	\$6.000	\$60.000
				<b>Costo directo</b>	\$48.807.179
				<b>GG y U 25%</b>	\$12.201.795
				<b>Neto</b>	\$61.008.974
				<b>IVA 19%</b>	\$11.591.705
				<b>TOTAL</b>	\$72.600.679

La demanda por calefacción es de 20.658,35 kWh año, disminuyendo un 37% en relación con el caso base. La demanda por refrigeración es de 909,64 aumentando en un 53% en relación con el caso base.

En invierno la categoría de la solución se mantiene en la letra G, como se aprecia en figura 45, aunque aumenta un 1% en comparación con el caso base. Las horas en confort son 35.

Un total de 122 horas que equivalen al 67% del tiempo de ocupación del aula se encuentran bajo el rango de confort en donde 41 horas se registran bajo los 12°C con una temperatura mínima de 6,2°C, estando 11,5°C bajo la temperatura inferior del rango de confort.

Entre las 14:00 y las 16:00 horas se concentran las temperaturas sobre el rango que son 23 horas donde la máxima es de 27°C, la cual registra una diferencia de 4,3°C sobre la temperatura superior del rango de confort.

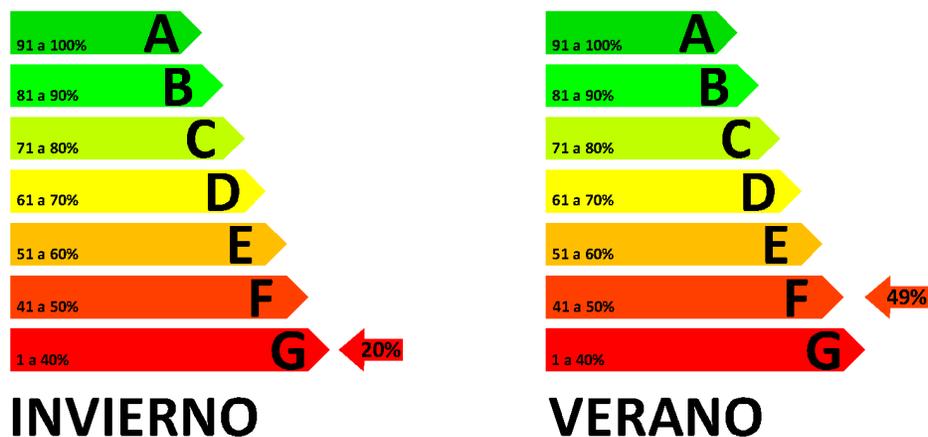


Figura 45. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC4

En verano la clasificación se mantiene en la letra F en comparación con el caso base mejorando en un 6%. Las horas en confort corresponde a 88.

De las horas bajo el rango no se registran temperaturas bajo los 12°C, siendo la temperatura mínima de 14,6°C.

Sobre el rango se registra un 25% del tiempo de ocupación correspondiendo a 45 horas en donde la máxima es de 31,8°, diferenciándose en 6,9°C de la temperatura superior del rango de confort.

**Solución constructiva: Muro + Ventana + Cubierta (SC5)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 69 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 50 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 141 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 119 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm y ventana con vidrio termopanel (4-12-4).

El presupuesto se indica en tabla 40 el cual incluye el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,568 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,274 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 40. Presupuesto desglosado SC5 Escuela Rayen Mahuida**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	231	\$2.100	\$485.100
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	231	\$10.100	\$2.333.100
3	Panel SIP 69 mm	m2	231	\$13.152	\$3.038.112
4	Membrana hidrofuga	m2	231	\$3.100	\$716.100
5	tinglado fibrocemento	m2	231	\$19.170	\$4.428.270
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	231	\$7.350	\$1.697.850
7	Retiro ventana	m2	105	\$1.800	\$189.000
8	Ventana termopanel	m2	105	\$165.000	\$17.325.000
9	Retiro cubierta	m2	558	\$2.400	\$1.339.200
10	Reposicion estructura techumbre	m2	558	\$9.100	\$5.077.800
11	Panel SIP 141 mm	m2	558	\$17.312	\$9.660.096
12	Membrana hidrofuga	m2	558	\$3.100	\$1.729.800
13	Cubierta tipo PV-4	m2	558	\$11.600	\$6.472.800
14	Yeso cartón 15mm cielo	m2	298	\$7.550	\$2.249.900
15	Hojalaterias	ml	95	\$4.375	\$415.625
16	Tapacan	ml	24,5	\$3.300	\$80.850
17	Sellos	gl	1	\$600.000	\$600.000
18	Puerta	un	10	\$85.000	\$850.000
19	Marcos puertas	un	10	\$12.800	\$128.000
20	Quincailleria	un	10	\$55.000	\$550.000
21	Bisagras	un	10	\$6.000	\$60.000
				<b>Costo directo</b>	\$59.426.603
				<b>GG y U 25%</b>	\$14.856.651
				<b>Neto</b>	\$74.283.254
				<b>IVA 19%</b>	\$8.839.707
				<b>TOTAL</b>	\$83.122.961

La demanda por calefacción de la solución simulada corresponde a 23.717,6 kWh año disminuyendo un 28% en relación con el caso base y la demanda de refrigeración es de 841,57kWh año aumentado un 41% en comparación con el caso base.

La categoría en invierno se mantiene en la letra G como se indica en figura 46, en comparación con el caso base, mejorando un 9%. Las horas dentro del rango son 51 las que se concentran principalmente entre las 11:00 y 14:00 horas.

Bajo el rango se registran 104 horas que equivalen donde solo durante 9 horas se registraron temperaturas inferiores a los 12°C, con una temperatura mínima de 9,5°C.

Sobre el rango se registraron 25 horas con una temperatura máxima de 27,1°C.

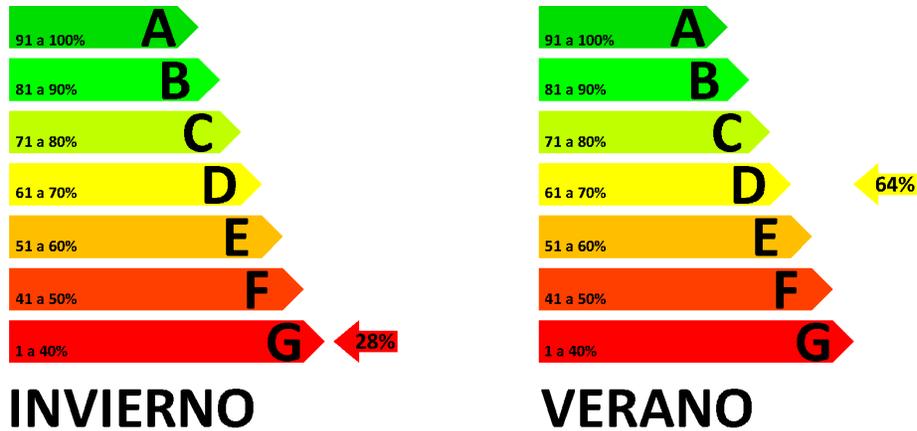


Figura 46. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC5

En verano la categoría en relación con el caso base cambia a la letra D subiendo un 21%. Las horas dentro del rango de confort corresponden a 115.

Bajo en rango solo se registran 13 horas con temperaturas superiores a los 12°C.

Sobre el rango se identifican 52 horas, con una máxima 30,2°C el cual está 5,3°C sobre el límite superior del rango de confort.

**Solución constructiva: Muro + Ventana + Cubierta (SC6)**

Muro en base a panel SIP de 141 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 119 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior terciado ranurado de 12 mm. Cubierta con revestimiento exterior de zinc PV-4 espesor de 0,5mm, sobre panel SIP de 254 mm con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm y ventana con vidrio termopanel (4-12-4).

El presupuesto se indica en tabla 41 el cual incluye el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,281 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,152 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 41. Presupuesto desglosado SC6 Escuela Rayen Mahuida**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Retiro muro	m2	231	\$2.100	\$485.100
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	231	\$10.100	\$2.333.100
3	Panel SIP 141mm	m2	231	\$17.312	\$3.999.072
4	Membrana hidrofuga	m2	231	\$3.100	\$716.100
5	tinglado fibrocemento	m2	231	\$19.170	\$4.428.270
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	231	\$7.350	\$1.697.850
7	Retiro ventana	m2	105	\$1.800	\$189.000
8	Ventana termopanel	m2	105	\$165.000	\$17.325.000
9	Retiro cubierta	m2	558	\$2.400	\$1.339.200
10	Reposicion estructura techumbre	m2	558	\$9.100	\$5.077.800
11	Panel SIP 254 mm	m2	558	\$21.038	\$11.739.204
12	Membrana hidrofuga	m2	558	\$3.100	\$1.729.800
13	Cubierta tipo PV-4	m2	558	\$11.600	\$6.472.800
14	Yeso cartón 15mm cielo	m2	298	\$7.550	\$2.249.900
15	Hojalaterias	ml	95	\$4.375	\$415.625
16	Tapacan	ml	24,5	\$3.300	\$80.850
17	Sellos	gl	1	\$600.000	\$600.000
18	Puerta	un	10	\$85.000	\$850.000
19	Marcos puertas	un	10	\$12.800	\$128.000
20	quincailleria	un	10	\$55.000	\$550.000
21	Bisagras	un	10	\$6.000	\$60.000
				<b>Costo directo</b>	\$62.466.671
				<b>GG y U 25%</b>	\$15.616.668
				<b>Neto</b>	\$78.083.339
				<b>IVA 19%</b>	\$14.835.834
				<b>TOTAL</b>	\$92.919.173

La demanda por calefacción de la solución es de 22.451,12 kWh año disminuyendo en un 32% en relación con el caso base. La demanda por refrigeración es de 846,73 kWh año aumentando en un 42% en comparación con el caso base.

La categoría durante el invierno en comparación con el caso base se mantiene en la letra G como se muestra en figura 47, sin embargo, sube un 11%. Las horas dentro del rango son 54, las cuales se registran principalmente entre las 10:00 y 14:00 horas.

Bajo el rango se registran 100 horas de las cuales 6 están bajo los 12°C. La temperatura mínima registrada corresponde a 10,2°C.

Sobre el rango se registran 26 horas con una máxima de 27,3°C estando 4,6°C sobre la temperatura superior del rango de confort.

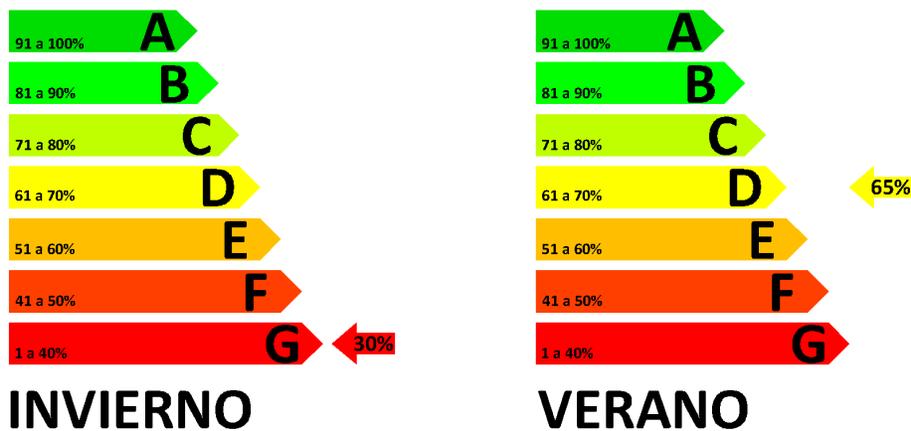


Figura 47. Clasificación confort térmico aula Escuela Rayen Mahuida SC6

En verano la categoría cambia de la D en comparación con el caso base subiendo un 22%. Las horas en confort corresponden a 116.

Bajo el rango solo se registran 7 horas en donde las temperaturas están todas sobre los 12°C.

Sobre el rango se registran 57 horas con una máxima de 30,3°C estando 5,4°C sobre el límite superior del rango de confort.

**Resumen soluciones constructivas en Escuela Rayen Mahuida**

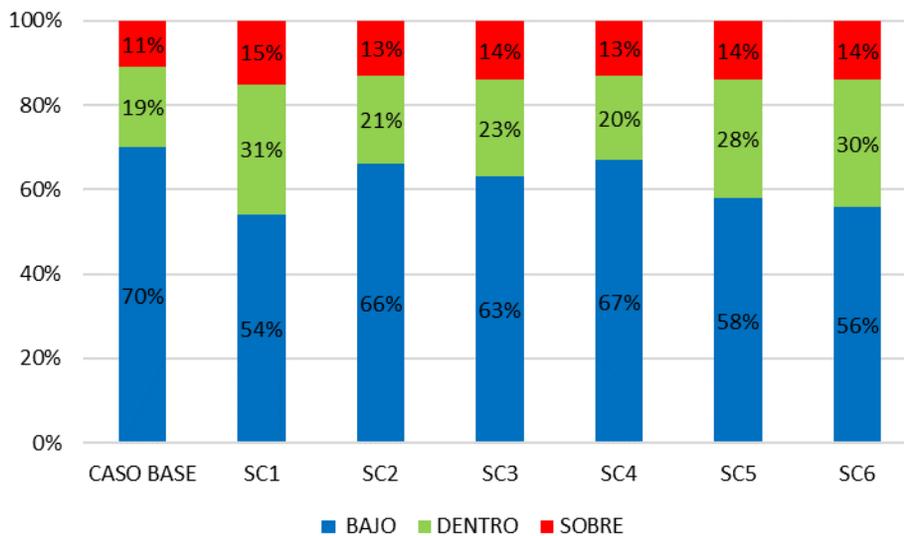
Al evaluar en conjunto los resultados del caso base más las seis soluciones de rehabilitación, en cuanto a la clasificación del tiempo de confort, tenemos que ninguna solución cambia la categoría del caso base durante el invierno, mientras que en verano todas las estrategias muestran cambios de categoría en relación con el caso base, como se muestra en tabla 42, analizando solo estos resultados las soluciones menos recomendadas serian la SC2 y SC4.

**Tabla 42. Categoría confort por solución en invierno y verano Escuela Rayen Mahuida**

	CATEGORÍA INVIERNO	CATEGORÍA VERANO
CASO BASE	G	F
SC1	G	D
SC2	G	E
SC3	G	D
SC4	G	F
SC5	G	D
SC6	G	D

Como se muestra en gráfico 14, al revisar más a fondo los resultados en invierno, las horas con menos tiempo bajo el rango de confort son SC1 y SC6, sin embargo, la que registra la menor temperatura es la SC6 con 10,2°C.

**Gráfico 14. Porcentaje del tiempo en confort por estrategia durante el invierno Escuela Rayen Mahuida**



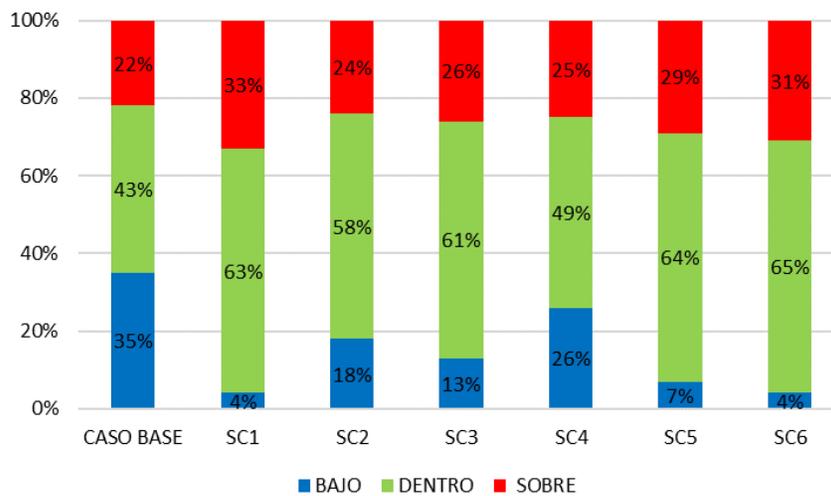
El mayor tiempo en confort también es SC1, seguido de la SC6, sin embargo, al evaluar el tiempo sobre el rango de confort es SC6 el que presenta menos tiempo de las soluciones, mientras que el

caso base, tiene mejores resultados. Esto se debe principalmente a que todas las alternativas disminuyen los porcentajes de infiltraciones, mientras que el caso base tenía índices mayores.

Al evaluar las seis estrategias en verano como se muestra en gráfico 15, la SC6 es la que posee más tiempo, seguida de la SC5 y la SC1.

Sobre el rango de confort la que presenta mejores resultados es el caso base, seguido por SC2, siendo el SC1 y SC6 los que presentan más horas sobre los 24,9°C.

**Gráfico 15. Porcentaje del tiempo en confort por solución en verano Escuela Rayen Mahuida**



Al comparar las demandas de calefacción con el costo de cada solución como se muestra en gráfico 16, la SC2 es la que demanda menos calefacción, esto debe principalmente al espesor de la aislación de esta solución.

Las soluciones que están dentro de los rangos de consumo actuales de la calefacción (21.382,9 kWh año) de la escuela son SC1, SC2 y SC4.

Gráfico 16. Demanda calefacción y costo soluciones Escuela Rayen Mahuida

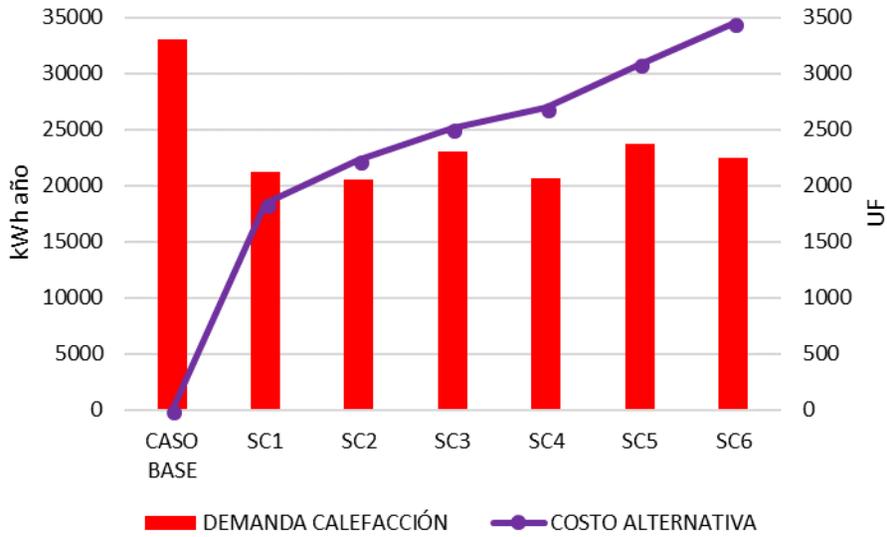
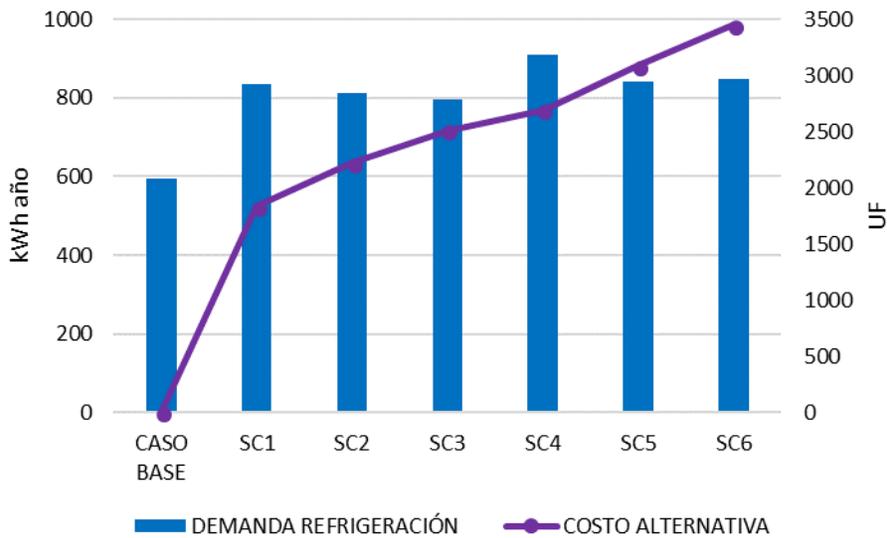


Gráfico 17. Demanda refrigeración y costo soluciones Escuela Rayen Mahuida



Al evaluar la demanda por refrigeración se aprecia en gráfico 17, que el caso base es el que presenta menos demanda y SC3, es la que demanda menos refrigeración en comparación con el caso base. La solución contempla el cambio de muro y la cubierta con paneles SIP de 209 mm y 254 mm respectivamente, con inversión intermedia en comparación con las otras soluciones.

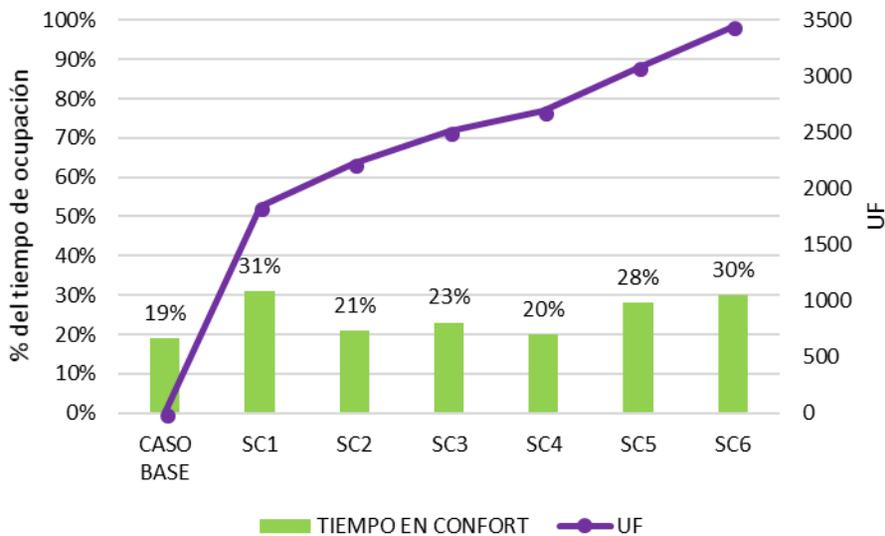
La solución que demanda más refrigeración es la SC4, con un 34% más de kWh que la demanda del caso base. La solución considera el cambio las ventanas más la cubierta.

Al analizar el tiempo en confort durante el invierno y el costo de la inversión, se aprecia en gráfico 18, que con la menor inversión que es SC1 se obtiene más tiempo en confort.

La SC6 tiene resultados de confort similares al SC1, sin embargo, tiene la inversión más alta, dado que contempla el cambio de muro, ventana y cubierta, mientras que la SC1 es el cambio del muro más la ventana.

Los resultados también indican que cambiar el muro más la cubierta (SC2) y cambiar la cubierta más la ventana (SC4) tienen resultados de confort similares, sin embargo, poseen distintas inversiones.

**Gráfico 18. Tiempo en confort y costo de solución en invierno Escuela Rayen Mahuida**



### 4.2.3 Rehabilitación envolvente Escuela Ramón Ramírez

La Escuela Ramón Ramírez como posee una matrícula superior a las otras dos escuelas estudiadas (80 alumnos), puede optar a intervenciones enmarcadas dentro de los tres tramos y que no sean superiores a 5000 UTM.

En tabla 43 se indican los valores de transmitancia térmica de la envolvente actual, comparándolos con los que recomienda la Guía AChEE y TDRé.

**Tabla 43. Valores transmitancia térmica recomendados para zona andina**

	Guía AChEE	TDRé	Actual
<b>Muro</b>	0,8	0,3	2,918
<b>Techumbre</b>	0,33	0,25	3,2
<b>Vanos</b>		3,4	5,89

Las soluciones que se evalúan como mejoras para la envolvente de la Escuela Ramón Ramírez, se orientan a cumplir con los valores de transmitancia térmica recomendados. De acuerdo con el costo de cada intervención se organizan de la forma indica en tabla 44.

**Tabla 44. Costos soluciones constructivas para Escuela Ramón Ramírez**

TRAMO	HASTA	SIGLA	ALTERNATIVAS	\$	UF
1	\$60.000.000	SC 1	MURO	\$30.671.090	1137
		SC2	VENTANA	\$59.179.890	2195
2	\$94.038.000	SC 3	MURO+VENTANA	\$89.850.980	3332
		SC 4	CUBIERTA	\$92.389.457	3426
3	\$235.095.000	SC 5	CUBIERTA+MURO	\$123.060.546	4563
		SC 6	CUBIERTA+VENTANA	\$161.196.498	5978
		SC 7	CUBIERTA+MURO+VENTANA	\$182.240.436	6758

**Solución constructiva: Muro (SC1)**

Se compone de un muro en base a panel SIP de 254 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 232 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior enterciado ranurado de 12 mm. Cubierta existente la cual está compuesta por una estructura de madera revestida por el exterior con Zinc de 0,3 mm, sin aislación térmica y barrera de humedad, revestimiento cielo madera traslapada. Ventanas de acero con vidrio simple de 0,3mm.

El presupuesto de la estrategia se indica en tabla 45 el cual incluye el cambio de las puertas exteriores y EIFS en los sobrecimientos de la elevación sur. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,154 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 3,198 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 45. Presupuesto desglosado SC1 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme muros existentes	m2	290	\$2.100	\$609.000
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	290	\$10.100	\$2.929.000
3	Panel SIP 254mm	m2	290	\$21.038	\$6.101.020
4	Membrana hidrofuga	m2	290	\$3.100	\$899.000
5	Tinglado fibrocemento	m2	290	\$19.170	\$5.559.300
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	290	\$7.350	\$2.131.500
7	Puertas	un	8	\$85.000	\$680.000
8	Marcos puertas	un	8	\$12.800	\$102.400
9	Quincallería	un	8	\$55.000	\$440.000
10	Bisagras	un	8	\$6.000	\$48.000
11	EIFS en sobrecimientos 100 mm	m2	40	\$28.000	\$1.120.000
				<b>Costo directo</b>	\$20.619.220
				<b>GG y U 25%</b>	\$5.154.805
				<b>Neto</b>	\$25.774.025
				<b>IVA 19%</b>	\$4.897.065
				<b>TOTAL</b>	\$30.671.090

La demanda de calefacción de la solución es de 51.605,21 kWh año lo que equivale a un 23% menos que el caso base. La demanda por refrigeración es de 918,25 kWh año lo que es 18% más que el caso base.

Cabe destacar que en aula 1 tanto en invierno como en verano no se registran temperaturas sobre el rango de confort.

Al evaluar el aula 1 en invierno como se indica en figura 48, la categoría se mantiene en relación con el caso base en la letra G, sin embargo, las horas en confort en comparación del caso base suben de 25 a 62.

Bajo en rango se registran 118 horas de las cuales 40 están bajo los 15°C, llegando a registrar una mínima de 12,9°C.

En verano se registra un 28% del tiempo bajo el rango con temperaturas mínimas que superan los 15°C y dentro del rango un 72% del tiempo. Mejorando la clasificación del caso base el cual era la a la letra C.

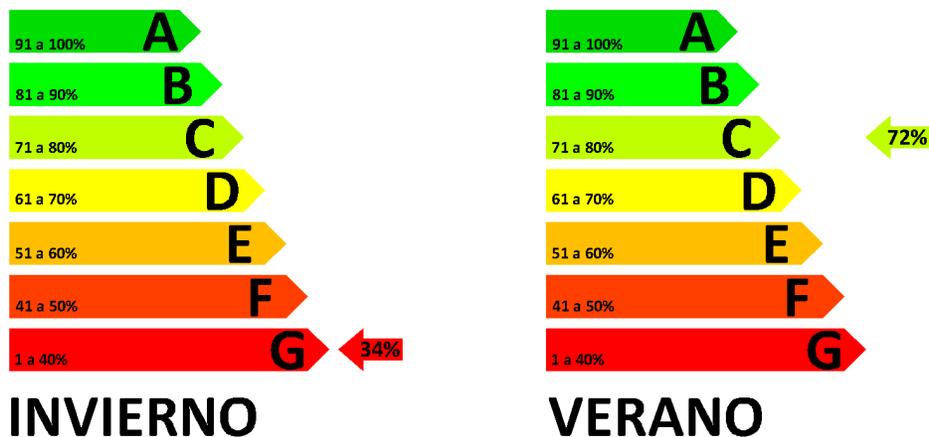


Figura 48. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC1

En el aula 7 en invierno como se indica en figura 49, la categoría cambia en relación con el caso base a la letra F, subiendo de un 34% a un 41% con 73 horas dentro del rango las que se registran entre las 10 y 16 horas.

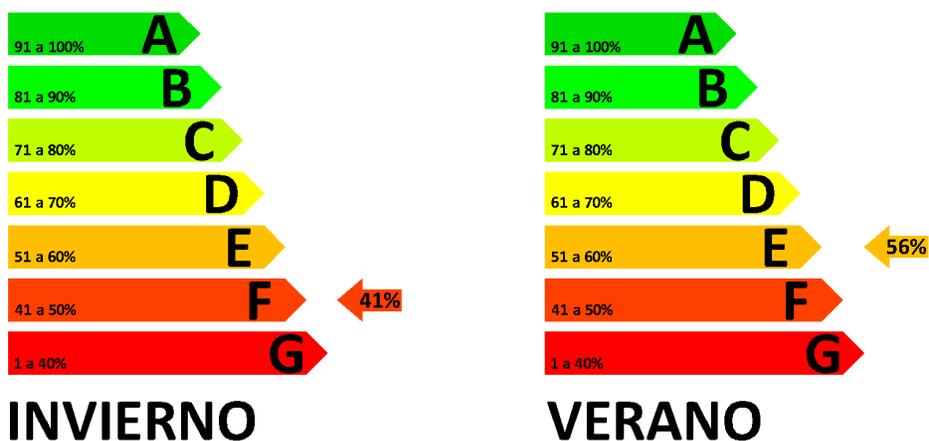


Figura 49. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC1

Las horas registradas bajo el rango equivalen al 45% del tiempo con 24 horas bajo los 15°C, registrando una mínima de 13,2°C. Sobre el rango se registran 26 horas con una máxima de 25,2°C, la cual está 3,7°C sobre el límite superior del rango de confort.

En verano las horas bajo equivalen a un 21% del tiempo en donde todas las temperaturas están sobre los 15°C. Dentro del rango 56% del tiempo. Sobre una 23% del con una máxima de 25,8°C estando 0,9°C sobre el límite superior del rango de confort. La categoría cambia a la letra E.

**Solución constructiva: Ventana (SC2)**

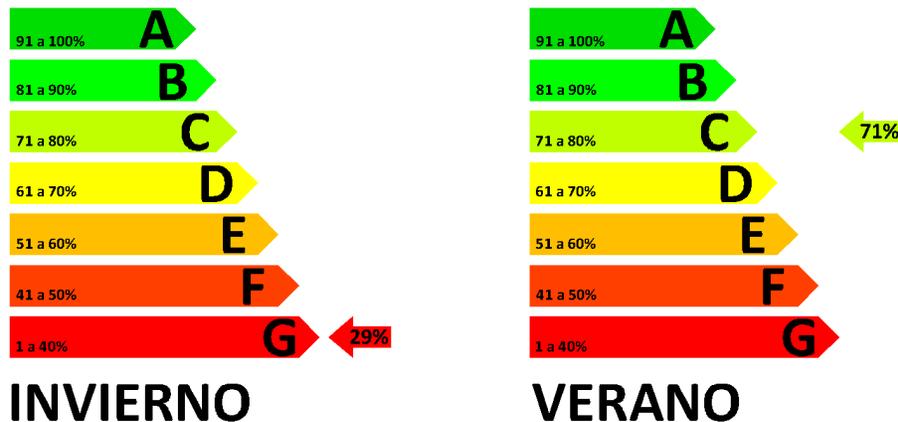
Esta solución considera cambiar las ventanas existentes por ventanas PVC con vidrio termopanel (4-12-4). Se mantiene el muro existente de estructura de madera sin aislación térmica y barrera de humedad revestido con el exterior con planchas de zinc de 0,3 mm y por el interior con madera traslapada. Se mantiene la cubierta existente la cual está compuesta por una estructura de madera revestida por el exterior con Zinc de 0,3 mm, sin aislación térmica y barrera de humedad, revestimiento cielo madera traslapada. El cambio considera también las ventanas ubicadas en la parte superior de los pasillos.

El presupuesto de la estrategia se indica en tabla 46. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 2,918 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 3,198 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 46. Presupuesto desglosado SC2 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme ventanas	m2	214	\$1.800	\$385.200
2	Ventana termopanel marco PVC	m2	214	\$165.000	\$35.310.000
3	Desarme ventanas pasillo	m2	72	\$1.800	\$129.600
4	Ventana vidrio simple	m2	72	\$55.000	\$3.960.000
				<b>Costo directo</b>	\$39.784.800
				<b>GG y U 25%</b>	\$9.946.200
				<b>Neto</b>	\$49.731.000
				<b>IVA 19%</b>	\$9.448.890
				<b>TOTAL</b>	\$59.179.890

La demanda por calefacción es de 57.295,12 kWh año, siendo un 14% menos que el caso base. La demanda de refrigeración es de 1.127,82 kWh año siendo un 33% más que el caso base.



**Figura 50. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC2**

En el aula 1 durante el invierno la categoría se mantiene en la letra G como se indica en figura 50, sin embargo, el tiempo en relación con el caso base aumenta a un 29%.

Las horas bajo el rango son 128 de las cuales 68 están bajo los 15°C, registrando una mínima de 12,1°C. En verano la categoría sube a la letra C en relación con el caso base, donde 129 horas están dentro del rango de confort y solo 51 bajo en donde no se registran temperaturas bajo los 15°C.

En el aula 7, como se muestra en figura 51 la categoría en invierno se mantiene en la letra G igual que el caso base, pero el tiempo en confort aumenta a un 36%. Bajo el rango se registran 86 horas de las cuales 41 están bajo los 15°C. La mínima es de 12,7°C. Sobre se registran 30 horas con una máxima de 25,2°C.

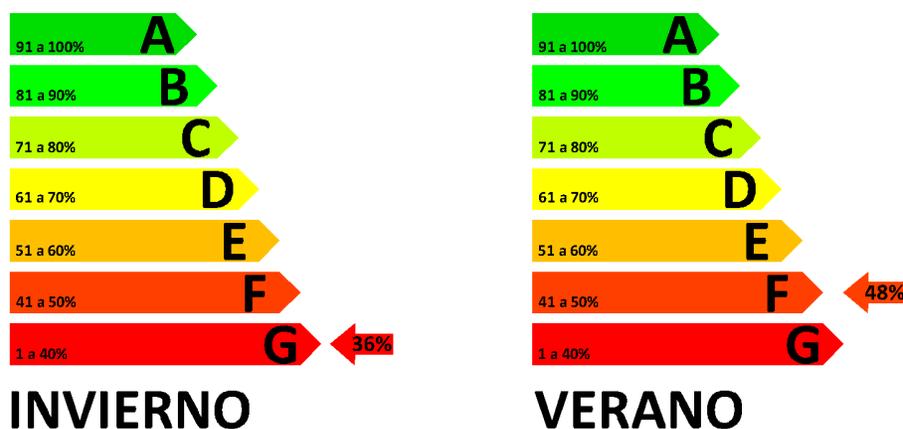


Figura 51. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC2

En verano la categoría en relación con el caso base se mantiene en la letra F, siendo un 48%. Bajo se registran 40 horas todas sobre los 15°C. Sobre 54 horas en donde la máxima es de 27°C, estando 3,1°C sobre el límite superior del rango de confort.

### Solución constructiva: Muro + Ventana (SC3)

Se compone de un muro en base a panel SIP de 254 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 232 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior enterciado ranurado de 12 mm más ventanas PVC con vidrio termopanel (4-12-4). Se mantiene la

cubierta existente la cual está compuesta por una estructura de madera revestida por el exterior con Zinc de 0,3 mm, sin aislación térmica y barrera de humedad, revestimiento cielo madera traslapada. El cambio considera también las ventanas ubicadas en la parte superior de los pasillos.

El presupuesto de la estrategia se indica en tabla 47 la cual considera el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,154 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 3,198 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 47. Presupuesto desglosado SC3 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme muros existentes	m2	290	\$2.100	\$609.000
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	290	\$10.100	\$2.929.000
3	Panel SIP 254mm	m2	290	\$21.038	\$6.101.020
4	Membrana hidrofuga	m2	290	\$3.100	\$899.000
5	Tinglado fibrocemento	m2	290	\$19.170	\$5.559.300
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	290	\$7.350	\$2.131.500
7	Puertas	un	8	\$85.000	\$680.000
8	Marcos puertas	un	8	\$12.800	\$102.400
9	Quincallería	un	8	\$55.000	\$440.000
10	Bisagras	un	8	\$6.000	\$48.000
11	EIFS en sobrecimientos 100 mm	m2	40	\$28.000	\$1.120.000
12	Desarme ventanas	m2	214	\$1.800	\$385.200
13	Ventana termopanel marco PVC	m2	214	\$165.000	\$35.310.000
14	Desarma ventanas pasillo	m2	72	\$1.800	\$129.600
15	Ventana vidrio simple	m2	72	\$55.000	\$3.960.000
				<b>Costo directo</b>	\$60.404.020
				<b>GG y U 25%</b>	\$15.101.005
				<b>Neto</b>	\$75.505.025
				<b>IVA 19%</b>	\$14.345.955
				<b>TOTAL</b>	\$89.850.980

La demanda por calefacción es 49.786,4 kWh año siendo 26% menos que el caso base. La demanda por refrigeración es de 852,22 kWh año siendo un 11% superior al caso base.

La evaluación del aula 1 en invierno presenta 92 horas dentro del rango de confort lo que equivale a la clasificación E como se indica en figura 52 con un 51% del tiempo de ocupación dentro del rango.

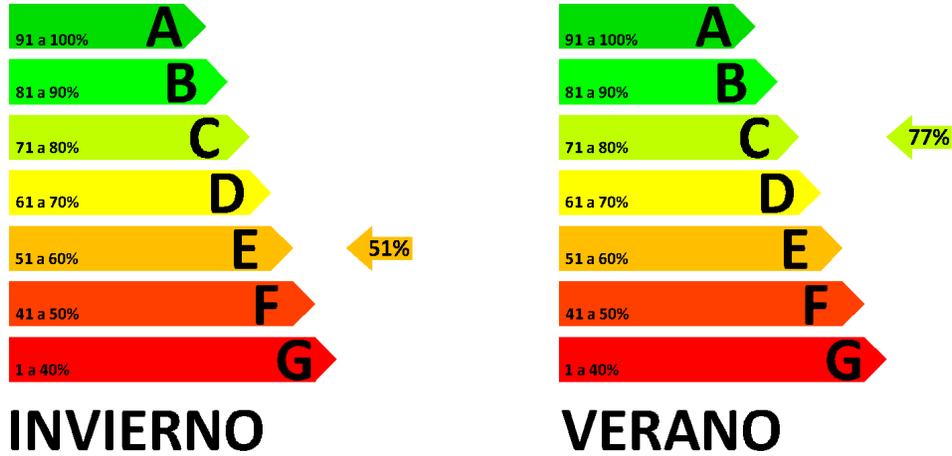


Figura 52. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC3

Bajo el rango se registra un 49% del tiempo con 16 horas bajo los 15°C con una mínima de 13,5°C.

En verano la clasificación cambia en relación con el caso base a la letra C con 138 horas dentro del rango de confort y solo 42 horas bajo en donde todas las temperaturas superan los 15°C.

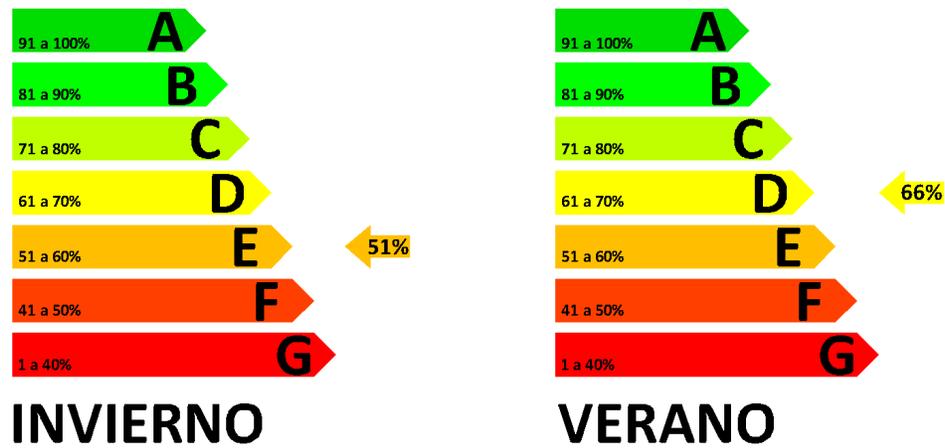


Figura 53. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC3

El aula 7 en invierno presenta la misma cantidad de horas dentro del rango de confort que el aula 1, con 92 horas. Bajo se registran 61 horas con solo 7 horas bajo los 15°C, con una mínima de 14°C. Sobre el rango 27 horas con una máxima de 25,5°C estando 1,6°C sobre el límite superior de temperatura del rango de confort.

En verano la clasificación en relación con el caso base cambia a la letra D como se muestra en figura 53 con 118 horas dentro del rango de confort. Bajo 27 horas con temperaturas s sobre los

15°C. Sobre el rango 35 horas con una máxima de 25,6°C estando 1,7°C sobre límite superior de temperatura del rango de confort.

**Solución constructiva: Cubierta (SC4)**

Esta solución considera cambiar la cubierta por un panel SIP de 254 con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm y revestido por el exterior con zinc pv-4 de 0,5 mm. Se mantiene el muro existente de estructura de madera sin aislación térmica y barrera de humedad revestido con el exterior con planchas de zinc de 0,3 mm y por el interior con madera traslapada. Se mantienen las ventanas con perfil de acero y vidrio simple.

El presupuesto se indica en tabla 48. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 2,918 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,157 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 48. Presupuesto desglosado SC4 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme techumbre	m2	1123	\$2.400	\$2.695.200
2	Estructura techumbre	m2	1123	\$9.100	\$10.219.300
3	Panel SIP 254 mm	m2	1123	\$21.038	\$23.625.674
4	Membrana hidrofuga	m2	1123	\$3.100	\$3.481.300
5	PV4 instapanel	m2	1123	\$11.600	\$13.026.800
6	Yeso carton ST	m2	985	\$7.550	\$7.436.750
7	Hojalaterias	ml	120,2	\$4.375	\$525.875
8	Tapacan	ml	30,2	\$3.300	\$99.660
9	Sellos	gl	1	\$1.000.000	\$1.000.000
				<b>Costo directo</b>	\$62.110.559
				<b>GG y U 25%</b>	\$15.527.640
				<b>Neto</b>	\$77.638.199
				<b>IVA 19%</b>	\$14.751.258
				<b>TOTAL</b>	\$92.389.457

La demanda de calefacción es de 57.210,05 kWh año lo que equivale a un 15% menos que el caso base. La demanda por refrigeración es de 1126,43 kWh año, lo que es un 33% más que el caso base.

La clasificación para el aula 1 durante invierno es letra G, como se indica en figura 54, igual al caso base, pero con más horas en confort, un total de 52. Bajo se registran 128 horas con 68 bajo los 15°C, registrando una mínima de 12,1°C.

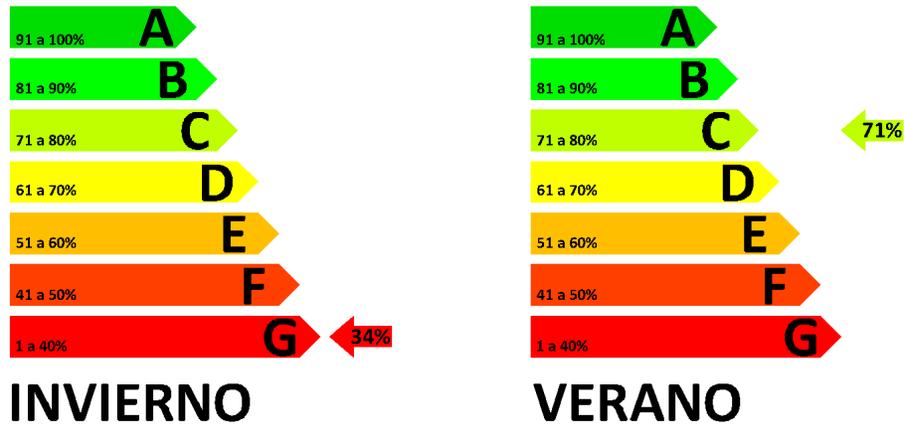


Figura 54. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC4

En verano la clasificación en relación con el caso base mejora a la letra C con 129 horas dentro del rango y 51 horas bajo, con una mínima de 15,3°C.

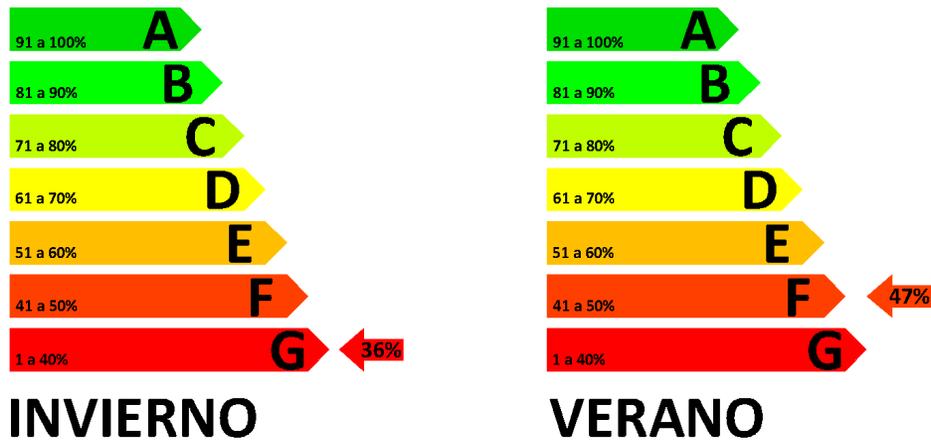


Figura 55. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC4

La clasificación del aula 7 para invierno como se indica en figura 55 es la letra G, igual que el caso base, registrando 64 horas dentro del rango. Bajo se registran 86 horas de las cuales 41 están bajo los 15°C. La mínima registrada es de 12,8°C. Sobre se registran 30 horas con una máxima de 25,3°C, estando 3,8°C sobre el límite superior del rango de confort.

En verano la clasificación como se indica en figura 55 es la letra F, manteniendo la misma clasificación que el caso base, pero con 84 horas dentro del rango de confort. Bajo se registran 40 horas con una mínima de 15,3°C y sobre 56 horas con una máxima de 27°C, estando 3,1°C sobre el límite superior del rango de confort.

**Solución constructiva: Muro + Cubierta (SC5)**

Considera cambiar la cubierta por un panel SIP de 254 con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm y revestido por el exterior con zinc pv-4 de 0,5 mm. Se compone de un muro en base a panel SIP de 254 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 232 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor, revestimiento interior enterciado ranurado de 12 mm. Se mantienen las ventanas con perfil de acero y vidrio simple.

**Tabla 49. Presupuesto desglosado SC5 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme techumbre	m2	1123	\$2.400	\$2.695.200
2	Estructura techumbre	m2	1123	\$9.100	\$10.219.300
3	Panel SIP 254 mm	m2	1123	\$21.038	\$23.625.674
4	Membrana hidrofuga	m2	1123	\$3.100	\$3.481.300
5	PV4 instapanel	m2	1123	\$11.600	\$13.026.800
6	Yeso carton ST	m2	985	\$7.550	\$7.436.750
7	Hojalaterias	mI	120,2	\$4.375	\$525.875
8	Tapacan	mI	30,2	\$3.300	\$99.660
9	Sellos	gl	1	\$1.000.000	\$1.000.000
10	Desarme muros existentes	m2	290	\$2.100	\$609.000
11	Estructura madera 2X3" pino	m2	290	\$10.100	\$2.929.000
12	Panel SIP 254mm	m2	290	\$21.038	\$6.101.020
13	Membrana hidrofuga	m2	290	\$3.100	\$899.000
14	Tinglado fibrocemento	m2	290	\$19.170	\$5.559.300
15	Terciado ranurado 12 mm	m2	290	\$7.350	\$2.131.500
16	Puertas	un	8	\$85.000	\$680.000
17	Marcos puertas	un	8	\$12.800	\$102.400
18	Quincalleria	un	8	\$55.000	\$440.000
19	Bisagras	un	8	\$6.000	\$48.000
20	EIFS en sobrecimientos 100 mm	m2	40	\$28.000	\$1.120.000
				<b>Costo directo</b>	\$82.729.779
				<b>GG y U 25%</b>	\$20.682.445
				<b>Neto</b>	\$103.412.224
				<b>IVA 19%</b>	\$19.648.323
				<b>TOTAL</b>	\$123.060.546

El presupuesto se indica en tabla 49 en donde se considera EIFS en los sobrecimientos de la elevación sur y el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,154 W/m<sup>2</sup> k; vanos 5,89 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,157 W/m<sup>2</sup>k.

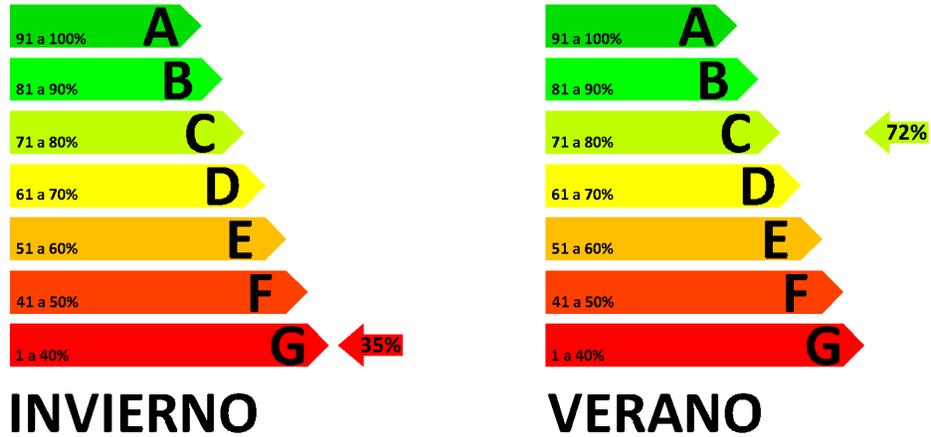


Figura 56. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC5

La demanda por calefacción es 51533,45 kWh año disminuyendo un 23% en relación con el caso base. La demanda por refrigeración es de 1.070,7 kWh año un 29% más que el caso base.

Al evaluar el aula 1 en invierno su categoría es la letra G, como se indica en figura 56, manteniendo la misma categoría del caso, pero con 63 horas dentro del rango de confort. Bajo se encuentran 117 horas de las cuales 40 están bajo los 15°C, registrando una mínima de 12,9°C.

En verano la categoría es C como se muestra en figura 56, sube dos letras en relación con el caso base en donde se registran 130 horas dentro del rango y 50 horas bajo equivalentes con una mínima de 15,9°C.

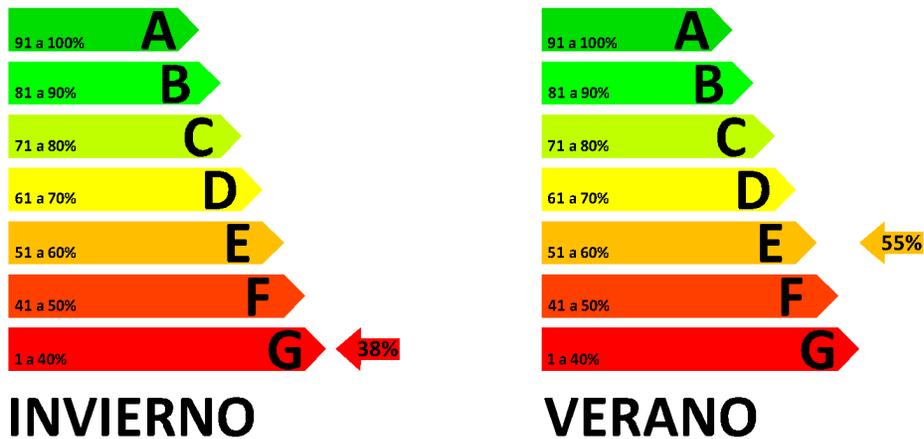


Figura 57. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC5

El aula 7 en invierno mantiene la misma categoría que el caso base, letra G, sin embargo, aumentan las horas en confort, registrándose 69. Bajo se identifican 82 horas de las cuales 25

están bajo los 15°C con una mínima de 13,2°C. Sobre se registran 29 horas con una máxima de 25,3°C, estando 3,8°C sobre el límite superior del rango de confort.

En verano la categoría es E, como se indica en figura 57, subiendo en comparación con el caso base. Las horas en confort son 99, bajo 37 horas con una mínima de 15,9°C. Sobre se registran 44 horas con una máxima de 25,9°C, estando 2°C sobre el límite superior del rango de confort.

### **Solución constructiva: Muro + Cubierta (SC6)**

Considera cambiar la cubierta por un panel SIP de 254 con aislación de poliestireno expandido de alta densidad ( $15 \text{ kg/m}^3$ ) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm y revestido por el exterior con zinc pv-4 de 0,5 mm y ventana con marco de PVC con vidrio termopanel (4-12-4).

Se mantiene el muro existente de estructura de madera sin aislación térmica y barrera de humedad revestido con el exterior con planchas de zinc de 0,3 mm y por el interior con madera traslapada.

El presupuesto se indica en tabla 50 en el cambio de las puertas exteriores. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es  $2,198 \text{ W/m}^2 \text{ k}$ ; vanos  $2,725 \text{ W/m}^2 \text{ k}$ ; cubierta  $0,157 \text{ W/m}^2 \text{ k}$ .

La demanda por calefacción es de 53.637,15 kWh año lo que equivale a un 20% más que el caso base. La demanda de refrigeración es de 1070,7 kWh año, un 29% más que el caso base.

El aula 1 en invierno como se indica en figura 58 mantiene la categoría G al igual que el caso base, sin embargo, las horas en confort aumentan a 64. Bajo el rango se registran 116 horas en donde 37 horas están bajo los 15°C, registrando una mínima de 13°C.

Tabla 50. Presupuesto desglosado SC6 Escuela Ramón Ramírez

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme techumbre	m2	1123	\$2.400	\$2.695.200
2	Estructura techumbre	m2	1123	\$9.100	\$10.219.300
3	Panel SIP 254 mm	m2	1123	\$21.038	\$23.625.674
4	Membrana hidrofuga	m2	1123	\$3.100	\$3.481.300
5	PV4 instapanel	m2	1123	\$11.600	\$13.026.800
6	Yeso carton ST	m2	985	\$7.550	\$7.436.750
7	Hojalaterias	ml	120,2	\$4.375	\$525.875
8	Tapacan	ml	30,2	\$3.300	\$99.660
9	Sellos	gl	1	\$1.000.000	\$1.000.000
10	Desarme ventanas	m2	214	\$1.800	\$385.200
11	Ventana termopanel marco PVC	m2	214	\$165.000	\$35.310.000
12	Desarma ventanas pasillo	m2	72	\$1.800	\$129.600
13	Ventana vidrio simple	m2	72	\$55.000	\$3.960.000
14	Puertas	un	8	\$85.000	\$680.000
15	Marcos puertas	un	8	\$12.800	\$102.400
16	Quincalleria	un	8	\$55.000	\$440.000
17	Bisagras	un	8	\$6.000	\$48.000
				<b>Costo directo</b>	\$103.165.759
				<b>GG y U 25%</b>	\$25.791.440
				<b>Neto</b>	\$128.957.199
				<b>IVA 19%</b>	\$32.239.300
				<b>TOTAL</b>	\$161.196.498

En verano la clasificación cambia a la letra C en comparación con el caso base, registrando 132 horas dentro del rango de confort. Bajo se registran 48 horas con una mínima de 16°C.

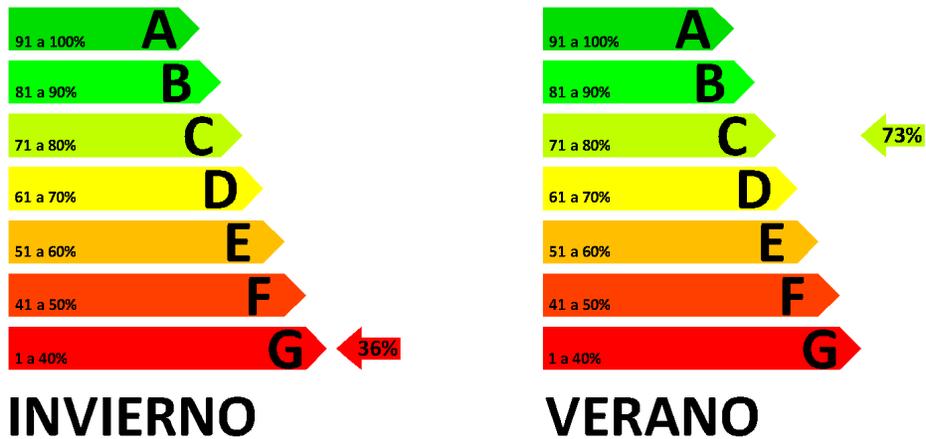


Figura 58. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC6

El aula 7 en invierno presenta la clasificación G como se indica en figura 59, igual que el caso base, pero con más horas dentro del rango de confort, las que equivalen a 69. Bajo se registra un 44% del tiempo en donde 23 horas están bajo los 15°C con una mínima de 13,3°C. Sobre se registran 18% del tiempo con una máxima de 25,9°C.

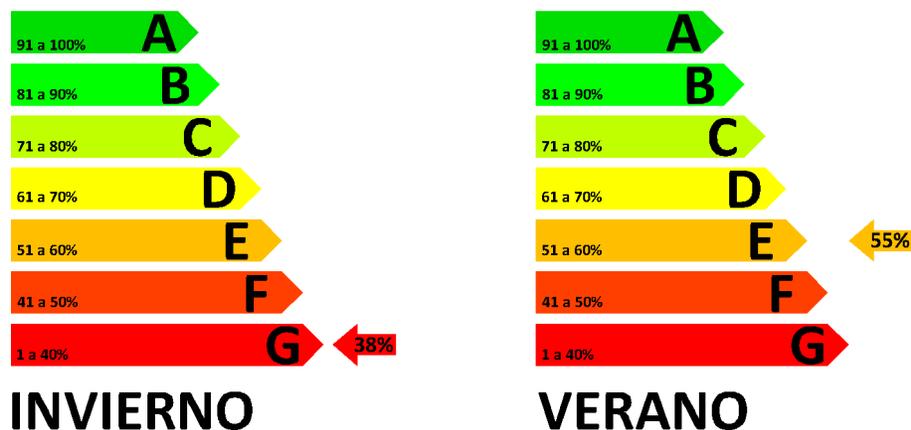


Figura 59. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC6

En verano la clasificación es E, mejorando en comparación con el caso base. Las horas dentro del rango son 96. Bajo se registra un 18% con una mínima de 16°C y sobre un 29% con una máxima de 26,4°C, estando 2,5°C sobre el límite superior del rango de confort.

#### Solución constructiva: Muro + Ventana + Cubierta (SC7)

Considera cambiar la cubierta por un panel SIP de 254 con aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) de espesor 232 mm, terminación interior del cielo es yeso cartón de 15 mm, revestido por el exterior con zinc pv-4 de 0,5 mm, ventana con marco de PVC con vidrio termopanel (4-12-4) y muro en base a panel SIP de 254 mm, compuesto por placas de OSB de 11mm más aislación de poliestireno expandido de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) con un espesor de 232 mm, revestimiento exterior en tinglado de fibrocemento de 6mm de espesor y revestimiento interior en terciado ranurado de 12 mm.

El presupuesto se indica en tabla 51 en el cambio de las puertas exteriores y EIFS en los sobrecimientos de la elevación sur. Los valores de transmitancia térmica (U) de la solución para el muro es 0,154 W/m<sup>2</sup> k; vanos 2,725 W/m<sup>2</sup>k; cubierta 0,157 W/m<sup>2</sup>k.

**Tabla 51. Presupuesto desglosado SC7 Escuela Ramón Ramírez**

ITEM	PARTIDA	UN	CANT	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Desarme muros existentes	m2	290	\$2.100	\$609.000
2	Estructura madera 2X3" pino	m2	290	\$10.100	\$2.929.000
3	Panel SIP 254mm	m2	290	\$21.038	\$6.101.020
4	Membrana hidrofuga	m2	290	\$3.100	\$899.000
5	Tinglado fibrocemento	m2	290	\$19.170	\$5.559.300
6	Terciado ranurado 12 mm	m2	290	\$7.350	\$2.131.500
7	Puertas	un	8	\$85.000	\$680.000
8	Marcos puertas	un	8	\$12.800	\$102.400
9	Quincallería	un	8	\$55.000	\$440.000
10	Bisagras	un	8	\$6.000	\$48.000
11	EIFS en sobrecimientos 100 mm	m2	40	\$28.000	\$1.120.000
12	Desarme ventanas	m2	214	\$1.800	\$385.200
13	Ventana termopanel marco PVC	m2	214	\$165.000	\$35.310.000
14	Desarma ventanas pasillo	m2	72	\$1.800	\$129.600
15	Ventana vidrio simple	m2	72	\$55.000	\$3.960.000
16	Desarme techumbre	m2	1123	\$2.400	\$2.695.200
17	Estructura techumbre	m2	1123	\$9.100	\$10.219.300
18	Panel SIP 254 mm	m2	1123	\$21.038	\$23.625.674
19	Membrana hidrofuga	m2	1123	\$3.100	\$3.481.300
20	PV4 instapanel	m2	1123	\$11.600	\$13.026.800
21	Yeso carton ST	m2	985	\$7.550	\$7.436.750
22	Hojalaterías	ml	120,2	\$4.375	\$525.875
23	Tapacan	ml	30,2	\$3.300	\$99.660
24	Sellos	gl	1	\$1.000.000	\$1.000.000
				<b>Costo directo</b>	\$122.514.579
				<b>GG y U 25%</b>	\$30.628.645
				<b>Neto</b>	\$153.143.224
				<b>IVA 19%</b>	\$29.097.213
				<b>TOTAL</b>	\$182.240.436

La demanda por calefacción es de 49.546,62 kWh año un 26% menos que el caso base. La demanda por refrigeración es de 900,9 kWh año un 16% más que el caso base.

La clasificación del aula 1 en invierno como se indica en figura 60 es letra E, superior al caso base y con 94 horas dentro del rango de confort. Bajo se registra un 48% del tiempo en donde 16 horas están bajo los 15°C con una mínima de 13,5°C.

En verano el aula 1 también mejora su categoría en relación con el caso base con 138 horas dentro del rango de confort y solo 42 bajo, donde la mínima es de 16,6°C.

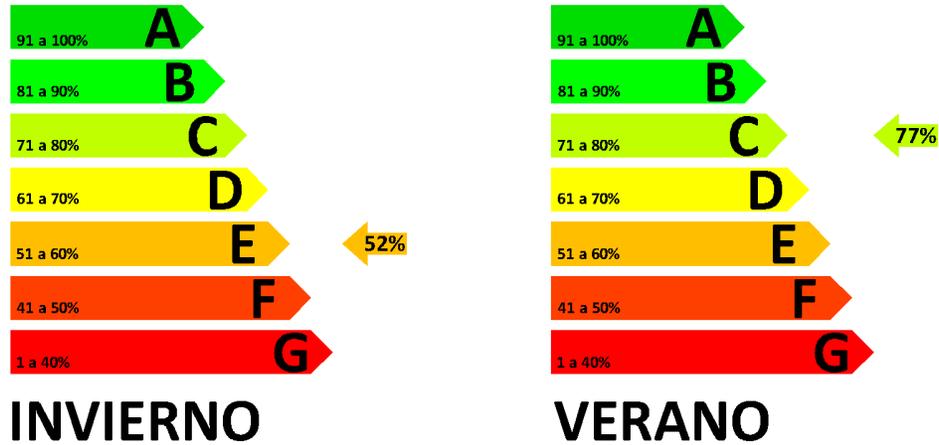


Figura 60. Clasificación confort térmico aula 1 Escuela Ramón Ramírez SC7

El aula 7 en invierno como se muestra en figura 61 su clasificación es F, mejorando la del caso base, con 88 horas dentro del rango de confort. Bajo un 33% del tiempo en donde 7 horas están bajo los 15°C, registrando una mínima de 14,1°C, estando 2,4°C bajo el límite inferior del rango. Sobre se registra un 18% del tiempo de ocupación con una máxima de 26°C, estando 4,5°C sobre el límite superior del rango de confort.

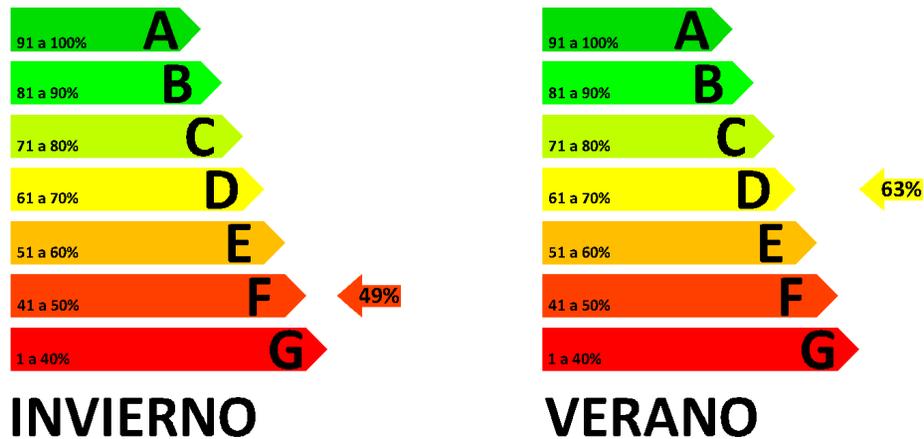


Figura 61. Clasificación confort térmico aula 7 Escuela Ramón Ramírez SC7

En verano el aula 7 también mejora la clasificación hasta la letra D como se indica en figura 61, en relación con el caso base, con 113 horas dentro del rango. Bajo un 15% del tiempo con una mínima de 16,6°C y sobre un 22% con una máxima de 25,7°C, estando 1,8°C sobre el límite superior del rango de confort.

**Resumen soluciones constructivas Escuela Ramón Ramírez**

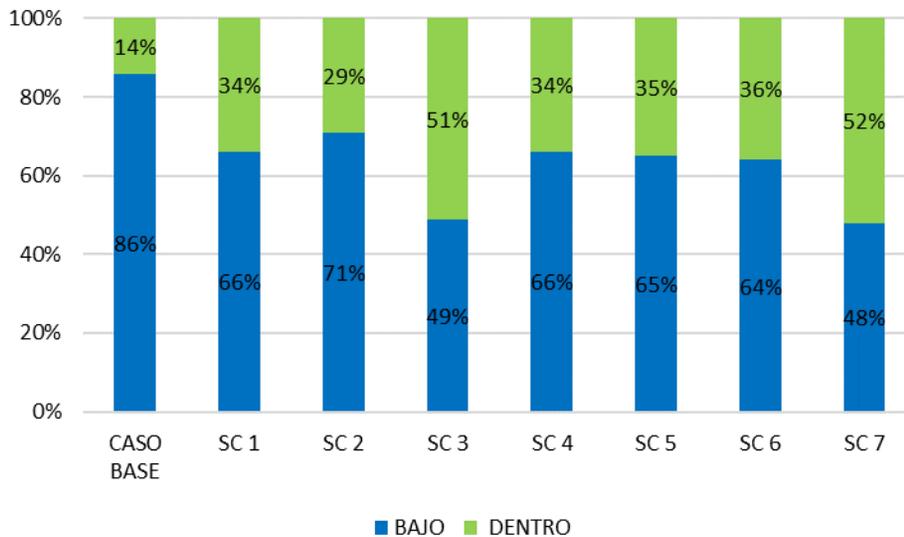
Al evaluar en conjunto los resultados del caso base más las siete soluciones constructivas, en cuanto a la clasificación del tiempo de confort, podemos ver en tabla 52, que para el aula 1 las estrategias que mejoran la categoría en relación con el caso base son SC3 y SC7 y para el aula 7 la SC3.

**Tabla 52. Categoría confort por estrategia invierno y verano Escuela Ramón Ramírez**

	AULA 1		AULA 7	
	CATEGORÍA INVIERNO	CATEGORÍA VERANO	CATEGORÍA INVIERNO	CATEGORÍA VERANO
CASO BASE	G	E	G	F
SC 1	G	C	F	E
SC 2	G	C	G	F
SC 3	E	C	E	D
SC 4	G	C	G	F
SC 5	G	C	G	E
SC 6	G	C	G	E
SC 7	E	C	F	D

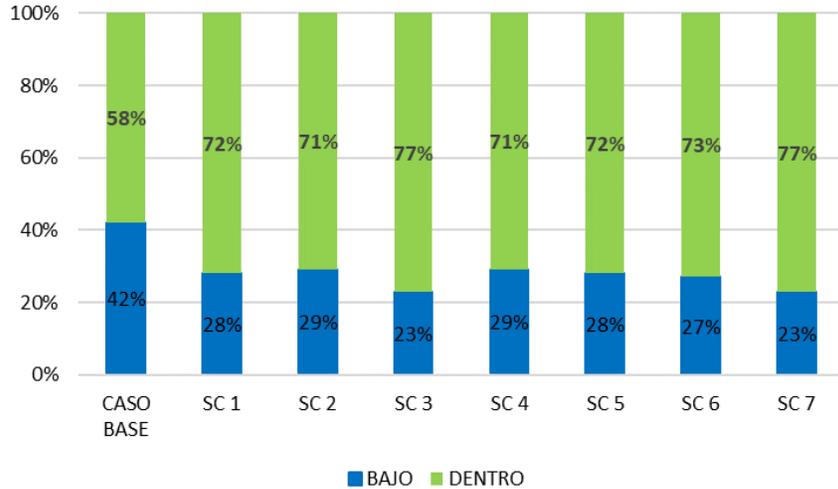
Al revisar más en detalle los resultados de confort de cada solución como se muestra en gráfico 19 y 20 tanto en invierno como en verano las soluciones simuladas no presentan tiempo sobre el rango de confort para el aula 1. Esto se debe principalmente a su orientación sur y por lo que no registra sobrecalentamiento.

**Gráfico 19. Porcentaje del tiempo en confort por solución el invierno aula 1 Escuela Ramón Ramírez**



La solución que presentan más tiempo en confort es la SC7, seguida de la SC3, ambas presentan una mínima de 13,5°C con 16 horas bajo los 15°C.

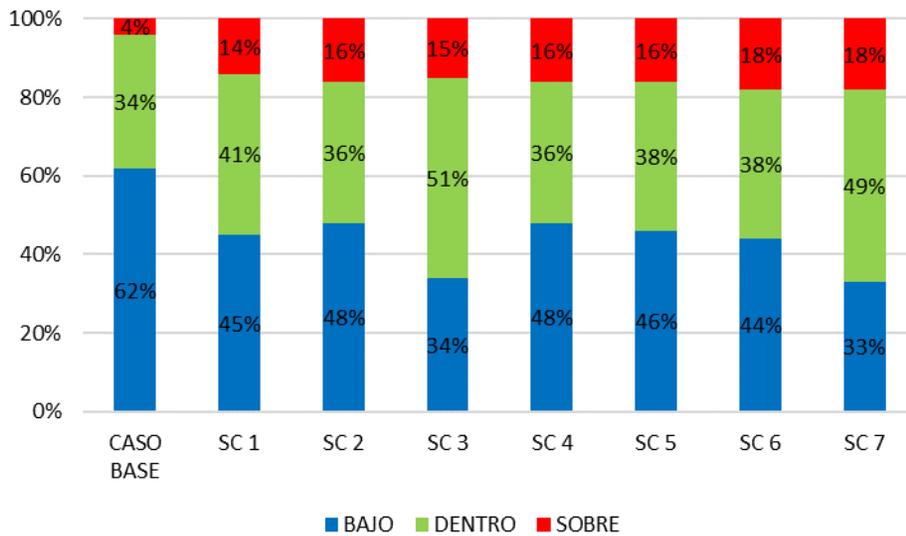
**Gráfico 20. Porcentaje del tiempo en confort por solución en verano aula 1 Escuela Ramón Ramírez**



En verano para el aula 1 los resultados de SC1 con SC5 son iguales y la SC2 con la SC4 también. Los que presentan mejores resultados con la SC3 y SC7.

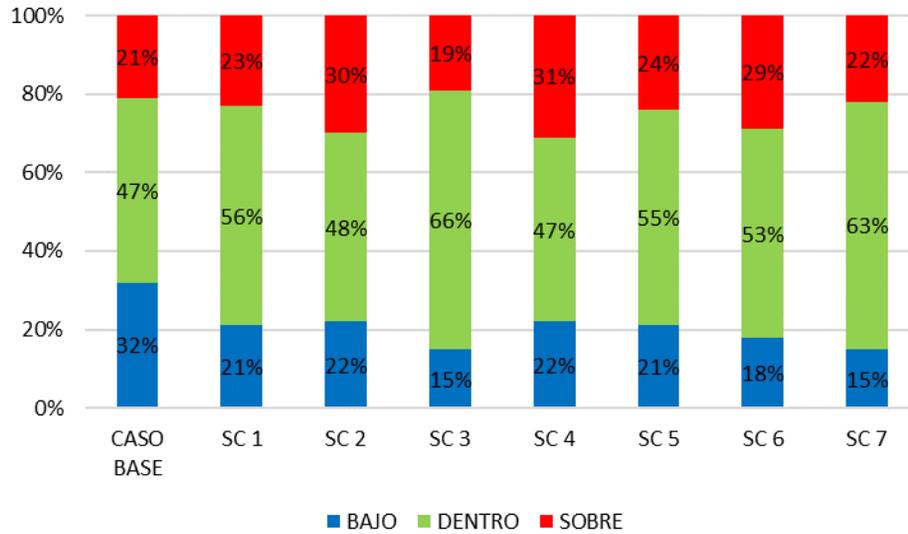
Para el aula 7 en invierno la mejor solución es la SC3 como se muestra en gráfico 21, seguida de la SC7, SC5 y SC6. La que presenta menos hora bajo el rango de confort es la SC3, pero la que presenta menos tiempo sobre es la SC1.

**Gráfico 21. Porcentaje del tiempo en confort por solución en invierno aula 7 Escuela Ramón Ramírez**



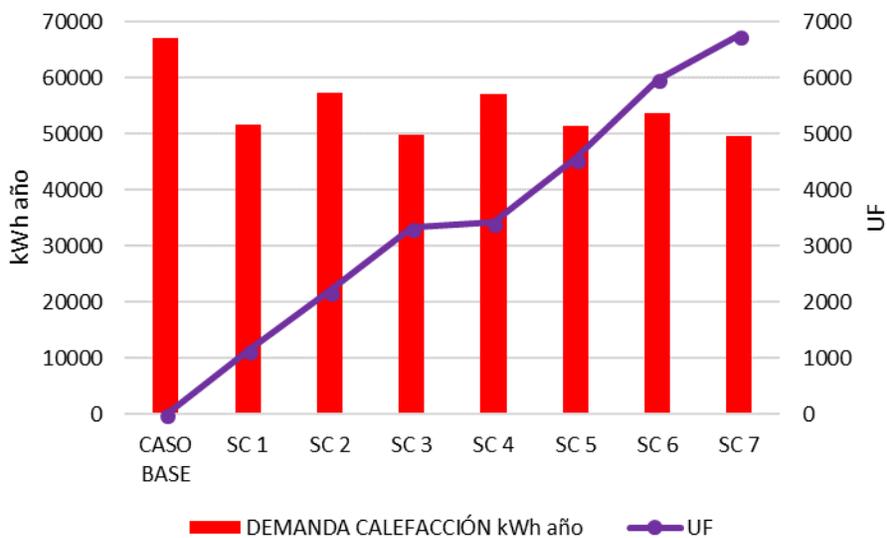
En verano como se muestra en gráfico 22 la estrategia con mejor tiempo en confort es la SC3.

**Gráfico 22. Porcentaje del tiempo en confort por solución en verano aula 7 Escuela Ramón Ramírez**



Al evaluar la demanda por calefacción y refrigeración versus el costo de la inversión tenemos como se muestra en gráfico 23 a mayor inversión la demanda por calefacción es menos a la del caso base. Resultados similares de calefacción se ven entre SC1 y SC5, sin embargo, la inversión es superior en la última, lo mismo entre SC2 y SC5. La SC6 tiene una inversión mayor, pero demanda más calefacción que la SC1 que tiene una inversión menor.

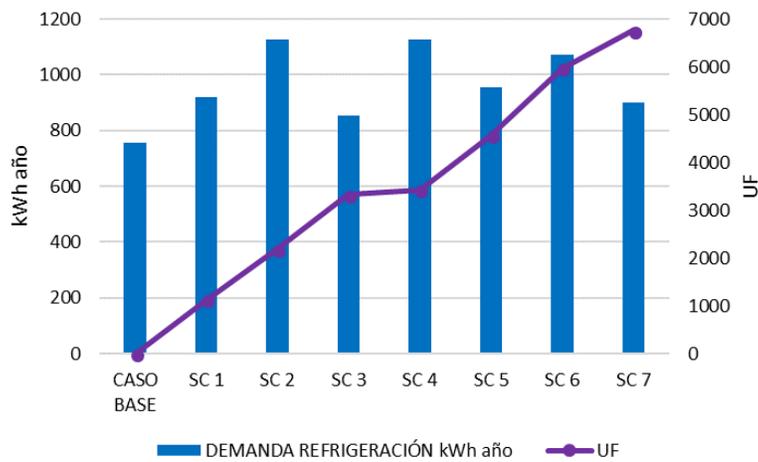
**Gráfico 23. Demanda calefacción y costo de soluciones Escuela Ramón Ramírez**



Adicionalmente todas las soluciones demandan más kWh al año en calefacción de lo que el establecimiento consume y puede financiar actualmente que son 48.598 kWh año, estando cerca de este consumo la SC3 y SC7.

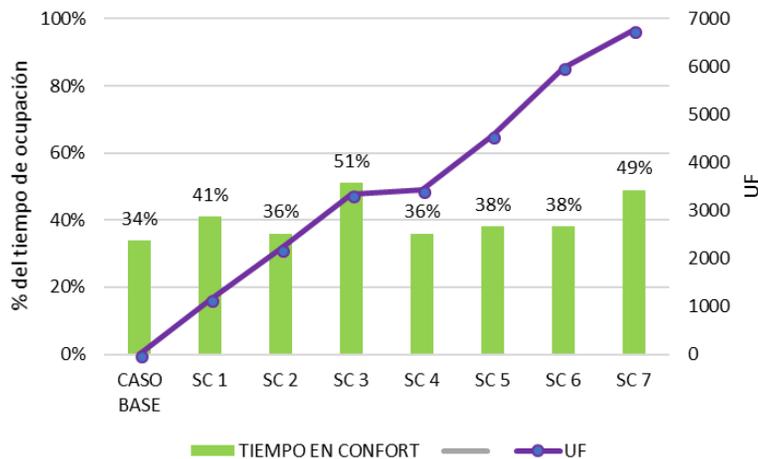
Al comparar las demandas de refrigeración, tenemos que todas aumentan la demanda en comparación al caso base como se muestra en gráfico 24, siendo la SC3 la que aumenta menos, Las soluciones que aumentan más la demanda son la SC2 y SC4. La SC1 y SC7 tienen demandas similares, sin embargo, la inversión en la SC1 es menor y en SC7 mayor.

**Gráfico 24. Demanda refrigeración y costo de soluciones Escuela Ramón Ramírez**



Al comparar el tiempo en confort con el costo de la inversión, como se puede ver el gráfico 25 la SC3 y SC7 son las que tienen más tiempo, pero SC3 es la que posee una inversión menor.

**Gráfico 25. Confort y costo de soluciones aula 7 en invierno Escuela Ramón Ramírez**



## Conclusiones

La estrategia de rehabilitación propuesta mediante el análisis por simulación de diversas soluciones constructivas es factible de implementar en las escuelas rurales industrializadas de la zona sur de Chile, con valores de transmitancia térmica recomendados en la envolvente, permitiendo aumentar su tiempo en confort. Siendo las escuelas ubicadas en la zona sur litoral más ventajosas, llegando a tener un 64% del tiempo de ocupación en confort térmico durante el invierno, mientras que las escuelas ubicadas en la zona sur interior no logran superar el 31%, y las ubicadas en la zona andina presentan resultados intermedios. Lo que demuestra que la rehabilitación puede ser una alternativa en el caso de la escuela no se pueda reponer.

Basado en las simulaciones realizadas y las soluciones constructivas propuestas, se logra establecer un costo de rehabilitación por m<sup>2</sup> para cada zona climática, equivalente a; 7,4 UF/m<sup>2</sup> en la zona andina, 10,3 UF/m<sup>2</sup> en la zona sur interior y 9,5 UF/m<sup>2</sup> en la zona sur litoral, el cual puede ser aplicado para escuelas en otras regiones del país, ponderando sus diferencias climáticas y de costo. Sin embargo, se debe considerar que el sistema modular de las escuelas en estudio presenta deficiencias en infiltraciones y puentes térmicos, pero también por su modulación permite una envolvente continua por el exterior y facilita la prefabricación de soluciones (como ventanas o paneles de similar tamaño), considerando que las escuelas presentan localizaciones alejadas de los centros urbanos de provisión de materiales y de especialistas. Las soluciones constructivas planteadas advierten que para aumentar el tiempo en confort en la zona sur litoral se debe reforzar la ventilación natural cruzada, y en la zona sur interior y andina aumentar la aislación, dado que figura mucho tiempo bajo el rango de confort.

La simulación permitió evidenciar que las escuelas consumen poca energía por concepto de calefacción; Escuela Chaychayen 42 kWh año/ m<sup>2</sup>, Escuela Rayen Mahuida 62 kWh año/m<sup>2</sup> y Escuela Ramón Ramírez 54 kWh año/m<sup>2</sup>, pero que están en discomfort la mayor parte del tiempo de ocupación, registrando temperaturas por debajo de la normativa vigente y consumiendo menos energía en calefacción de la realmente demanda el edificio, aproximadamente consumen solo 30% de lo que realmente demandan.

De este modo, al momento de rehabilitar una escuela los futuros proyectistas de las intervenciones deben considerar; el tiempo en confort que otorga al interior del aula la solución

constructiva, el costo de inversión y que la demanda en calefacción este dentro de los marcos presupuestarios de costos operacionales que el sostenedor puede financiar, de lo contrario no se alcanzaran los tiempos en confort proyectados. Las soluciones propuestas dejan un saldo de presupuesto disponible el cual puede utilizarse en otras acciones como el cambio de lampisterías o artefactos sanitarios, los cuales también aportan a mejorar las condiciones ambientales de las escuelas

La estrategia de rehabilitación se convierte en una alternativa para los establecimientos existentes de baja matrícula, permitiendo una educación arraigada al territorio, valorando el rol social y cultural que tienen las escuelas rurales.

Futuros estudios se deben enfocar en cómo puede ser el diseño de las ventanas y sus aperturas, para mejorar las condiciones de ventilación y lograr aumentar el tiempo en confort durante el verano e invierno, dado que en los tres casos se registran temperaturas sobre el rango de confort. Las cuales podrían estar dentro, si se realizan las ventilaciones naturales, dado que las temperaturas exteriores con inferiores, logrando aumentar los tiempos en confort, consolidando de mejor manera la rehabilitación como una estrategia para esta tipología de escuelas.

## Referencias bibliográficas

ACHEE. Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. Primera edición, Diciembre 2012.

ACHEE. Guía autodiagnóstico Eficiencia Energética para establecimientos educativos. Primera edición, Abril 2014.

ARMIJO, G, WHITMAN, C y CASALS, R. Post-Occupancy Evaluation of State Schools in 5 Climatic Zones of Chile. *Gazi University Journal of Science*. 2011. 24 (2), pp 365-374.

BOSCH M, RODRÍGUEZ, I, ÁLVAREZ, J. Rehabilitación energética de edificios escolares en clima mediterráneo: caso de estudios, Barcelona. *4° Congreso de patología y rehabilitación de edificios PATPRREB*. 2012. Santiago de Compostela, España. ISBN 978-84-96712-49-2.

CITEC UBB. Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones. ISBN 978-956-9275-27-2.

EARTHMAN, G, LEMASTERS, L. Review of research on the relationship between school buildings, student achievement, and student behavior. *Council of Educational Facility Planners International Annual Meeting*. Tarpon Springs, Florida, USA, 1996.

FREIBERG, H. School Climate: Measuring, Improving and Sustaining Healthy Learning Environments. First published in 1999. ISBN 07507 0642 2.

GHASEMI, M, MIRZAD F. The effect School Design on Student Performance. *Internacional Education Studies*. 2016, vol 9, n 1, pp 175-181. ISSN 1913-9020 E-ISSN 1913-9039.

GIULIANO, G, GARZÓN, B. Eficiencia térmica-energética y adecuación bioambiental en escuela rural de Santiago del estero-Argentina. 2017. *Congreso XIV ENCAC y ELACAC*. Camboriu, Brasil. 2017, pp. 1212-1221.

HADDAD, S, OSMOND, P, KING, S, HEIDARI, S. Developing assumptions of metabolic rate estimation for primary school children in the calculation of the Fanger PMV model. *Proceedings of 8° Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world Cumberland Lodge*. Windsor, UK, 2014. Network for Comfort and Energy Use in Building, <http://nceub.org.uk>

LIÉBANA, E, SERRANO, B, ORTEGA, L. Análisis tipológico de centros escolares para caracterizar los consumos energéticos. El caso de la ciudad de Valencia. *3° Congreso Internacional de Construcción y Soluciones Eco-Eficientes CICSE*. Sevilla, España. 2017, pp 427-437.

MCGUFFEY, C. Model for the Evaluation Buildings. 1974

MENDELL, M, HEATH, G. Do indoor environments in schools influence student performance? A review of the literature. *A Compilation of Paper for the Indoor Air 2002 Conference in Memory of Joan M. Daisey*. 2002, pp 802-807.

MELLA, O. Factores que Afectan los Resultados de la Escuela Pública Chilena. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 2006, vol 4, n 1.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. Nuevo Espacios Educativos. Primera Edición, Noviembre 1999. ISBN 956-7268-21-5.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. La reconstrucción en Educación. Una mirada a los procesos y desafíos en la reconstrucción de la infraestructura escolar dañada en el terremoto y maremoto del 27/F. Diciembre 2013.

MOLINA, C y VEAS, L. Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la Construcción (online)*. 2012, vol 12, n 22, pp 27-28. ISSN 0718-915X.

MONTENEGRO, E. Buena arquitectura, mejora educación. *Ciudad y arquitectura*. 2016, volumen 153, número 8. ISSN 0719-787X.

MURILLO, J, MARTINEZ C. Las condiciones ambientales en las aulas de primaria en Iberoamérica y sus relaciones con el desempeño académico. *Archivos analíticos de políticas educativas*. 2012, vol 20, n 18, pp 1-19. ISSN 1068-2341.

PALMER, M. 50 años de Arquitectura Metálica en Chile 1920-1970. Santiago, 1971.

RE, M G, BLASCO, I, FILIPPÍN C. Evaluación higrotérmica y energética de un edificio escolar perteneciente al programa nacional 700 escuelas, en el área metropolitana de San Juan, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*. 2016, vol 6, n 2, pp 40-51. ISSN 0719-0700.

RE, M G, FILIPPÍN C. Evaluación del comportamiento térmico de una escuela típica en la ciudad de San Juan, Argentina. *Acta de la XXXVIII Reunión de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2015, vol 3 pp 05.35-05.46. ISBN 978-987-29873-5.

SAN JUAN, G. Auditoria ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI*. 2014. Banco Interamericano de Desarrollo.

TORRES, C, MAINAO, S. Evolución de los sistemas constructivos en la arquitectura escolar chilena del siglo XX. 2015. En: *Actas del noveno congreso nacional y primer congreso internacional hispanoamericano de historia de la construcción*. Segovia, 2015. Instituto Juan de Herrera. ISBN 9788497285476.

TORRES, C. Arquitectura Escolar Pública como Patrimonio Moderno en Chile. Registro y análisis de las obras construidas por la SCEE en la zona centro del país 1937-1960. Primera Edición, Mayo 2015. ISBN 9789563586701.

TREBILCOCK, M, SOTO, J, FIGUEROA, R y PIDERIT, B. Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. *Revista AUS*. 2016, vol 20, pp 70-76.

TREBILCOCK, M, SOTO, J, YAÑEZ, M, FIGUEROA, R. The right to confort: A field study on adaptive thermal in free running primary schools in Chile. *Building and Environment*. 2017, vol 114, pp 455-469.

TREBILCOCK, M., BOBADILLA, A., PIDERIT, B., FIGUEROA, R., MUÑOZ, C., SANCHEZ, R., ... HERNÁNDEZ, J. Environmental Performance of Schools in Areas of Cultural Sensitivity. In *PLEA 2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Lima, Perú. 2012, pp. 7–12.

SARTORI, I, HESTNES, A. Energy use in the cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*. 2007, vol 39, pp 249-257.

SCEE. 50 años de Labor 1937-1987. Santiago de Chile, 1987. Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales.

ZOMORODIAN, Z, TAHSILDOOST, M, HAFEZI, M. Thermal confort in educational buildigns: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, vol 59, pp 895-906.

## Anexos

### Anexo 1: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Chaychayen

ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 1		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 2	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	3,198	techumbre	0,157
muros	0,188	muros	0,188
vanos	2,725	vanos	5,89
ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 3		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 4	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	0,157	techumbre	0,291
muros	2,351	muros	0,438
vanos	2,725	vanos	2,725
CALENDARIO DE OCUPACIÓN			
días		lunes a viernes	
horario		8:00 a 16:00 horas	
vacaciones		enero-febrero 15 al 26 julio	
CONDICIONES INTERNAS			
carga de equipos		6 W/m2	
iluminación mínima		180 lux	
infiltraciones		12,4 renov/h	
consigna refrigeración		24°C	
consigna calefacción		20°C	
cop calefacción		0,6	
ventilación natural		2 renov/h	

### Anexo 2: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Chaychayen

Solución constructiva	tiempo confort invierno	clasificación invierno	tiempo confort verano	clasificación verano
SC 1	64%	D	52%	E
SC 2	60%	E	51%	E
SC 3	51%	E	40%	G
SC 4	63%	D	54%	E

**Anexo 3: Imagen modelo simulación Escuela Chaychayen**



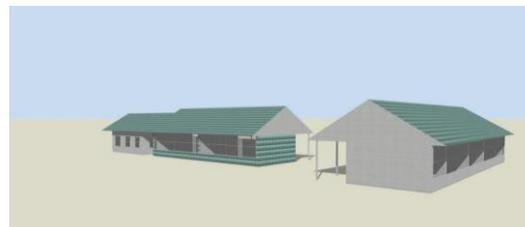
**Anexo 4: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Rayen Mahuida**

ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 1		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 2	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	3,198	techumbre	0,274
muros	0,188	muros	0,568
vanos	2,725	vanos	5,89
ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 3		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 4	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	0,152	techumbre	0,152
muros	0,188	muros	2,351
vanos	5,89	vanos	2,725
ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 5		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 6	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	0,274	techumbre	0,152
muros	0,568	muros	0,281
vanos	2,725	vanos	2,725
CALENDARIO DE OCUPACIÓN			
días	lunes a viernes		
horario	8:00 a 16:00 horas		
vacaciones	enero-febrero 15 al 26 julio		
CONDICIONES INTERNAS			
carga de equipos	6 W/m2		
iluminación mínima	180 lux		
infiltraciones	12,4 renov/h		
consigna refrigeración	24°C		
consigna calefacción	20°C		
cop calefacción	0,6		
ventilación natural	2 renov/h		

**Anexo 6: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Rayen Mahuida**

Solución constructiva	tiempo confort invierno	clasificación invierno	tiempo confort verano	clasificación verano
SC 1	31%	G	63%	E
SC 2	21%	G	58%	E
SC 3	23%	G	61%	D
SC 4	20%	G	49%	F
SC 5	28%	G	64%	D
SC 6	30%	G	65%	D

**Anexo 7: Imagen modelo simulación Escuela Rayen Mahuida**



**Anexo 8: Datos entrada simulación rehabilitación envolvente Escuela Ramón Ramírez**

ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 1		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 2	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	3,198	techumbre	3,198
muros	0,154	muros	2,918
vanos	5,89	vanos	2,725
ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 3		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 4	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	3,198	techumbre	0,157
muros	0,154	muros	2,918
vanos	2,725	vanos	5,89
ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 5		ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 6	
	U W/m2k		U W/m2k
techumbre	0,157	techumbre	2,918
muros	0,154	muros	0,157
vanos	5,89	vanos	2,725

ENVOLVENTE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA 7	
	<b>U W/m<sup>2</sup>k</b>
techumbre	0,157
muros	0,154
vanos	2,725
CALENDARIO DE OCUPACIÓN	
días	lunes a viernes
horario	8:00 a 16:00 horas
vacaciones	enero-febrero 15 al 26 julio
CONDICIONES INTERNAS	
carga de equipos	6 W/m <sup>2</sup>
iluminación mínima	180 lux
infiltraciones	12,4 renov/h
consigna refrigeración	24°C
consigna calefacción	20°C
cop calefacción	0,6
ventilación natural	2 renov/h

**Anexo 8: Resumen confort térmico y clasificación por solución constructiva Escuela Ramón Ramírez**

Solución constructiva	tiempo confort invierno	clasificación invierno	tiempo confort verano	clasificación verano
SC 1	41%	F	56%	E
SC 2	36%	G	48%	F
SC 3	51%	E	66%	D
SC 4	36%	G	47%	F
SC 5	38%	G	55%	E
SC 6	38%	G	55%	E
SC 7	49%	F	63%	D

**Anexo 9: Imagen modelo simulación Escuela Ramón Ramírez**

