

Trabajo final de carrera

Rehabilitación energética de escuelas rurales del “Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas”. Estudio de casos en zona climática IIb de Uruguay

Autor | Gunnar GIL MATHISSON

Salto, diciembre 2019



Trabajo final evaluado por:

Arq. Gabriela Piñeiro

Arq. Magdalena Camacho

Mag. José L. Di Laccio

Fecha:

Autor

Gunnar Gil Mathisson



Agradecimientos

A mis compañeros de estudio que han acompañado el trayecto hasta hoy.

A los docentes que han colaborado de diversas formas, especialmente a Juan y Gerardo por la paciencia, a Juan Carlos por el ánimo y a Daniel por la orientación.

A Marcelo Sasson, Fernando Ferrero y Andrés Mazzini por poner a disposición la información.

A mi familia, siempre.



Tabla de contenidos

1.	Introducción	10
1.1.	Fundamentos para la elección del tema	10
1.2.	El problema de investigación	13
1.3.	Hipótesis	14
1.4.	Pregunta de investigación	14
1.5.	Objetivos del trabajo	15
2.	Marco teórico para el estudio energético de establecimientos educacionales.	16
2.1.	Escuelas rurales del Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas	16
2.2.	Confort térmico en establecimientos educacionales rurales	17
2.3.	Confort adaptativo	19
3.	Características de los establecimientos analizados	20
3.1.	Aspectos constructivos	21
3.2.	Descripción de edificios relevados	24
4.	Evaluación de las condiciones de confort y desempeño energético	32
4.1.	Determinación de parámetros de confort y encuestas a estudiantes	32
4.2.	Mediciones y análisis de registros climáticos	35
4.3.	Simulaciones termo-energéticas	45
5.	Propuestas de rehabilitación termo energética	63
5.1.	Estrategias propuestas para Escuela 30	63
5.2.	Simulaciones de propuestas para Escuela 30	68
5.3.	Estrategias propuestas para Escuela 45	73
6.	Conclusiones	76
	Anexos	82

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Carta bioclimática de Givoni con área de confort (p. frío verde; p. caluroso naranja).	32
Gráfico 2 - Carta psicrométrica con condiciones de temperatura y humedad relativa en momentos de realización de encuesta en Escuela rural 30 (marrón: Aula 1, naranja: Aula 2).....	33
Gráfico 3 - Resultados de encuesta de percepción de confort en Escuela rural 30.....	34
Gráfico 4 - Cronología de registros climáticos para períodos fríos y calurosos.	35
Gráfico 5 - Comparación temperatura exterior Escuela 30 - LES en período caluroso.....	41
Gráfico 6 - Escuela 30 – Datos climáticos en semana de período frío.	42
Gráfico 7 - Escuela 30 – Datos climáticos en semana de período caluroso.	42
Gráfico 8 – Escuela 30 - Comportamiento del edificio ante ingreso de frente frío.	43
Gráfico 9 - Escuela 45 - Datos climáticos en semana de período frío.....	44
Gráfico 10 - Comparación de temperaturas Aula 1 Escuela 30 para ajuste de modelo.....	46
Gráfico 11 - Comparación de temperaturas Aula 2 Escuela 30 para ajuste de modelo.....	46
Gráfico 12 - Gráfico para determinación de ventilación para remoción de gases.	51
Gráfico 13 - Horas de confort y desconfort para período anual expresado en porcentaje. Edificio existente Escuela 30.	54
Gráfico 14 - Balance de energía edificio existente Escuela 30.....	54
Gráfico 15 - Balance de energía aula 1 existente Escuela 30.....	55
Gráfico 16 - Balance de energía aula 2 existente Escuela 30.....	55
Gráfico 17 - Balance de energía Sala existente Escuela 30.....	55
Gráfico 18 - Ganancias internas edificio existente Escuela 30 por tipo.....	56
Gráfico 19 - Consumos mensuales edificio existente Escuela 30 por tipo.	56
Gráfico 20 - Horas de confort y desconfort para período anual expresado en porcentaje. Edificio Escuela 45 existente.	59
Gráfico 21 - Balance de energía edificio existente Escuela 45.....	59
Gráfico 22 - Balance de energía Pasillo existente Escuela 45.	60
Gráfico 23 - Balance de energía Aula 3 existente Escuela 45.....	60
Gráfico 24 - Balance de energía Aula 6 existente Escuela 45.....	60
Gráfico 25 - Balance de energía Administración existente Escuela 45.	61
Gráfico 26 - Ganancias internas edificio existente Escuela 45 por tipo.....	61
Gráfico 27 - Consumos mensuales edificio existente Escuela 45 por tipo.	62
Gráfico 28 - Diagrama estereográfico para punto P en abertura sobre galería Escuela 30.....	64
Gráfico 29 - Diagrama estereográfico de nuevas aberturas propuesta para aulas 2 y 3 (norte) de escuela 30.	66
Gráfico 30 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 1.....	69
Gráfico 31 - Balance de energía edificio Escuela 30 con aberturas modificadas.....	69
Gráfico 32 - Ganancias internas por tipo en edificio escuela 30 con aberturas modificadas.	69
Gráfico 33 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 2.....	71
Gráfico 34 - Balance de energía edificio escuela 30 con cubierta aislada.	71
Gráfico 35 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 3.....	72
Gráfico 36 - Balance de energía edificio escuela 30 con aberturas modificadas y cubierta aislada.....	72
Gráfico 37 - Balance de energía Escuela 45 con aberturas modificadas.....	73



Gráfico 38 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 45 con propuesta 1.	74
Gráfico 39 - Balance de energía Escuela 45 con aberturas modificadas y cubierta aislada.	74
Gráfico 40 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 45 con propuesta 2.	75
Gráfico 41 - Temperaturas medias mensuales edificio Escuela 30 con propuestas combinadas. ..	77
Gráfico 42 - Temperaturas medias mensuales edificio Escuela 45 con propuestas combinadas. ..	77
Gráfico 43 - Transferencia de energía por envolvente comparada para Escuela 30.	78
Gráfico 44 - Transferencia de energía por envolvente comparada para Escuela 45.	78



Índice de tablas

Tabla 1 - Ubicación y estado de escuelas Plan Bicentenario en zona climática IIb.	11
Tabla 2 - Ocupación de escuelas según período.....	37
Tabla 3 - Condiciones climáticas de registros termográficos.....	37
Tabla 4 - Temperaturas bóveda Escuela 30 referidas a puntos de figura 17.....	38
Tabla 5 - Temperaturas bóveda Escuela 68 referidas a puntos de figura 19.....	39
Tabla 6 - Temperaturas de cerramientos escuelas 68 y 30 referidas a Figuras 20 y 21.....	40
Tabla 7 - Escuela rural 30. Factores de forma y huecos.	43
Tabla 8 - Escuela rural 45. Factor de huecos.	45
Tabla 9 - Escuela 30 - Comparación de simulaciones con paquetes de datos provistos y registros propios.....	47
Tabla 10 - Escuela 45 - Comparación de simulaciones con paquetes de datos provistos y registros propios.....	48
Tabla 11 - Resultados ensayos de infiltraciones escuelas 30 y 36.	51
Tabla 12 - Planilla aberturas exteriores Escuela 45.....	58
Tabla 13 - Parámetros de ventilación Escuela 45.....	58
Tabla 14 - Comparación factores de huecos entre edificio existente y propuesta 1 Escuela 30.	63



Índice de figuras

Figura 1 - Ubicación de escuelas del Plan Bicentenario en zona climática IIb.....	12
Figura 2 – Ex escuela rural 53 Paso de León, Artigas.....	20
Figura 3 - Ex escuela rural 37 Costa de Arias, Florida.	20
Figura 4 - Detalle cerramientos verticales (extraído de Plano 8, CEPN, s/fecha).	22
Figura 5 - Fundación: planta parcial y detalle (extraído de Plano 4, CEPN, 1966).	22
Figura 6 - Cerramientos verticales, planta parcial (extraído de Plano 1, CEPN, 1966).....	23
Figura 7 - Corte parcial de cubierta original (extraído de Plano 9, CEPN, s/fecha).	23
Figura 8 - Escuela 30 Laureles. Fachada Norte.	25
Figura 9 - Planta esquemática actual Escuela rural 30 Laureles (en verde el edificio original).	26
Figura 10 - Escuela 36 Sauce chico. Fachada Norte.....	27
Figura 11 - Planta esquemática Escuela rural 36 Sauce Chico.....	27
Figura 12 - Escuela 45 Garibaldi. Fachada Norte.....	28
Figura 13 - Planta esquemática Escuela rural 45 Garibaldi.....	29
Figura 14 - Escuela 68 Zanja honda de Itapebí. Fachada Oeste.	29
Figura 15 - Planta esquemática Escuela rural 68 Zanja Honda de Itapebí.	30
Figura 16 - Esquemas de asoleamiento cubierta con bóvedas orientadas Norte/Sur.....	38
Figura 17 - Termografía de bóveda Escuela 30.....	38
Figura 18 - Esquema de asoleamiento cubierta con bóvedas orientadas Este/Oeste.	38
Figura 19 - Termografía de bóveda escuela 68.	39
Figura 20 - Termografía cerramientos Escuela rural 68.	39
Figura 21 - Termografía cerramientos Escuela rural 30.	40
Figura 22 - Ubicación registradores Escuela rural 30 – Azul: invierno, Rojo: verano.....	41
Figura 23 - Ubicación registradores Escuela rural 45.	44
Figura 24 - Detalle cubierta (capa inferior) y esquema de mampuesto.	49
Figura 25 - Planta Escuela rural 30 con división de bloques para modelado.	52
Figura 26 - Modelo en Design Builder Escuela rural 30.	53
Figura 27 - Planta Escuela rural 45 con locales representativos en simulación.....	57
Figura 28 - Planta aberturas Escuela 45.....	57
Figura 29 - Planta esquemática con aberturas modificadas Escuela 30.	64
Figura 30 - Esquema de aula con aberturas modificadas y reflexión de luz solar.	65
Figura 31 - Diseño de aberturas propuestas para Escuela 30.	65
Figura 32 - Corte esquemático propuesta aislación de cubierta.....	67
Figura 33 - Vista esquemática fachada Norte Escuela 30 con aberturas modificadas y uso de vegetación en galería de acceso.....	67
Figura 34 - Iluminancia sobre plano de trabajo Aula 2 con aberturas existentes Escuela 30.	70
Figura 35 - Iluminancia sobre plano de trabajo Aula 2 con aberturas modificadas Escuela 30.	70

Resumen

El Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas marcó un hito importante en la infraestructura escolar del Uruguay en la década de 1960. Localizado exclusivamente en el ámbito rural, mejoró significativamente las condiciones de confort y seguridad de los alumnos, en ese momento ocupantes de escuelas precarias.

Pasados cincuenta años, los edificios siguen prestando funciones en un contexto diferente, por lo que se cree adecuado proponer una rehabilitación energética de los mismos dotándolo de condiciones de confort basadas en los criterios actuales. Se estudian edificios en actividad situados en la zona noroeste del país, evaluándolos con herramientas de simulación térmica, para elaborar propuestas en base a los principales aspectos desfavorables encontrados. Estas propuestas están alineadas con las directivas estatales de cuidado ambiental y ahorro energético, y consideran intervenciones de ejecución sencilla, durables en el tiempo, acorde al espíritu que originó estos edificios. Las propuestas no alteran su valor funcional y formal pues estos edificios forman parte de la obra del Ing. Eladio Dieste, en proceso de incorporación al Patrimonio de la Humanidad UNESCO. La incorporación del concepto de confort adaptativo para niños en edad escolar del medio rural, amplía las posibilidades de obtener condiciones interiores saludables para un mejor desempeño de tareas.

El efecto de la aplicación de mejoras sobre edificios con unidad tipológica y material, depende de variables de implantación, formales y constructivas.

La posible aplicación de estrategias bioclimáticas similares en otras escuelas del Plan, en otras zonas del país, estará condicionada por dichas variables, además de las climáticas de cada lugar.

1. Introducción

El Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas relativo a la mejora locativa de la educación primaria rural, derivó de la acción de la Comisión Bicentenario de Artigas, que tuvo a su cargo, en la década de 1960, la edificación de nuevos locales para escuelas rurales durante un período de once años¹.

Este trabajo presenta un grupo representativo de edificios pertenecientes al Plan, que fueron construidos con la misma tipología en un radio de 50 km de la ciudad de Salto. Un estudio térmico preliminar realizado en uno de ellos, proporciona la oportunidad de realizar una investigación más profunda sobre su comportamiento térmico y condiciones de confort actuales.

1.1. Fundamentos para la elección del tema

Los edificios escolares pertenecientes al Plan tienen características que justifican ampliamente su elección para realizar este trabajo.

1.1.1. Dispersión en el territorio nacional

Se encuentran en todo el territorio de Uruguay, siempre en el ámbito rural o en muy pequeñas poblaciones, lo que permite extender los resultados de este estudio a todos los edificios existentes, con la previsión de ajustar los valores necesarios a las características de las zonas climáticas donde se implanten.

Las escuelas con las características estudiadas, pertenecientes a distintos momentos del Plan Bicentenario, que se encuentran en la zona climática IIb² del territorio uruguayo se muestran en la Tabla 1. Se estudian con profundidad las escuelas de Salto número 30 y 45, aportando también importantes elementos de estudio las escuelas número 36 y 68. Se destacan en verde los edificios objeto de este estudio. La elección de estos edificios se basó en criterios de conveniencia por estudios previos, por cercanía y por variación de implantaciones.

DEPARTAMENTO	NÚM	PARAJE	LATITUD	LONGITUD	ESTADO
Artigas	18	Sarandí de Cuaró	30°52'41.19"S	56°39'46.74"O	Activa
Artigas	30	Tarumán	30°28'29.28"S	56°40'20.21"O	Activa
Artigas	34	Tamanduá	30°28'09.85"S	56°29'25.53"O	Activa
Artigas	45	Topador	30°17'47.37"S	56°49'08.99"O	Activa
Artigas	47	Colonia Estrella	30°26'41.33"S	57°25'14.95"O	Activa
Artigas	52	Tres Cerros de Santiño	30°44'43.52"S	56°11'53.00"O	Activa
Artigas	53	Paso de León	30°07'43.50"S	57°05'07.90"O	Abandonada
Artigas	61	Piedra pintada	30°31'09.35"S	56°23'35.12"O	Activa
Artigas	62	Punta de Tres Cruces	30°36'31.15"S	56°33'13.05"O	Activa
Artigas	66	Paso de León	30°12'12.97"S	57° 4'30.64"O	Activa
Rivera	21	Parada Medina	31°07'50.56"S	55°38'05.06"O	Activa
Rivera	58	Paso Serpa	31°01'48.87"S	55°30'19.18"O	Activa
Salto	23	Rincón de Valentín	31°16'52.97"S	57°11'46.65"O	Activa
Salto	25	Cerros de Vera	31°36'17.31"S	56°48'50.42"O	Activa
Salto	30	Laureles	31°30'01.99"S	57°31'18.54"O	Activa
Salto	36	Sauce Chico	31°32'46.74"S	57°34'46.74"O	Activa
Salto	43	Celeste	31°18'51.21"S	57°07'08.02"O	Activa
Salto	45	Garibaldi	31°20'23.67"S	57°49'26.83"O	Activa
Salto	49	Guaviyú de Arapey	31°05'23.73"S	56°41'09.17"O	Activa
Salto	50	Sarandí de Arapey	30°59'17.47"S	56°12'59.28"O	Activa
Salto	52	Cuchilla de Guaviyú	31°02'19.30"S	56°38'14.36"O	Activa
Salto	68	Zanja honda de Itapebí	31°08'04.30"S	57°46'19.36"O	Activa
Salto	74	Chacras de Belén	30°46'19.50"S	57°45'39.85"O	Activa
Salto	80	Campo de todos	31°33'38.27"S	57°36'50.76"O	Activa
Tacuarembó	37	Paso de las Carretas	31°33'57.88"S	56°02'35.93"O	Activa
Tacuarembó	85	Bañado de Cañas	31°25'39.09"S	55°58'59.57"O	Activa
Tacuarembó	102	Costas de Cañas	31°22'54.20"S	55°58'32.31"O	Activa

Tabla 1 - Ubicación y estado de escuelas Plan Bicentenario en zona climática IIB.

En la Figura 1 se colocan sobre el mapa, indicadores de posición de cada escuela existente con el siguiente código de colores: verde con punto negro, escuelas del Plan en actividad; blanco con punto negro, escuela del Plan abandonada; magenta o azul, escuelas rurales de tipos diversos; blanco, escuelas rurales de tipos diversos cerradas o

abandonadas. Se destacan con mayor tamaño las cuatro escuelas analizadas en este trabajo.

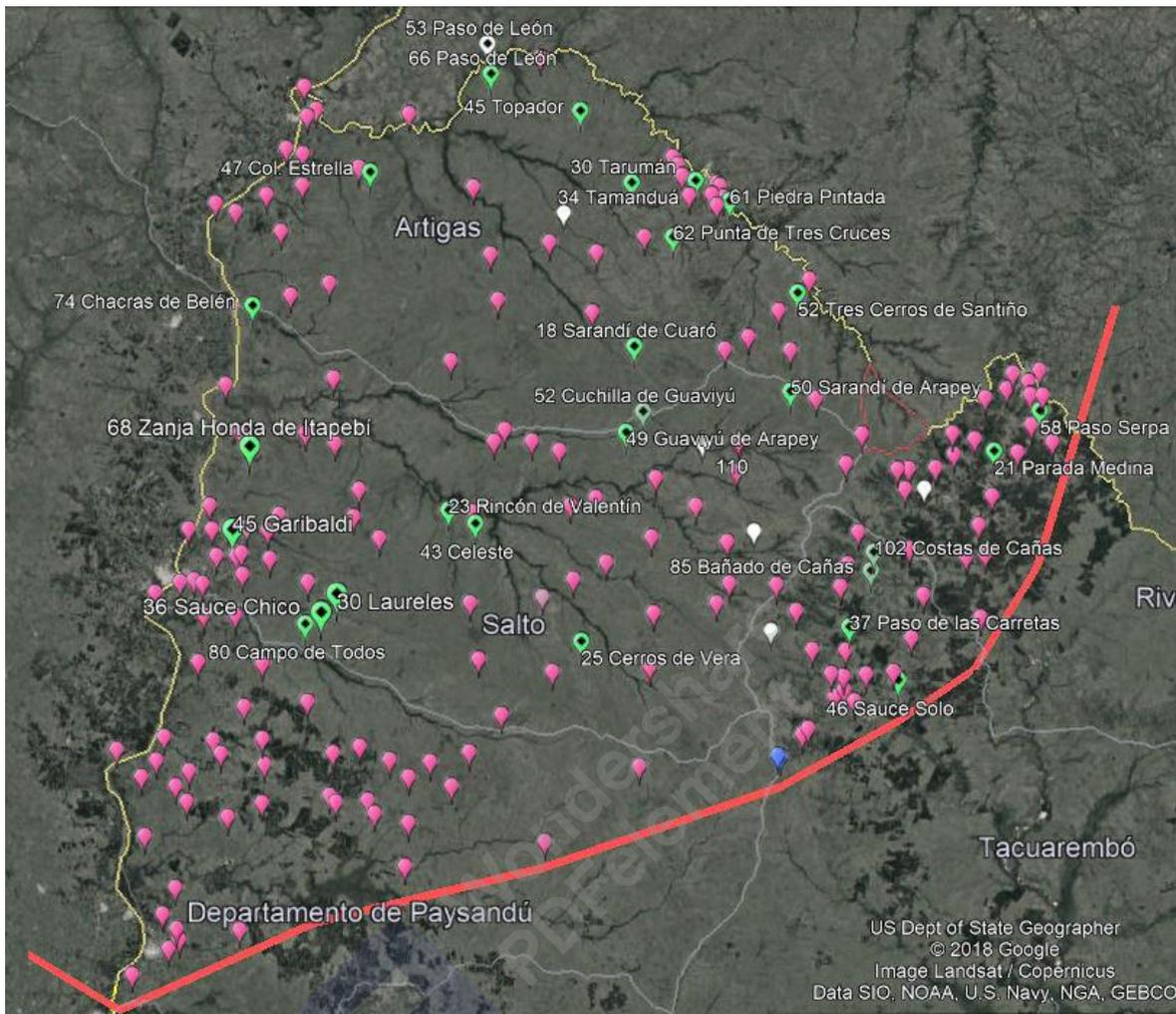


Figura 1 - Ubicación de escuelas del Plan Bicentenario en zona climática IIb.

1.1.2. Solidez en la construcción

Son edificios de muy buena calidad constructiva, aptos para resistir los eventos climáticos extremos a los que están expuestos en el medio rural, generalmente aislados y con escasa protección en el terreno circundante. Si bien en la región estudiada, en un porcentaje alto tienen una población escolar reducida o en franca reducción, se cree en su utilidad no solamente con fines educativos sino con usos relacionados con actividades sociales o productivas de las zonas donde están implantados. Existen iniciativas al respecto como la refuncionalización de los predios y edificios de escuelas en el departamento de Cerro Largo³. Por ello, el mejoramiento de sus condiciones puede dar oportunidades para el desarrollo de esas u otras actividades.

1.1.3. Aspecto patrimonial

En los últimos años se asiste en Uruguay a una justificada valorización de la obra del Ing. Eladio Dieste a partir de la inclusión por Uruguay de algunas de sus obras en la Lista Indicativa de la Convención del Patrimonio Mundial de la UNESCO en 2010⁴. Dentro de los edificios propuestos se encuentra la escuela rural 27 del departamento de Florida, sita en el paraje La Macana⁵, que igual a las escuelas objeto de estudio de este trabajo, pertenece al Plan Bicentenario. Su aporte y el de sus colaboradores -principalmente del Ing. Marcelo Sasson en este tema- agrega un aspecto a tener en cuenta desde los puntos de vista social y patrimonial, que puede potenciar oportunidades para desarrollar distintos proyectos. Se ha encontrado muy poca información sobre estas escuelas, siendo este otro motivo que impulsa la elección del tema, pudiendo significar un aporte a la bibliografía existente, desde el punto de vista del confort.

1.2. El problema de investigación

Los edificios que forman parte del Plan, significaron un salto cualitativo muy importante en el momento de su construcción, dotando a los parajes de locales educacionales con condiciones de salud y confort muy diferentes a las existentes previamente. La solidez constructiva los constituyó seguramente en un referente en cada zona donde se implantaron, generalmente cerca de los llamados “pueblos de ratas”, villorrios miserables donde se agrupaba la población que era poco a poco expulsada de los sistemas de producción tradicionales, ante las mejoras tecnológicas. En muchos casos se sustituyeron edificios precarios, generalmente ranchos de terrón y paja. En otros se proporcionaron nuevos locales a agrupaciones poblacionales que carecían del servicio escolar. En los años 60 las dificultades de comunicación por escasa infraestructura vial, la relativa lejanía de las viviendas de los alumnos, también hacían de la escuela un refugio en momentos de eventos climáticos severos, frente a los que estos nuevos edificios ofrecían seguridad.

A diferencia del momento de su construcción, al día de hoy, la casi totalidad de las escuelas rurales cuentan con energía eléctrica. La disponibilidad de la misma significó -respecto a su situación inicial- una mejora potencial en el confort, principalmente por la posibilidad de incorporación de equipos con

mejores prestaciones o directamente nuevas tecnologías inexistentes anteriormente. Pueden mencionarse las principales: iluminación, equipos de comunicación, equipos relacionados con la conservación y preparación de alimentos y últimamente equipos de acondicionamiento térmico artificial. Esta disponibilidad no se ha visto acompañada de una revisión de las condiciones edilicias con el objeto de su mejor aprovechamiento.

La observación de un uso casi permanente de iluminación artificial y equipos de climatización en los edificios estudiados se asocia a la posibilidad de que el edificio no tenga las prestaciones necesarias para satisfacer las condiciones de confort esperadas en la actualidad.

Se relaciona esta situación reciente con la función del Estado de “...ser ejemplo paradigmático de una gestión eficiente, dinámica y moderna, liderando la instrumentación de la política, en y desde las instituciones públicas.” referida a la eficiencia energética en el sector público como se cita en el Plan Nacional de Eficiencia Energética.⁶

Un nuevo salto cualitativo de los edificios, cincuenta años después de su construcción, puede ser al menos evaluado, lo que se transforma en el objeto de este trabajo.

1.3. Hipótesis

Se considera que estos edificios con unidad tipológica, con virtudes en lo formal, estructural, ambiental y funcional, no cumplen con los criterios de confort adaptativo necesarios en la actualidad para la adecuada actividad de escolarización de los niños del ámbito rural, dependiendo de las implantaciones, método constructivo y particularidades del diseño de cada caso.

1.4. Pregunta de investigación

De acuerdo a las consideraciones previas y alineado con la evaluación de nuevas condiciones, ¿es posible la rehabilitación energética de los edificios del Plan a través de variantes en su envolvente, aplicando estrategias que mantengan su calidad formal y ambiental? Las estrategias a adoptar deben ser adecuadas al contexto geográfico e institucional.

1.5. Objetivos del trabajo

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las condiciones de confort térmico y lumínico de edificios escolares pertenecientes al Plan, mediante el estudio de cuatro ejemplares situados en la zona climática IIb de Uruguay, para elaborar estrategias de rehabilitación energética que permitan satisfacer los criterios de confort adaptativo actuales.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones higrotérmicas actuales de dos edificios para establecer una línea de base que permita conocer el comportamiento higrotérmico de las construcciones.
- Proponer mejoras de diseño basadas en el acondicionamiento natural para los edificios, buscando mejorar las condiciones higrotérmicas de los mismos para contribuir a un mejor desarrollo de las actividades educativas que en ellos se desarrollan.



2. Marco teórico para el estudio energético de establecimientos educacionales.

2.1. Escuelas rurales del Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas

Antecedentes

La aprobación por el Consejo Nacional de Gobierno de una partida única de siete millones de pesos uruguayos en el Artículo 3 de la Ley 13030:1961⁷ promulgada el 30/11/1961 para el Plan de Emergencia de Edificaciones Escolares Rurales, fue el punto de partida de un proceso que duró algo más de una década.

Este proceso dio por llamarse finalmente Plan Bicentenario del nacimiento de Artigas, también conocido como Plan Gallinal por su principal promotor: el Dr. Alejandro Gallinal Heber. Fue un conjunto de hechos que significaron un ejemplo de utilización de dineros públicos, calidad técnica y repercusión social en un contexto económico difícil de la realidad del país⁸.

La Comisión Especial creada en el Artículo 4 de la misma Ley, encargada de la ejecución del Plan -integrada por el mismo Dr. Gallinal y trabajando en conjunto con el Arq. Nieto del Consejo de Educación Primaria, solicitó cálculos estructurales al Ing. E. Dieste para un proyecto de construcción tradicional con cubierta liviana de fibrocemento sobre cerchas metálicas. Dieste argumentó las grandes dificultades que tendría la provisión de algunos materiales a los sitios remotos donde se implantarían las escuelas, por lo que propuso una solución con la utilización de ladrillos, material existente en cualquier punto del país y coherente con las habilidades constructivas de la gente del lugar⁷. Esta solución incorporaba su reciente experiencia con cáscaras autoportantes de directriz catenaria, en sus obras del Liceo 11 del Cerro y del Club ANCAP del Prado, ambas en Montevideo.

El proyecto de los prototipos fue encargado al Ing. Marcelo Sasson, quien en el lapso de una semana de trabajo en la estancia San Pedro del Timote del propio A. Gallinal, realizó los dibujos necesarios para ser comprendidos por cualquier persona con habilidades en la construcción, dado que los propios vecinos de cada lugar donde se implantaría una escuela, trabajarían en la misma. Estos dibujos, una vez terminados, fueron pasados a tinta, copiados y distribuidos a las comisiones departamentales, que fueron las encargadas de

suministrarlos a cada lugar donde se iba a erigir una escuela, con el apoyo necesario para realizar el trabajo.

Un par de prototipos consistentes en escuela o escuela con casa habitación para el docente fueron los desarrollados en ese momento.

Si la escuela no contaba con perforación para abastecimiento de agua, se incorporaba un canalón para captura de aguas de lluvia y deriva a aljibe. En caso contrario, la caída era libre o canalizada mediante ductos al terreno.

Los materiales que fue necesario trasladar, como cemento, varillas de hierro (se usaban solamente tres diámetros) y elementos de fijación menores se redujeron al mínimo, gracias a un ajustado metraje que acompañaba a cada prototipo. El resto de materiales se reducía a los básicos para la construcción: áridos y mampuestos, ambos de provisión local. La mano de obra también fue de origen local, no siendo necesaria la contratación de especialistas gracias al detalle, la claridad de los dibujos y la simplicidad de la propuesta.

En lo que respecta a la percepción del confort en la época de su construcción, basta considerar que se pasó en su gran mayoría de locales precarios e insalubres, generalmente ranchos de terrón y paja, a edificios sólidos y con comodidades muy superiores a las existentes aunque manteniendo la base material común. Esta iniciativa fue previa, aunque puede considerársela contemporánea, a la creación del Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural⁹, también impulsado por su mismo mentor. De aquí que estas escuelas influyeron en aspectos vinculados a la salud de la población de los pueblos llamados “de ratas”, que se encontraban a lo largo y ancho del país, y también en la importante mejora de las condiciones de confort necesarias para el proceso educativo del estudiantado.

2.2. Confort térmico en establecimientos educacionales rurales

En este trabajo cobra importancia el estudio del confort térmico de los ocupantes de los edificios, con la finalidad de lograr condiciones adecuadas para el aprendizaje.

Una definición de confort térmico posible es “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es determinada mediante evaluación subjetiva”¹⁰, por lo que el mismo depende de la percepción del individuo, siendo relativa a parámetros personales y ambientales ampliados a continuación.¹¹.

Los parámetros personales son el metabolismo y la vestimenta. El primero se relaciona a la actividad del cuerpo, siendo utilizada la unidad MET que expresa la energía generada por una persona en reposo, equivalente a $58,2 \text{ W/m}^2$. El segundo se relaciona al efecto aislante, siendo un conjunto de ropa media cuantificado en CLO, donde 1 CLO equivale a $0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$.

Los parámetros ambientales son:

Temperatura del aire que rodea al individuo, expresada en $^{\circ}\text{C}$ (SI en K).

Temperatura radiante media -expresada en $^{\circ}\text{C}$ - de las superficies del local donde se ubica la persona.

Humedad relativa o relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la máxima cantidad posible que puede contener el aire a una determinada temperatura, expresada en porcentaje.

Velocidad media del aire en el recinto, expresada en m/s.

La calidad del aire es otro aspecto importante en el confort ambiental, teniendo como principal, aunque no único, elemento contaminante al dióxido de carbono (CO_2), mensurable en partes por millón. La fuente del mismo es la propia respiración de los individuos que ocupan el local, siendo un asfixiante simple que actúa por desplazamiento del oxígeno. Su concentración depende de la cantidad, actividad y tiempo de permanencia de los ocupantes del local, y de la tasa de ventilación del mismo.

La humedad contenida en el aire, producto de la propia actividad humana, causa condensaciones en superficies frías con la consiguiente formación de medios propicios para la aparición de hongos y bacterias que pueden causar problemas de salud en los ocupantes. También puede producir daños a nivel constructivo.

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son contaminantes producidos por múltiples productos presentes en un aula, desde pinturas, artículos de limpieza, pegamentos o marcadores.

Se considera importante cierta hermeticidad del edificio para lograr condiciones de confort térmico en el período frío. No menos importante es contar con una adecuada ventilación para fines higiénicos, vale decir de remoción de gases y vapores nocivos. Es saludable evitar también que la circulación de aire se produzca desde ambientes más contaminados hacia el aula. Una ventilación mayor puede ser necesaria para evitar un

sobrecalentamiento por ocupación o actividad, dependiendo de la población escolar.

2.3. Confort adaptativo

En este trabajo se toma el concepto de confort adaptativo, el cual considera un usuario activo del edificio y distingue tres categorías de adaptación:

El ajuste de conducta implica la administración del equilibrio térmico por el organismo. Éste puede hacerse a través de cambios en la vestimenta, actividad, traslados y, si el edificio lo permite, mediante el manejo de aberturas y protecciones.

La adaptación fisiológica incluye las respuestas fisiológicas a la tensión causada por la exposición del individuo a los factores ambientales, produciéndose en períodos de días o semanas.

La adaptación psicológica se basa en expectativas y experiencias del individuo ante el clima interior.

Considerando estudios realizados en Chile sobre confort adaptativo en poblaciones escolares de diferentes contextos, en edificios educacionales con y sin aplicación de estrategias bioclimáticas en su diseño¹², se realizaron encuestas a niños de las escuelas 30 y 36.

Para ello se recurrió a un formulario adaptado¹³ que recoge las sensaciones de los niños respecto al confort, sus deseos de cambio de la situación si se encuentran en disconfort, el uso de prendas de ropa y la actividad que estaban realizando previa a la toma de datos.

3. Características de los establecimientos analizados

Se toman como referentes un par de edificios observados fuera de la zona de investigación, por no haber sufrido modificaciones a lo largo de su tiempo de uso y por presentar todas las características del prototipo original de la tipología Escuela + vivienda de acuerdo a la documentación hallada¹⁴. El primero de ellos se encuentra en el paraje Paso de León, departamento de Artigas, único observado con una sola capa de mampuestos en su cubierta. Sirvió al poblado allí existente hasta los primeros años de la década de 1980, cuando quedó sin habitantes, absorbiendo sus funciones la actual escuela 66 -de similares características- situada 10 km al sur de ésta.



Figura 2 – Ex escuela rural 53 Paso de León, Artigas.

El otro es el edificio que albergó la escuela rural 37 de Florida, sito en el paraje Costa de Arias a 23 km al Este de la capital departamental, abandonado en la actualidad. Este edificio se considera ajustado a la información de diseño inicial, con la única excepción de la cubierta, la que presenta dos capas de mampuestos, sin cobertura superior de mortero.



Figura 3 - Ex escuela rural 37 Costa de Arias, Florida.

Respecto a los edificios de Salto, se entrevista a los docentes a efectos de tener una impresión general de sus prestaciones. Ante la inexistencia de información

particular sobre cada uno de ellos, se efectúan relevamientos que incluyen dimensiones, materialidad, actividad y equipamiento, cuyos resultados se vuelcan en modelos tridimensionales. Se toman registros de temperatura y humedad relativa en los períodos frío y caluroso, de locales representativos de cada edificio. Los datos relevantes para la investigación se sistematizan en planillas útiles para su posterior uso en modelos teóricos para simulaciones térmicas y lumínicas de los edificios.

3.1. Aspectos constructivos

La orientación de los edificios es determinante para la obtención de buenos resultados en el comportamiento térmico de los mismos.

En el grupo estudiado, tres de ellos tienen su eje principal Este-Oeste, mientras que el cuarto orienta su eje en la dirección Sur Suroeste-Nor Noreste.

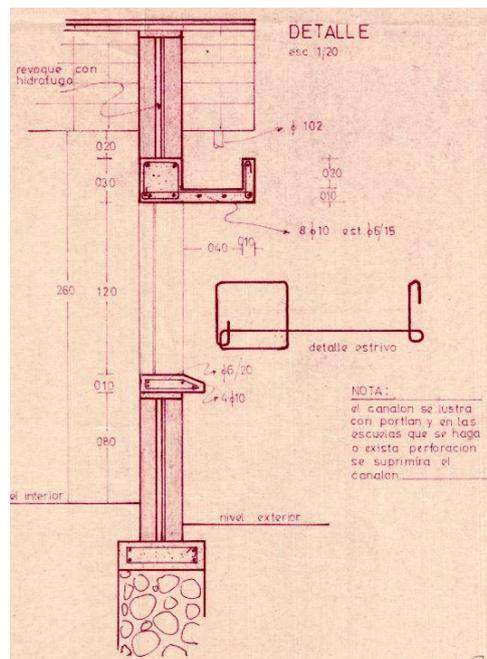
También la ubicación de las aberturas tiene una importante incidencia en la función principal que se desarrolla en ellos, teniendo según el caso favorable o desfavorable repercusión sobre el discomfort térmico y lumínico. En general, aberturas ubicadas hacia orientaciones con incidencia directa de luz solar, resultan favorables en el aspecto térmico, mientras que las orientadas al sur favorecen la iluminación distribuida en las aulas.

La resolución de la cubierta, favorable desde los puntos de vista espacial, constructivo, económico, introduce dudas desde el aspecto térmico, en principio por la ausencia de aislación térmica.

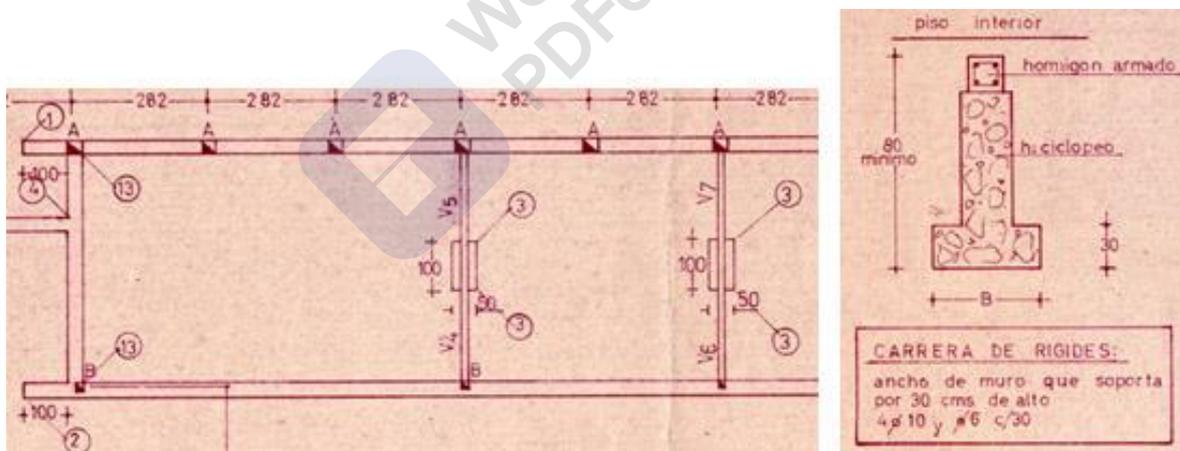
Los cuatro edificios estudiados pertenecen al tipo Escuela + Vivienda para docentes, variando en sus dimensiones y cantidad de aulas de acuerdo a la demanda de estudiantes del lugar al momento de su construcción.

Una variante mencionada por el Ing. Sasson en los diseños originales, es la existencia en dos de ellos, de canalón para captura de aguas de lluvia desde la cubierta (Figura 4). Un tercer edificio dirige el agua mediante ductos verticales a un canal a nivel de suelo para su evacuación, mientras que el cuarto tiene caída libre.

Esta diferencia de tratamiento de las aguas de lluvia se debía a la existencia o no de perforación hacia napas freáticas para abastecimiento. Si no existía la misma, el agua capturada por la cubierta, era dirigida hacia un aljibe de 20 m³ de capacidad.



La estructura de cimentación de los edificios, según las recomendaciones de la Memoria descriptiva y constructiva¹⁵, depende del tipo de terreno donde se implanta. Para terrenos arenosos se propone zapata corrida de hormigón ciclópeo, cuyas dimensiones varían según el tipo de terreno, y una viga de hormigón armado del ancho del muro a construirse encima (Figura 5).



Para terrenos calcáreos o con rellenos, se proponen pilotines de hormigón, anclándose a sus cabezas las vigas de fundación.

Para terrenos firmes, se usan pilares de hormigón ciclópeo de 1 m de lado donde se apoyan las vigas de fundación.

Los muros envolventes son de doble hoja con cámara de aire no ventilada, de ladrillos asentados con mortero de arena y portland 3 x 1 + 1/10 de cal (Figura 6). La recomendación original para los pisos interiores y de la galería, era de hormigón alisado sobre contrapiso de 0,10m, los que en todos los casos

estudiados se cubrieron con baldosas calcáreas y en algunos casos de intervenciones posteriores con baldosas cerámicas. Una vereda exterior de hormigón de 1,0m de ancho, rodea el edificio.

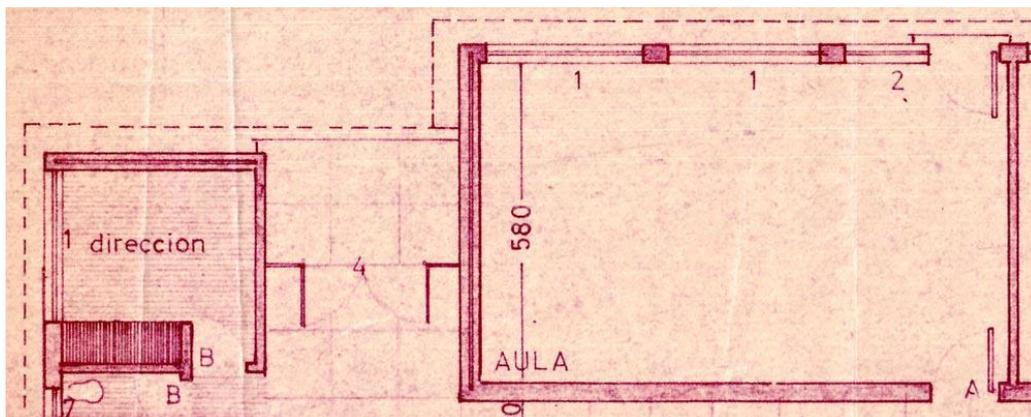


Figura 6 - Cerramientos verticales, planta parcial (extraído de Plano 1, CEPN, 1966).

Las cubiertas son bóvedas de directriz catenaria, de ladrillo de campo armado, con capa de compresión sobre la capa estructural. Se apoyan en vigas de borde e intermedias de hormigón armado. El proceso constructivo se describe en la Memoria constructiva en sección Anexos.

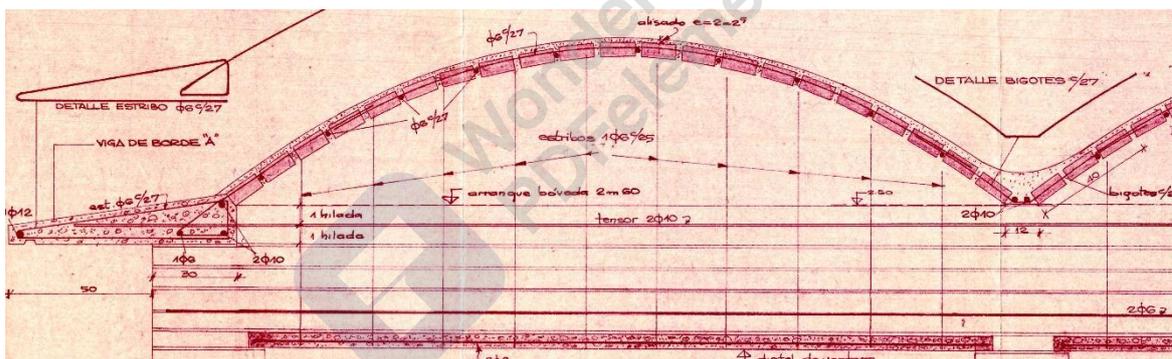


Figura 7 - Corte parcial de cubierta original (extraído de Plano 9, CEPN, s/fecha).

En todos los casos estudiados, y en la gran mayoría de los edificios observados, se verifica una segunda capa de mampuestos, no prevista en el diseño original (Figura 7), el cual es respetado en la Escuela rural 53 de Paso de León (Figura 2).

Respecto a la existencia de aislante térmico en cubiertas, Dieste menciona, en la escueta descripción de la fabricación de la cubierta de su casa familiar en Punta Gorda, Montevideo, la utilización de una capa de aislamiento térmico sobre las capas estructurales de las bóvedas, antes de cubrirla finalmente con tejas de protección¹⁶. Es la única obra en la bibliografía consultada, donde se cita el uso de materiales de aislación térmica, aunque sin especificar de que se trata.

En las escuelas no es posible verificar ocularmente la existencia de una capa de aislamiento térmico en cubiertas, tampoco mediante mediciones de temperatura superficial o uso de cámara termográfica, habiendo corroborado su inexistencia según lo manifestado por el Ing. Sasson en la entrevista⁷.

Respecto a la aislación húmedica, en un área dañada de la cubierta de rejillones de la escuela ubicada en Sauce Chico, se aprecia una sustancia color negro sobre el mortero de la capa de compresión, lo que indica que, al menos en ese caso se utilizó asfalto antes de colocar la segunda capa de mampuestos.

En todos los edificios estudiados se han cubierto -en época reciente- las bóvedas con una membrana asfáltica con lámina de aluminio, presumiblemente por fallas en la capa de compresión que permitían la entrada de agua al interior.

3.2. Descripción de edificios relevados

Para este estudio se eligen cuatro edificios situados en la zona climática IIb definida en la norma UNIT 1026/99¹⁷, en un área situada entre las latitudes -31°08' y -31°33' y las longitudes -57°31' y -57°49' dentro del departamento de Salto.

Ellos son:

Escuela rural n° 30 ubicada inmediatamente al Sureste de pueblo Laureles.

Escuela rural n° 36 ubicada en el paraje Sauce Chico con población dispersa.

Escuela rural n° 45 ubicada en el borde Este del pueblo Garibaldi.

Escuela rural n° 68 ubicada en paraje Zanja Honda de Itapebí con población muy dispersa.

La elección de estos edificios se basó en criterios de conveniencia por estudios previos, por cercanía y por variación de implantaciones. Estudios curriculares previos en la Escuela 45, mostraron la influencia de la orientación en el confort térmico de los locales. Los edificios se eligieron por tipo, teniendo en cuenta escuelas de una o varias aulas con diferencias en sus implantaciones y orientación de locales. La cercanía a la ciudad de Salto fue un elemento favorecedor para los estudios de campo.

3.2.1. Escuela rural nº 30 – Pueblo Laureles



Figura 8 - Escuela 30 Laureles. Fachada Norte.

Se ubica a poca distancia del pueblo Laureles, en dirección Sureste sobre el camino denominado Ruta Jones, en un área de pradera abierta con una discreta protección ante los vientos fuertes del Sur, conformada por una pequeña loma natural sobre la que se asienta y algo de vegetación. La producción característica de la zona es la ganadería extensiva.

Es un edificio perteneciente al tipo Escuela + Vivienda, con su eje principal en dirección Este-Oeste, situándose la vivienda en el extremo Este. Completa el conjunto una pequeña batería de baños exteriores para el alumnado y dos locales sobre el Sureste, actualmente sin uso, de construcción posterior al edificio original.

Los muros exteriores son de ladrillo de campo, de doble hoja aparejadas a soga, con cámara de aire, coincidentes con lo expresado en el plano 1 del CEPN (Figura 6). Los muros interiores son también de ladrillo de campo, aunque de una hoja, revistiéndose con revoque las caras interiores de la vivienda. Los pisos están revestidos de baldosas calcáreas.

Para la realización de la cubierta se utilizaron rejillones en su capa estructural, sin revocar en su cara inferior, dejando las perforaciones expuestas. La materialidad de la segunda capa de mampuestos no puede determinarse fehacientemente, dado que las bóvedas cuentan en su remate exterior con un borde de mortero que no permite apreciar su composición desde el exterior. Se infiere -por similitud con la cercana

Escuela 36- que está compuesta por los mismos mampuestos que la inferior.

Este conjunto original, tuvo ampliaciones en el cuerpo principal con el agregado de dos aulas sobre el extremo Oeste (aulas 2 y 3) y un pasillo con nueva batería de baños, duchas y lavamanos hacia el Sur. El pasillo se inicia en una abertura practicada en el muro Sur del comedor.



Figura 9 - Planta esquemática actual Escuela rural 30 Laureles (en verde el edificio original).

El sistema constructivo de las aulas nuevas, mantiene los aspectos formales y materiales exteriores del edificio, excepto en la cubierta, donde se utilizó techo liviano de chapas metálicas acanaladas curvas, reproduciendo el perfil del abovedado cerámico del sector original. En ambas aulas, la cubierta metálica se complementa con un cielorraso horizontal de placas rígidas de lana de vidrio con acabado mineral en cara inferior, con pequeñas rejillas sobre muros Norte y Sur que proporcionan cierta ventilación a la cámara de aire. La división liviana entre las aulas 2 y 3 se realizó con estructura y paneles de madera.

3.2.2. Escuela rural nº 36 – Paraje Sauce Chico



Figura 10 - Escuela 36 Sauce chico. Fachada Norte.

Se ubica en un área de pradera abierta y plana, apenas protegida de los vientos del Sur por viejos árboles, en un paraje con casas muy dispersas, sobre un camino vecinal. La zona se caracteriza por la producción ganadera extensiva y agricultura de grandes superficies.

El eje principal se orienta Este-Oeste, presentando su fachada frontal hacia el Norte. Se trata de un edificio Escuela + Vivienda, con aula y comedor integrados. La vivienda se sitúa sobre el extremo Este del edificio, mientras que el extremo Noroeste lo ocupa un depósito vinculado al aula por un muro calado en el tímpano de la bóveda. Una batería de baños exterior completa el conjunto.

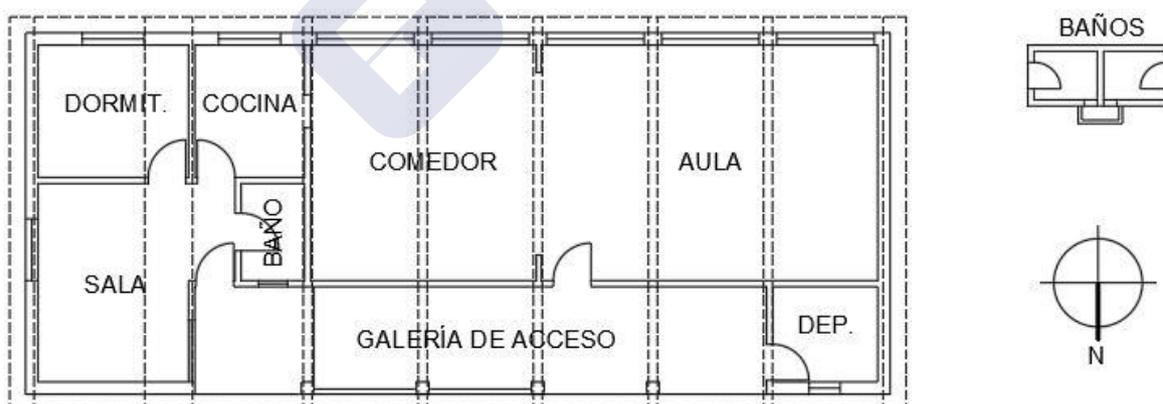


Figura 11 - Planta esquemática Escuela rural 36 Sauce Chico.

Este edificio presenta la particularidad de estar construido íntegramente con rejillones. En muros exteriores, los mampuestos tienen dimensiones de 0.25m de largo, 0.11m de ancho y 0.115m de espesor, con un aparejado a tizón, con revoque exterior, conformando una envolvente de 0.28m de espesor. En muros interiores se disponen a soga y se revocan en el interior de la vivienda.

En cubierta los rejillones son de 0.25m de largo, 0.11m de ancho y 0.06m de espesor, dispuestos en dos capas, la estructural y una superior, presumiblemente para aumentar la resistencia térmica. En los tímpanos se altera la disposición, colocándose los rejillones a soga, disminuyendo el espesor del cerramiento exterior en esas áreas. Exceptuando en el pequeño tramo de losa plana sobre la vivienda, en ningún sitio la cubierta presenta revoque interior, dejando expuestas las perforaciones. La cubierta tiene caída libre de aguas de lluvia hacia el Sur.

3.2.3. *Escuela rural nº 45 – Pueblo Garibaldi*

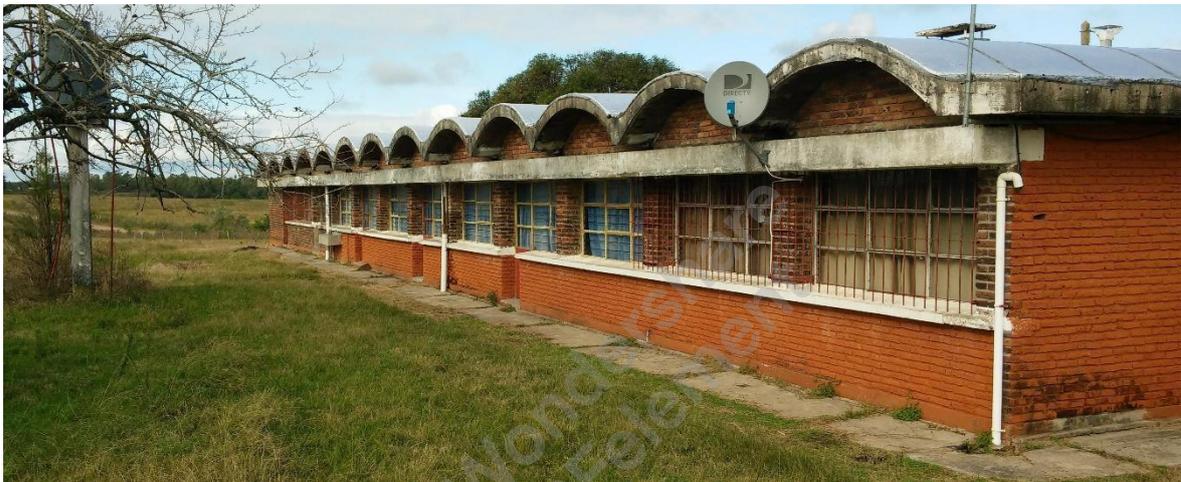


Figura 12 - Escuela 45 Garibaldi. Fachada Norte.

Se ubica en un predio plano contiguo al límite Este del pueblo, sobre el camino vecinal a San Antonio. La Colonia Garibaldi es un área con fraccionamientos rurales pequeños, que forman parte del cinturón de chacras de la ciudad de Salto.

Es un edificio del tipo Escuela + Vivienda, para una población escolar mayor que las otras escuelas consideradas en este estudio. Con su eje principal en dirección Este-Oeste, cuenta con la vivienda hacia el Oeste, un cuerpo de aulas sobre la fachada Norte, sanitarios al Este y sobre la fachada Sur un aula, la cocina y pasillo de acceso, que cumple la función de comedor al mediodía. La administración y dirección de la escuela se encuentran en el lado Oeste del edificio, junto a la vivienda.

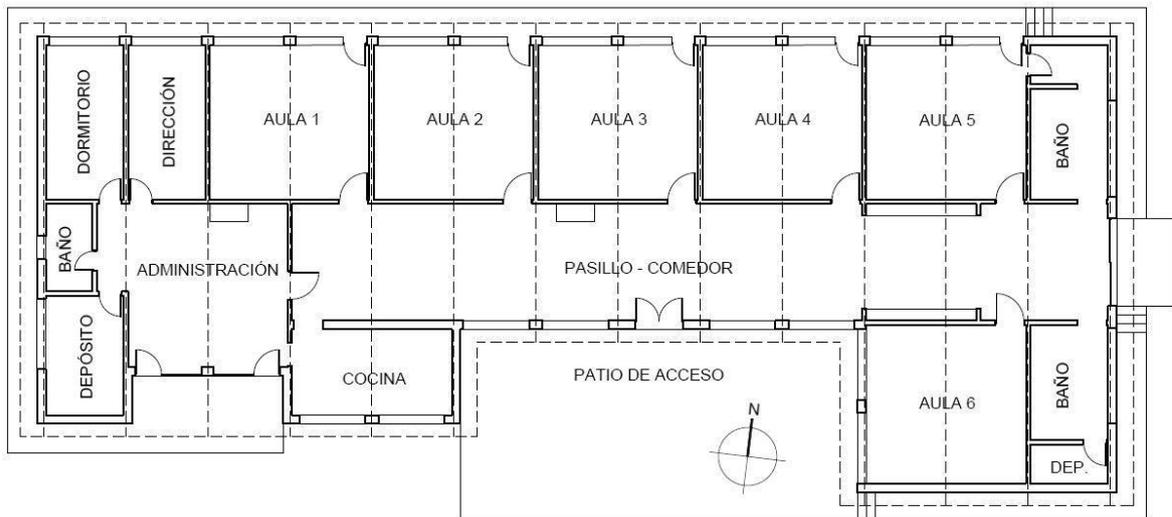


Figura 13 - Planta esquemática Escuela rural 45 Garibaldi.

Los muros son de doble hoja de ladrillo de campo aparejados a soga, con junta rehundida, con cámara de aire no ventilada entre ambas hojas y sin revoques, quedando visto al exterior y pintados interiormente. El revestimiento de los pisos se hizo con baldosas calcáreas, que aún se conservan en la vivienda. En el resto del edificio se ha renovado el revestimiento, colocándose baldosas cerámicas. La cubierta se compone de ladrillos de campo, pintados en su cara inferior. En la parte exterior se revistió posteriormente con membrana asfáltica con film de aluminio. Sobre todos los bordes de la cubierta, pueden apreciarse perforaciones que se presume tengan la función de desagüe de condensaciones intersticiales entre ambas capas de mampuestos.

3.2.4. Escuela rural nº 68 – Paraje Zanja Honda de Itapebí



Figura 14 - Escuela 68 Zanja honda de Itapebí. Fachada Oeste.

Se ubica en una zona de cultivos y pradera ganadera, sin población agrupada cercana, sobre un camino vecinal. Su eje principal acompaña la dirección Sur Suroeste-Nor Noreste.

Es un edificio del tipo Escuela + Vivienda con planta original idéntica a la escuela 36. Cuenta con un aula integrada al comedor y un depósito en el extremo Suroeste del edificio, el que fue ampliado a costa de la galería. La batería de baños exterior se ubica al Sureste, convenientemente separada de las aberturas del aula por un muro exento.

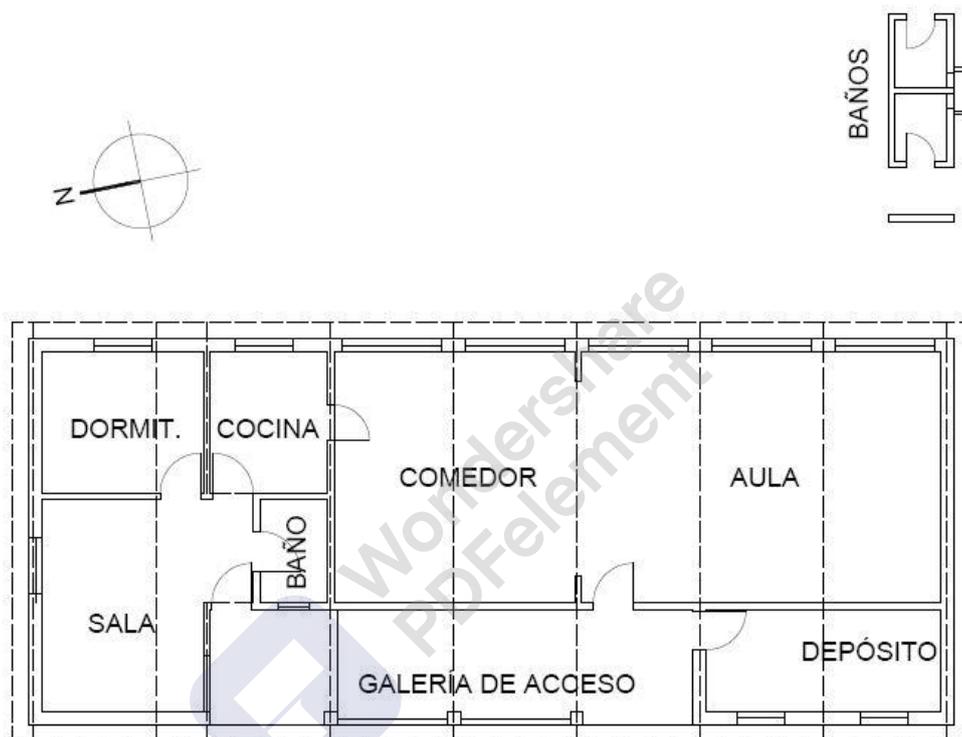


Figura 15 - Planta esquemática Escuela rural 68 Zanja Honda de Itapebí.

Los muros de la envolvente son de ladrillo de campo, aparejados a soga, en dos capas con cámara de aire no ventilada, con junta rehundida en la cara exterior mientras que la interior está revocada en todo el edificio.

Los muros interiores también están revocados.

Los pisos, tanto interiores como en la galería de acceso, se revisten con baldosas calcáreas, exceptuándose la cocina donde en una intervención posterior se colocaron baldosas cerámicas.

La cubierta tiene dos capas de rejillones, con similar disposición a la de las escuelas 30 y 36. Su cara interior sin embargo está revocada en el interior, no así en la galería de acceso. Por encima se ha aplicado una membrana asfáltica con lámina de aluminio.



En este caso la cubierta tuvo originalmente la función de captura de aguas de lluvia, evidenciado por la existencia del canalón -realizado con ladrillos armados- sobre la fachada Este Sureste. Actualmente se encuentra sin esa función, habiéndose retirado algunos mampuestos y practicado perforaciones para que el agua caiga libremente en esos puntos.



4. Evaluación de las condiciones de confort y desempeño energético

4.1. Determinación de parámetros de confort y encuestas a estudiantes

Se cree que los niños del medio rural tienen una percepción diferente del confort respecto a los de la ciudad, debido a la experiencia de vida en el campo, donde habitualmente están expuestos a los rigores del clima y habitan frecuentemente en viviendas con escaso acondicionamiento.

Las referencias sobre confort disponibles para Uruguay, están referidas principalmente a habitantes adultos de ciudades por lo que se propone modificar la franja de temperaturas de confort de los estándares actuales¹⁸ para su aplicación en este trabajo.

Para establecer los valores de confort térmico interior en los edificios estudiados en este trabajo, se recurre a la versión adaptada de la carta bioclimática de Givoni presentada en Milicua y Picción, 2005¹⁹. Se utiliza Excel para evaluar los datos climáticos de temperatura y humedad relativa, de acuerdo a los límites presentados en el Gráfico 1.

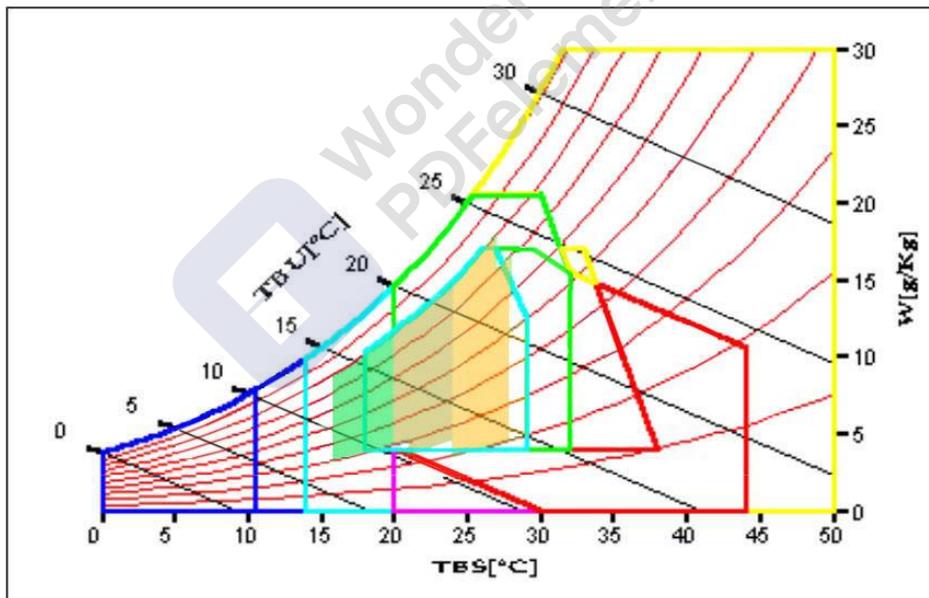


Gráfico 1 - Carta bioclimática de Givoni con área de confort (p. frío verde; p. caluroso naranja).

Éstos se determinan mediante múltiples condiciones anidadas y dependen de la ocupación del edificio. La misma se considera desde el mes de marzo hasta el de noviembre inclusive, meses del año lectivo, y se excluyen los fines de semana, feriados y períodos de vacaciones intermedios. El método tiene limitaciones para abarcar toda el área de confort de la carta, por lo que se ha optado por dejar fuera pequeñas áreas donde los datos son muy escasos.

El cuestionario para las encuestas se adaptó del modelo aplicado en Chile como parte de la metodología para el diseño de edificios escolares¹². Registra sensación, preferencia y aceptabilidad térmicas, vestimenta y actividad. Las preguntas sobre sensación y preferencia térmicas se basan en una escala de siete puntos no numérica, sino conceptual asociando colores e imágenes para facilitar su comprensión. Se consulta sobre el uso de ropa habitual en dos preguntas y la última se refiere a la actividad que está o estuvo realizando el estudiante al momento de cada toma de datos. La toma de datos se hizo para todos los estudiantes al inicio de la clase y posteriormente al recreo. Previamente se colocaron registradores de temperatura y humedad relativa en las aulas y en el exterior, que abarcaron el período de la encuesta. Para comparar los registros obtenidos durante la semana 26 de 2019, se los colocó en la carta de Givoni a efectos de su análisis (Gráfico 2).

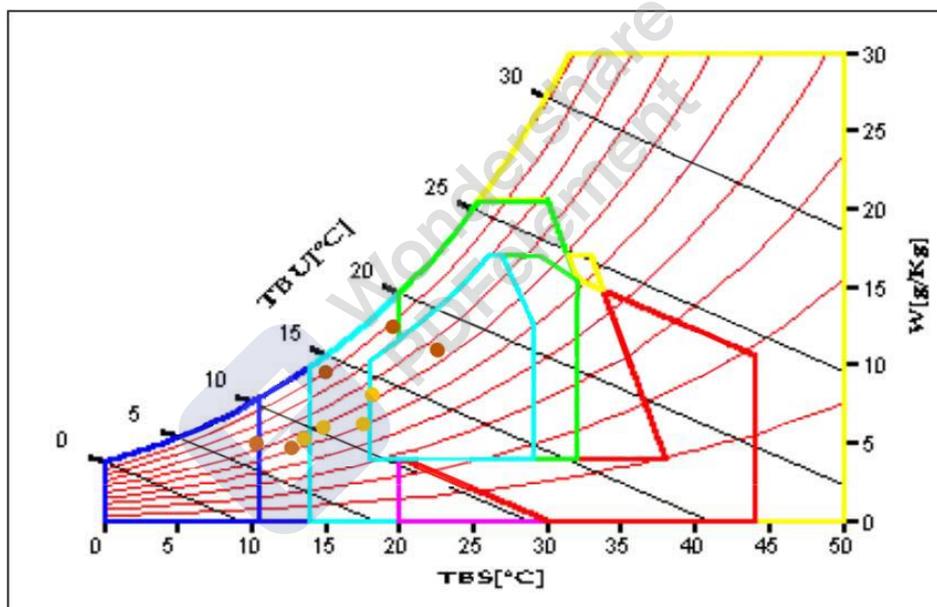


Gráfico 2 - Carta psicrométrica con condiciones de temperatura y humedad relativa en momentos de realización de encuesta en Escuela rural 30 (marrón: Aula 1, naranja: Aula 2).

La realización de las encuestas estuvo limitada en el tiempo por tareas curriculares, realizándose en las escuelas 30 y 36. En la escuela 30 de Laureles, se aprovechó un desperfecto en los equipos de climatización existentes, realizando la encuesta en condiciones de acondicionamiento natural. Distinta situación fue la de la escuela 36 de Sauce chico, donde se utilizó un equipo dividido de climatización en todo momento, por lo que no fueron considerados estos resultados.

En los gráficos siguientes (Gráfico 3) se muestra la percepción de confort de los niños en color (marrón: Aula 1, naranja: Aula 2) y el deseo de un estado

diferente en gris para cada combinación de valores de temperatura del aire interior y humedad relativa. El valor 4 del eje de abscisas representa la percepción de confort, representando los valores menores la percepción de frío y los mayores la de calor.

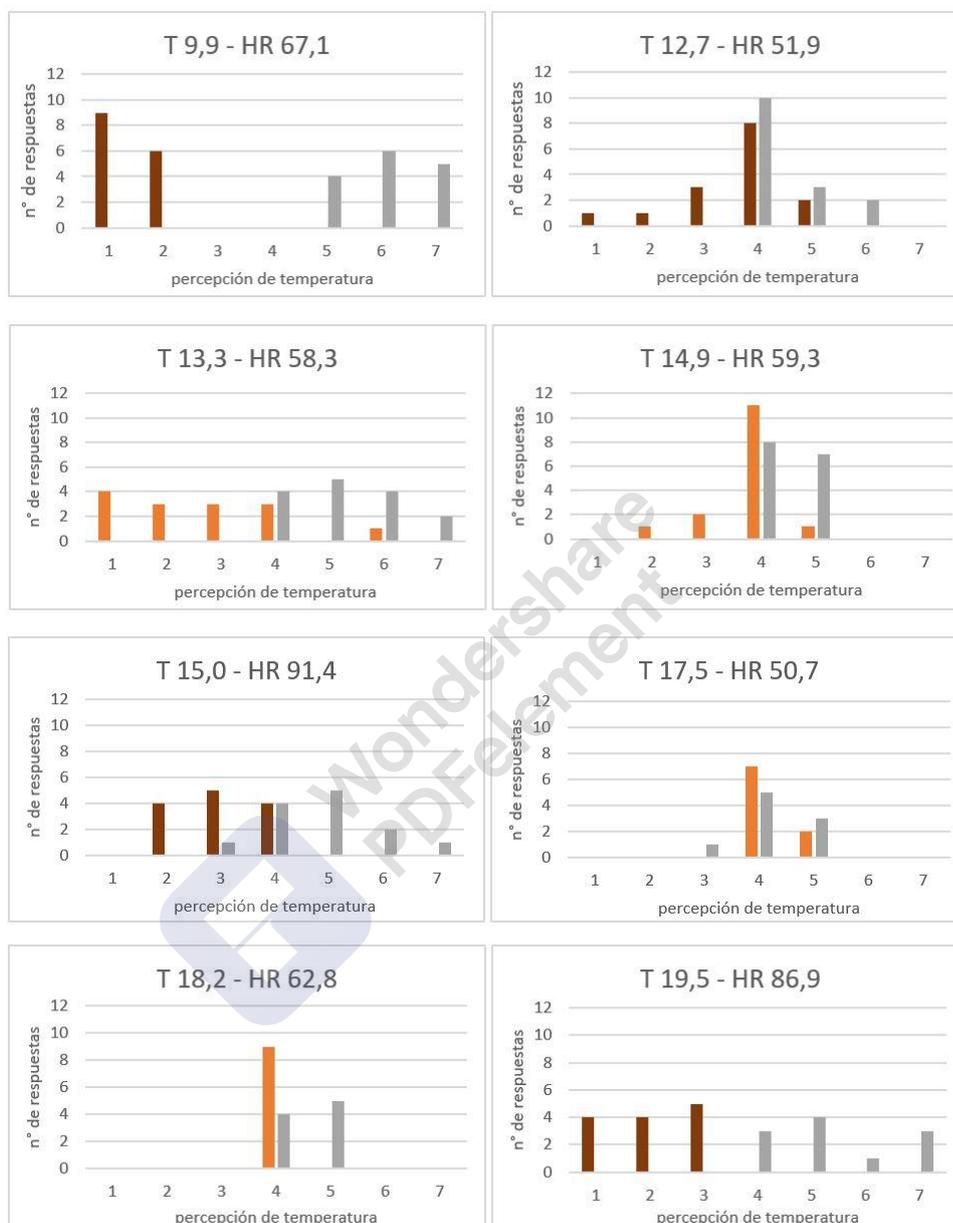


Gráfico 3 - Resultados de encuesta de percepción de confort en Escuela rural 30.

Si bien se trata de un período muy corto para obtener resultados válidos, el hecho de que una parte importante de los valores se encuentren fuera de la zona de confort de la carta de Givoni (Gráfico 2) y que, algunos de ellos muestran claramente la percepción de confort en temperaturas bajas (Gráfico 3), permite sugerir una mayor adaptación del niño a temperaturas en un rango más amplio que el considerado como estándar.

Por ello se establece para este trabajo, a los efectos de su aplicación a los locales de aulas, el descenso del límite inferior de la franja de confort estándar para adultos, en 2°C. Resulta así una franja de temperaturas entre 16°C y 24°C. Para el período caluroso los valores límite son 20°C y 28°C.

Dado que se trabaja con edificios que tienen una doble función -aulas y vivienda- en las primeras se aplica el nuevo criterio, mientras que para la vivienda se utiliza el estándar: 18°C a 24°C para el período frío y 22°C a 28°C para el caluroso.

4.2. Mediciones y análisis de registros climáticos

Mediante registradores (data logger) Extech RTH10 se toman registros de temperatura del aire y humedad relativa de ambientes interiores representativos de las principales funciones de cada edificio, y de las condiciones exteriores. La cronología de estos registros se muestra en el Gráfico 4.

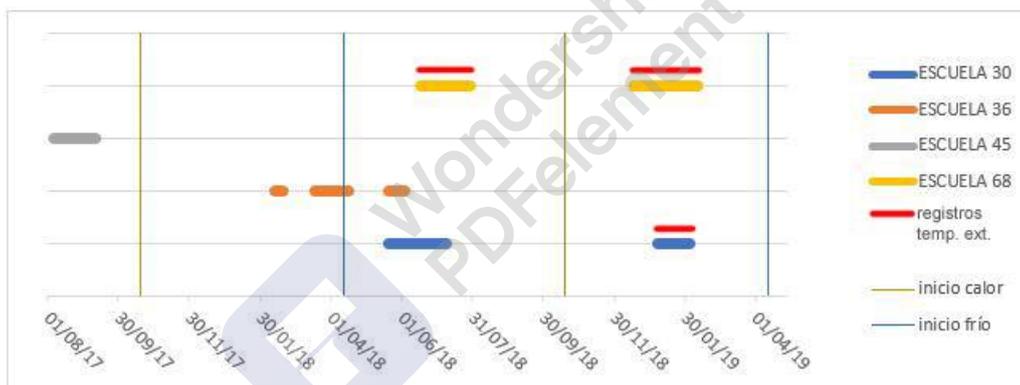


Gráfico 4 - Cronología de registros climáticos para períodos fríos y calurosos.

Estos registros dependieron de la posibilidad de realizarlos, condicionada a la disponibilidad de los directores/maestros de cada escuela, siendo ésta generalmente muy buena. En el caso de las condiciones exteriores, en varios casos no pudo instalarse un registrador exterior por recomendaciones respecto a la seguridad del mismo.

Se busca una ubicación de los registradores en una franja de alturas cercana a los 2,0 m siempre que ello sea posible, y repetir la ubicación en los diferentes períodos. En varios casos, dependiendo de la disponibilidad de aparatos, los supernumerarios se colocan en sitios que permitan hacer una medida comparativa con los demás.

4.2.1. Datos climáticos

Se aprovecha la disponibilidad de datos climáticos²⁰ que ofrece el Laboratorio de Energía Solar, sito en Salto Grande. Se dispone del Mapa solar de Uruguay y del Año meteorológico típico para cinco localidades del país, entre ellas Salto. Se solicitan a esta institución, datos meteorológicos para los períodos de registros realizados en cada escuela, lo que permite complementar las carencias de registros exteriores citadas en el punto 4.2 así como disponer de datos no registrados como radiación solar, velocidad y dirección de viento, altura solar y otros²¹.

La datación de periodos frío y caluroso se toma de los estudios históricos de clima en Uruguay según localidad, usados en la cátedra de Acondicionamiento Térmico de la FADU²².

Los datos de clima proporcionados por el Laboratorio de Energía Solar tienen una frecuencia de 30 minutos, tomados desde las 0.00 hs. En el caso de los datos obtenidos en campo con los registradores, éstos tienen la misma frecuencia pero no el mismo inicio que los del LES. Los registradores utilizados en cada una de las escuelas y en cada uno de los períodos, se inician simultáneamente. Posteriormente se ajustan los datos del LES a la hora de inicio de cada grupo de registradores mediante interpolación lineal.

Para el estudio de la temperatura exterior, debido a la escasez de registros directos, se decide utilizar los datos proporcionados por el LES a efectos de uniformizar el criterio para todas las escuelas.

Del estudio de cada período registrado se busca una serie de días con estabilidad climática en primera instancia pudiendo observar el comportamiento de cada local en dichas condiciones. A los datos de campo se los relaciona con los datos de irradiancia global en plano horizontal (GHI).

4.2.2. Ocupación

Todos los registros están afectados por la ocupación y por el uso de equipos de climatización, los que son generalmente escasos y de capacidad insuficiente para su finalidad. La población de cada escuela para los períodos registrados se muestra en Tabla 2.

Escuela	Período	Personal	Estudiantes
Escuela 30	23/05/18 al 14/07/18	4	18
	01/12/18 al 10/12/18	4	18
	11/12/18 al 09/02/19	0	0
Escuela 36	12/02/18 al 25/02/18	0	0
	23/03/18 al 20/04/18	2	5
	23/05/18 al 09/06/18	2	5
Escuela 45	10/08/17 al 16/09/17	9	78
Escuela 68	20/06/18 al 31/07/18	2	5
	18/12/18 al 16/02/19	1	0

Tabla 2 - Ocupación de escuelas según período.

4.2.3. Registros termográficos

En dos oportunidades se dispuso de una cámara termográfica Flir E6. Se incorporan al estudio las imágenes obtenidas con la misma.

En la escuela 68 fueron tomadas el 31 de julio de 2018 en el entorno de la hora 11:00. Las condiciones climáticas en ese momento eran las de un día frío, soleado y ventoso, con rachas fuertes. Las imágenes de la escuela 30 se tomaron el día 1° de diciembre de 2018, siendo las condiciones climáticas de un día de temperatura templada, algo nuboso a nuboso y con vientos suaves. En la tabla 3 se muestran los datos climáticos proporcionados por el LES para ambas oportunidades.

Registro	Día	Hora	AS (°)	TA (°C)	HR (%)	VV (m/s)	DV (°)	GHI (W/m ²)
Escuela 68	31/7/2018	11.00	34,4	11,2	78,0	3,9	135	585
Escuela 30	1/12/2018	09.30	49,7	21,6	72,7	2,1	187	333

Tabla 3 - Condiciones climáticas de registros termográficos.

Un análisis rápido de las cubiertas de los edificios estudiados, muestra diferencias en el asoleamiento de las mismas, principalmente en el período frío, con alturas solares bajas. En escuelas con el eje de las bóvedas Norte/Sur (casos escuelas 30, 36 y 45) la radiación solar incide con diferentes intensidades -según la altura solar- en todo el extradós de cada bóveda, repartiéndose a lo largo del día sobre un lado, todo el extradós al mediodía o el otro lado a la tarde, según esquemas de asoleamiento de Figura 16.

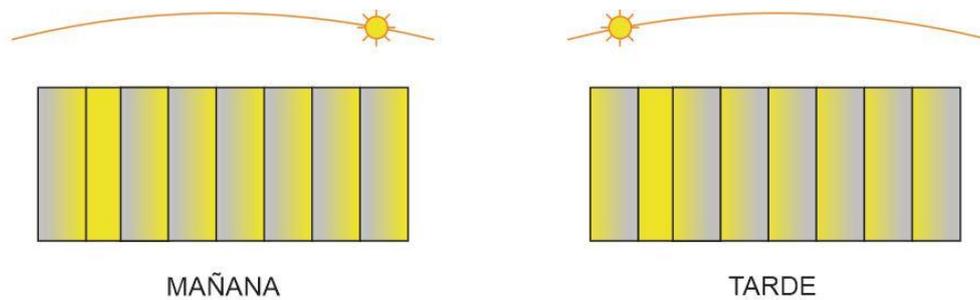


Figura 16 - Esquemas de asoleamiento cubierta con bóvedas orientadas Norte/Sur.

Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	T _{promedio}
21,3	21,2	20,6	20,5	20,6	20,84
Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	T _{promedio}
18,9	18,8	18,8	19	19	18,9

Tabla 4 - Temperaturas bóveda Escuela 30 referidas a puntos de figura 17

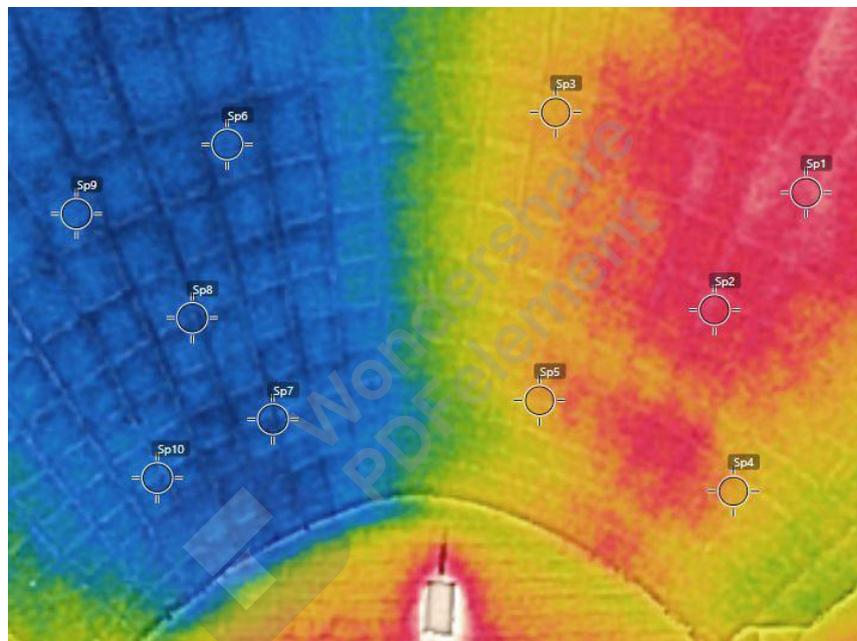


Figura 17 - Termografía de bóveda Escuela 30.

En los edificios que tienen el eje de las bóvedas Este/Oeste (caso escuela 68), se da una situación diferente: la radiación solar incide principalmente sobre un lado del extradós –el lado Norte- permaneciendo el lado Sur con poca radiación durante todo el día (Figura 18).

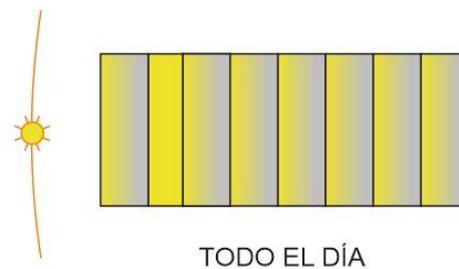


Figura 18 - Esquema de asoleamiento cubierta con bóvedas orientadas Este/Oeste.

Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	T _{promedio}
9,00	9,50	9,80	9,10	9,60	9,40
Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	T _{promedio}
7,1	7,5	7,1	7,2	7,6	7,3

Tabla 5 - Temperaturas bóveda Escuela 68 referidas a puntos de figura 19

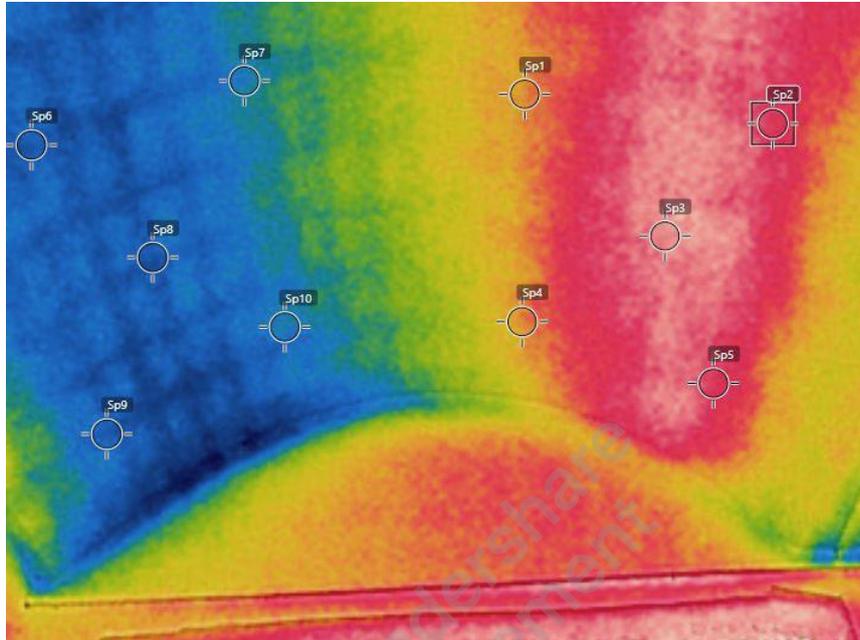


Figura 19 - Termografía de bóveda escuela 68.

Las imágenes termográficas también muestran el efecto de las infiltraciones por puertas exteriores, con temperaturas diferentes a las del resto del cerramiento, en los bordes de las mismas.

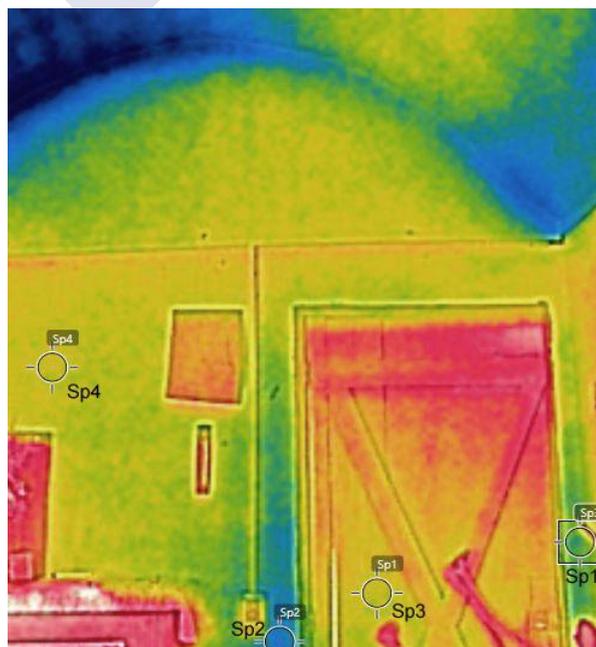


Figura 20 - Termografía cerramientos Escuela rural 68.



Figura 21 - Termografía cerramientos Escuela rural 30.

Escuela	Día	Hora	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4
68	31/7/2018	11.00	9,6	8,6	9,0	9,7
30	1/12/2018	09.30	21,8	20,4	20,3	21,0

Tabla 6 - Temperaturas de cerramientos escuelas 68 y 30 referidas a Figuras 20 y 21.

Los momentos registrados muestran el mismo fenómeno con diferentes efectos. Para la Escuela 68, en período frío, las muestras de temperatura sobre los bordes de la abertura evidencian que el aire exterior provoca un enfriamiento del cerramiento, desfavorable en ese momento. Sin embargo en la Escuela 30, en situación de verano, resulta favorable dadas las condiciones de ese momento de la mañana.

4.2.4. Análisis de registros climáticos Escuela rural 30 – Laureles

Para este edificio se utilizan dos conjuntos de datos, tomados uno en período frío (23/05/2018 al 14/07/2018) y otro en período caluroso (01/12/2018 al 09/02/2019).

La ubicación de los registradores se muestra en la Figura 22.

Se efectúa una comparación entre los datos del registrador S22 (exterior) y los suministrados por el LES para el mismo período, mostrando las condiciones climáticas más extremas de la escuela respecto al Laboratorio, principalmente en las temperaturas máximas.

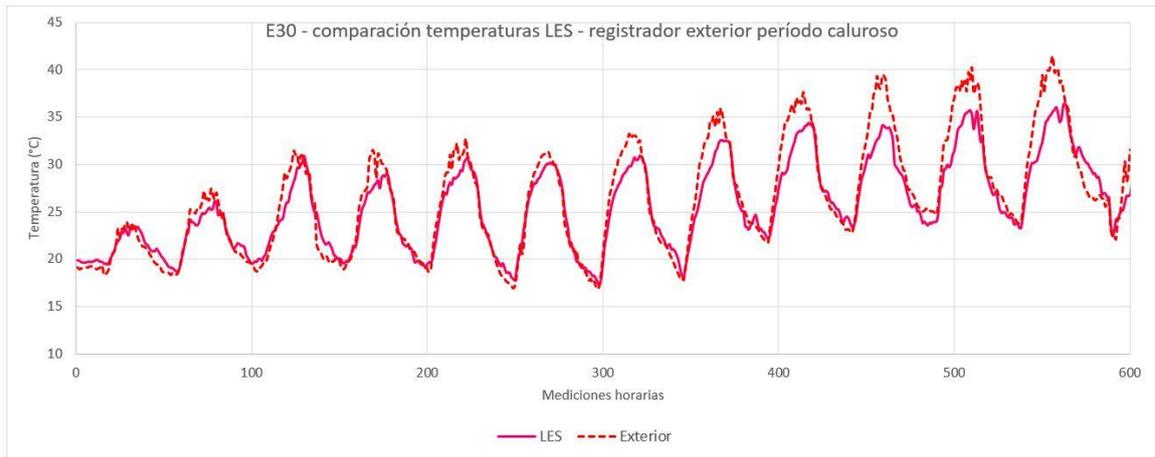


Gráfico 5 - Comparación temperatura exterior Escuela 30 - LES en período caluroso.

El Gráfico 5 muestra una menor amplitud térmica en las temperaturas del LES. Varios factores inciden en estas diferencias: la escuela se encuentra a 45 km del LES, la ubicación del sensor S22 expuesto sobre la fachada Sur del edificio, pasaje de frentes fríos desfasados en el tiempo entre un lugar y otro, o bien por el pasaje de nubosidad en diferentes momentos de cada locación. Según lo expresado en el punto 4.2.1 pág. 36, se utilizarán en adelante, para temperatura exterior los datos del LES.

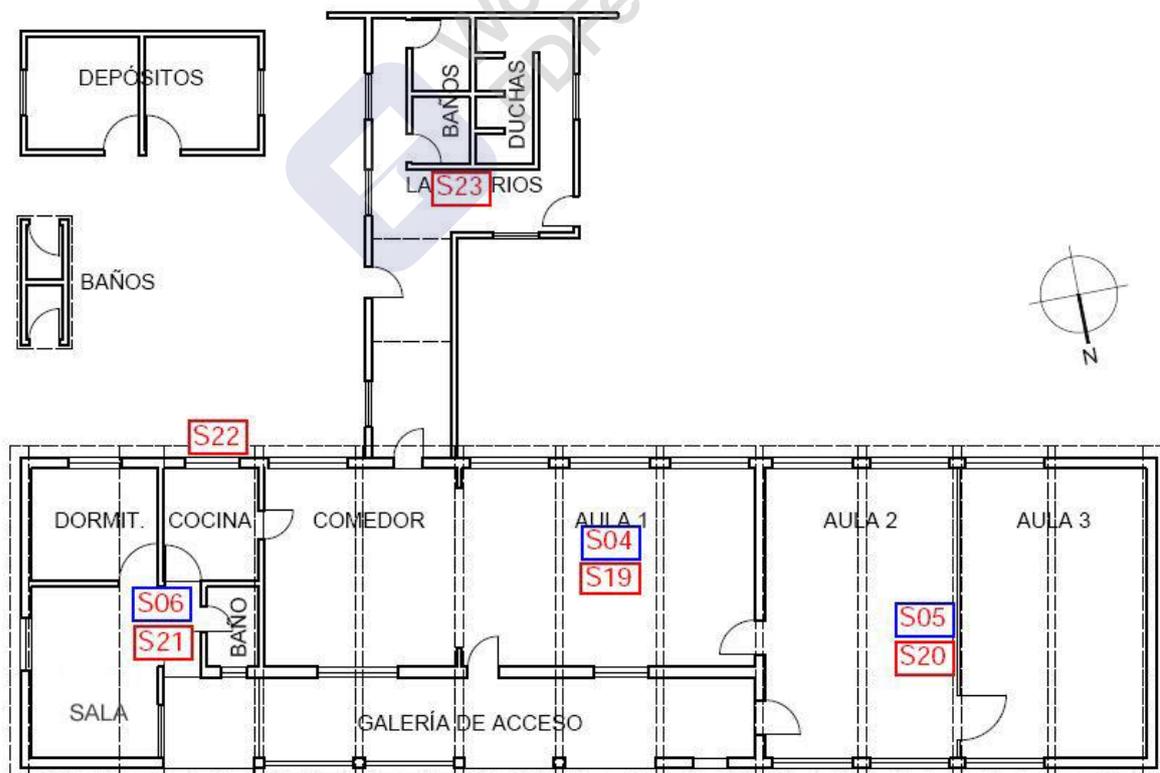


Figura 22 - Ubicación registradores Escuela rural 30 – Azul: invierno, Rojo: verano.

Mediante el traslado de los datos a gráficos, es posible tener una primera aproximación a las condiciones de los locales en estudio, relacionadas a la franja de temperaturas de confort adaptativo para niños.

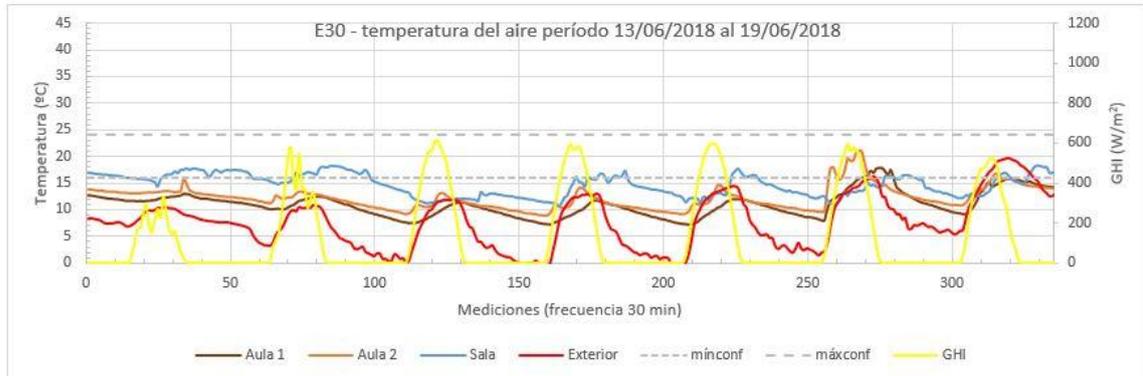


Gráfico 6 - Escuela 30 – Datos climáticos en semana de período frío.

Una primera lectura permite observar que, ante temperaturas exteriores muy bajas, el edificio no logra ofrecer condiciones cercanas al mínimo de confort a pesar de contar con buenos valores de irradiación solar. El espacio conformado por el comedor y aula 1 (en adelante Aula 1) del edificio original es el que tiene peor registro, que mejora en el Aula 2, con cubierta liviana y aislación en el cielorraso. Los mejores valores se dan en la Sala de la vivienda.

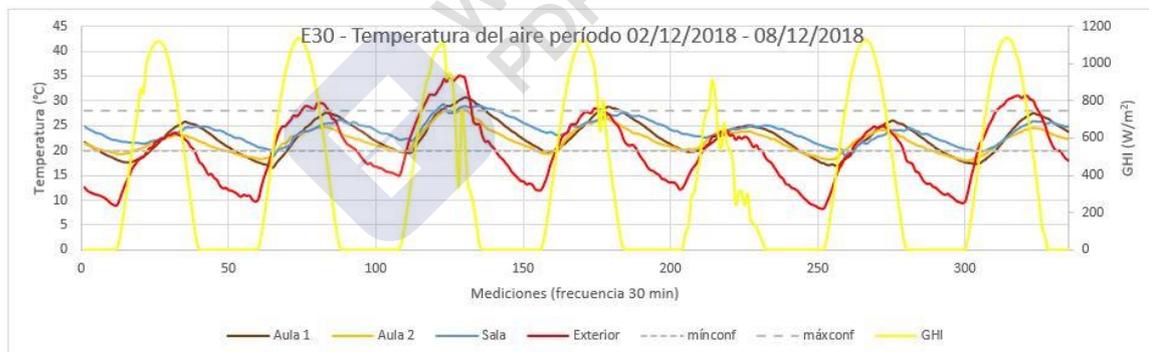


Gráfico 7 - Escuela 30 – Datos climáticos en semana de período caluroso.

Ante temperaturas muy altas, la Sala de la vivienda tiene la menor amplitud térmica diaria pero con temperaturas altas, tratándose de un ambiente poco amplio y con discreta ventilación. El Aula 1 es el local con peor comportamiento, teniendo apreciables diferencias en la amplitud superior respecto a la curva del Aula 2. A pesar ser el ambiente con mayor volumen de aire y contar con una protección al frente como la galería de acceso, tiene un gran área de cubierta, siendo éste en principio el cerramiento opaco considerado más débil del local ante las transferencias de calor.

El Aula 2 es el ambiente con mejor desempeño térmico, presentando una curva muy amortiguada respecto a la temperatura exterior, explicado principalmente por la existencia de aislación térmica en el cielorraso. El comportamiento del edificio ante un cambio brusco de temperatura, se representa en el Gráfico 8. Se trata del ingreso de un frente frío en el período caluroso, con una disminución de 14°C en el lapso de una hora en un día sin ocupación. No se cuenta para ese día con datos de irradiancia solar.

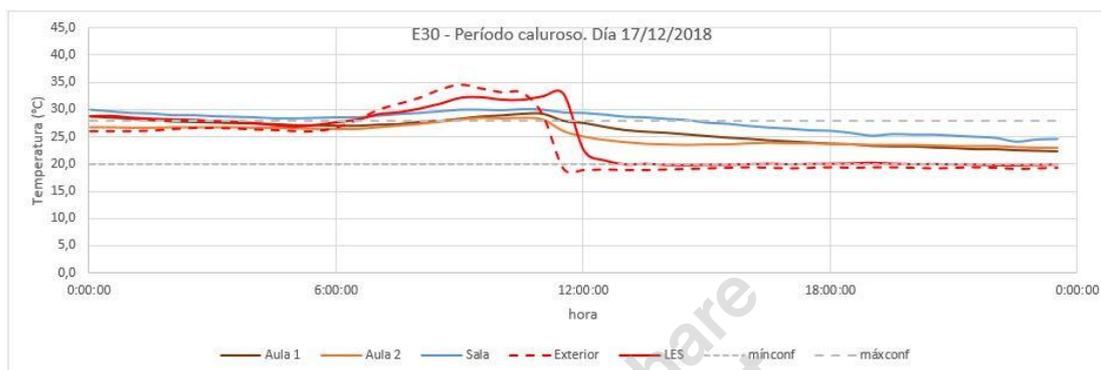


Gráfico 8 – Escuela 30 - Comportamiento del edificio ante ingreso de frente frío.

Se aprecia una disminución progresiva y sostenida de la temperatura en el Aula 1, propia de un gran espacio con inercia térmica pero carente de aislación. El Aula 2 en cambio, tiene una pérdida brusca de calor, debido a su cubierta -a pesar de tener aislación térmica- y a la división liviana con el Aula 3, comportándose ambas térmicamente como un solo local amplio.

El mejor comportamiento se ve en la vivienda, que -tomándola por separado- tiene un área de huecos promedio que apenas supera el 10% y una inercia mayor al tener varias divisiones pesadas en poco espacio, lo que resulta en una amortiguación mayor.

Para el estudio de factor de forma y factor de huecos, el edificio se analiza dividiéndolo en tres partes (Tabla 7).

	Vivienda				Aula1				Aula2+Aula3			
Factor de forma	1,01				0,79				1,14			
Factor de huecos	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
	0,11	0,06	0,11	0,20	0,16	0,00	0,39	0,00	0,27	0,33	0,27	0,00

Tabla 7 - Escuela rural 30. Factores de forma y huecos.

El factor de huecos promedio para todo el edificio es 0,21.

Los cerramientos opacos verticales proveen de inercia térmica a los locales. La cubierta es el cerramiento opaco térmicamente más débil,

debido a su conformación y espesor, tanto en el sector original como en la ampliación, aunque reforzado en locales Aula 2 y Aula 3 con un cielorraso que permite un mejor comportamiento respecto al Aula 1, a pesar de su cubierta liviana.

4.2.5. Análisis de registros climáticos Escuela rural 45 – Garibaldi

Esta escuela cuenta solamente con un juego de registros climáticos tomados in-situ que comprende el lapso entre el 11/08/2017 y 16/09/2017, correspondiente al período frío. No se cuenta con registro de temperatura exterior local. Esta escuela se encuentra a 11 km del LES. Se colocaron registradores en aulas 3 y 6 con orientaciones opuestas para comparar su desempeño, y en dos locales sobre la fachada Sur: la administración y el pasillo-comedor.

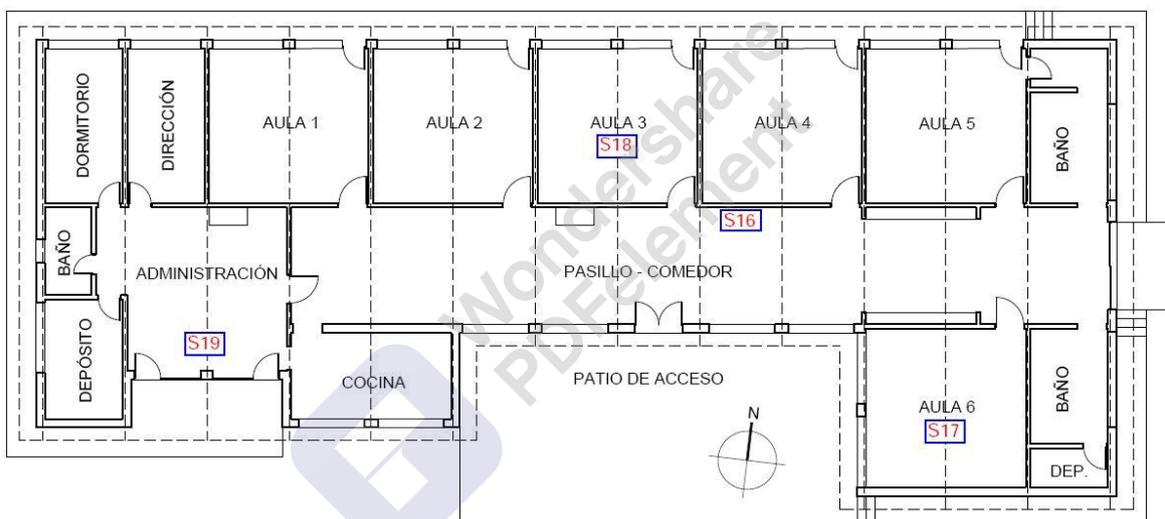


Figura 23 - Ubicación registradores Escuela rural 45.

Se toma el Aula 3 como local representativo para todas las aulas que se encuentran sobre fachada Norte, mientras que sobre fachada Sur los tres locales elegidos tienen funciones muy diferentes.

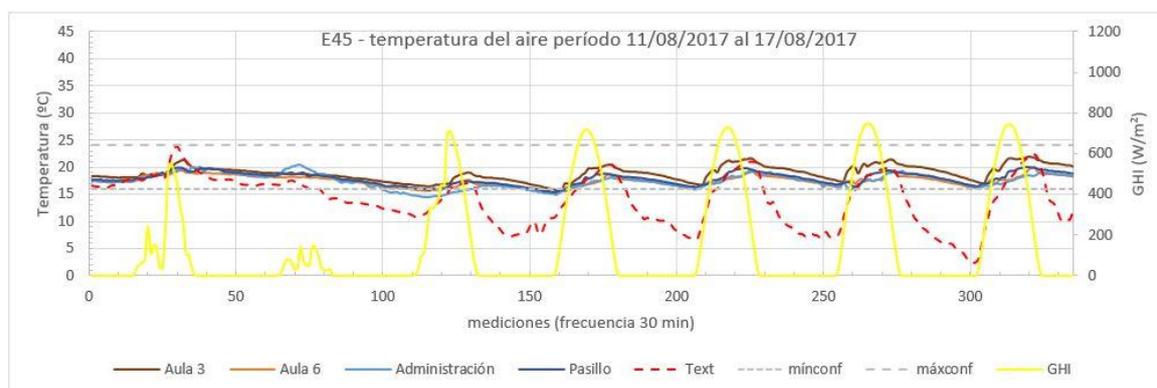


Gráfico 9 - Escuela 45 - Datos climáticos en semana de período frío.

Las temperaturas se mantienen cercanas entre sí. En el gráfico 9 puede verse el efecto favorable de la inercia térmica analizando el día 3 de la serie (mediciones 95 a 143), respecto al día 7 (mediciones 287 a 335). A pesar de que la temperatura exterior se mantiene encima de los 10°C, el día 3 es el de registros interiores más bajos, pues los días anteriores tienen una irradiación solar baja. En cambio el día 7, con una temperatura exterior muy baja en la noche, mantiene temperaturas de confort en todos los locales pues los días anteriores tuvieron una irradiación alta.

Factor de huecos	Administración				Aula 3			
	N	E	S	O	N	E	S	O
	0,00	0,00	0,79	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00
Factor de huecos	Pasillo				Aula 6			
	N	E	S	O	N	E	S	O
	0,00	0,61	0,41	0,00	0,00	0,00	0,10	0,41

Tabla 8 - Escuela rural 45. Factor de huecos.

La Administración es la que tiene el mayor factor de huecos de los cuatro locales y los mismos se orientan al Sur, siendo el local con registros más bajos. Por el contrario, las aulas 1 a 5, representadas por el Aula 3, orientadas al Norte y con el factor de huecos más reducido, son los locales con mejor desempeño térmico, logrando los días soleados temperaturas adecuadas gracias a su ventaneo continuo.

De cualquier manera, el edificio en general tiene un comportamiento térmico satisfactorio, lo que coincide con lo expresado por su directora en entrevista realizada. Es importante destacar que esta escuela no cuenta con equipos de climatización, siendo la de mejor desempeño entre las estudiadas.

4.3. Simulaciones termo-energéticas

4.3.1. Aproximación a calibración de modelos

Previamente a la simulación de situaciones existentes y propuestas se realiza una aproximación a la calibración entre los paquetes de datos climáticos que proporcionan ClimateOnBuilding²³ y el LES con los datos registrados in-situ. Se pretende conocer el posible ajuste entre la realidad y los modelos.

Escuela rural 30 - Laureles

Se compara el paquete de registros climáticos registrados in situ del período frío (26/05/18 al 14/07/18) con el mismo período para los datos proporcionados por el LES para el año 2018¹⁷ y con los datos del año típico¹⁹. Esta comparación se muestra en los gráficos elaborados para los locales representativos en el recorte del 12/06/18 al 25/06/18 para una mejor visualización.

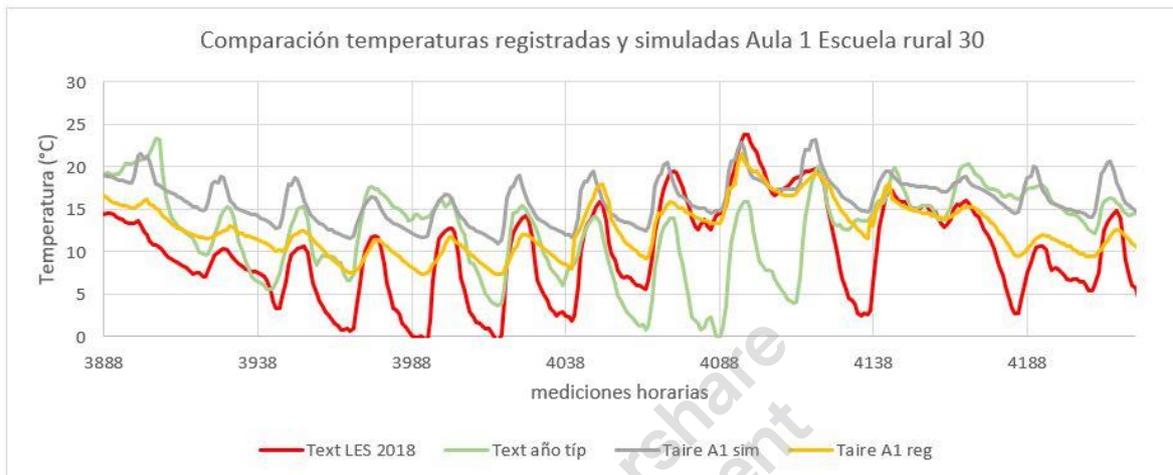


Gráfico 10 - Comparación de temperaturas Aula 1 Escuela 30 para ajuste de modelo.

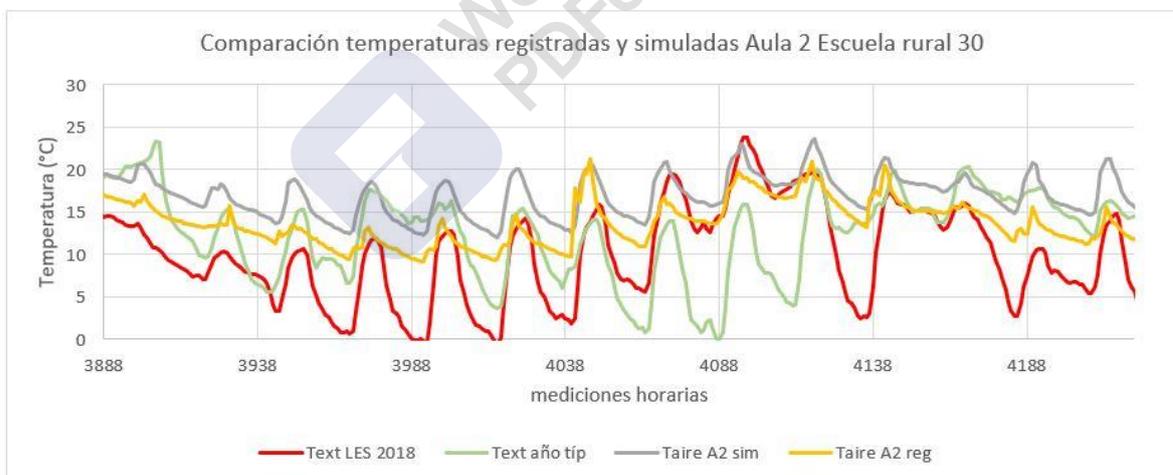


Gráfico 11 - Comparación de temperaturas Aula 2 Escuela 30 para ajuste de modelo.

Existe una correlación entre los datos registrados en las aulas con las temperaturas proporcionadas por el LES, pero hay diferencias en resultados simulados con dichos datos y los registros.

E30 - Porcentaje horas de confort según datos registrados

Período	Aula 1	Aula 2	Sala
Caluroso	0	0	0
Frío	15	23	16

E30 - Porcentaje horas de confort según simulación con año 2018 (período de registro)

Período	Aula 1	Aula 2	Sala
Caluroso	0	0	0
Frío	17	37	10

E30 - Porcentaje anual de horas de confort según simulación con año típico (período de registro)

Período	Aula 1	Aula 2	Sala
Caluroso	0	0	0
Frío	17	38	12

Tabla 9 - Escuela 30 - Comparación de simulaciones con paquetes de datos provistos y registros propios.

Resulta un ajuste adecuado solamente para el Aula 1, mientras que el resto de locales presenta desajustes al alza (60%) para el Aula 2 y a la baja (en el orden del 30%) para la Sala.

Escuela rural 45 – Garibaldi

Se realiza una comparación similar a la de la escuela 30, aunque el período considerado es entre el 12/08/2017 y el 16/09/2017. A diferencia del caso anterior, la simulación con el paquete 2017 del LES¹⁷ para esta escuela, tiene la particularidad de presentar datos solamente de acuerdo a las programaciones u ocupación efectiva de los locales. De acuerdo a esto se tomaron las horas válidas y se extrajeron los datos propios y los del año típico según las mismas. Por ello los porcentajes son menores y debe tomarse la relación entre ellos.

Si bien se aprecia una baja general en el entorno del 50% para los datos provistos, respecto a los registros reales, en esta escuela se mantiene la relación entre locales (Tabla 10).

E45 - Porcentaje horas de confort según datos registrados

Período	Aula 3	Aula 6	Administ.	Pasillo
Caluroso	0	0	0	0
Frío	10	8	2	8

E45 - Porcentaje horas de confort según datos año 2017 (período de registro)

Período	Aula 3	Aula 6	Administ.	Pasillo
Caluroso	0	0	0	0
Frío	6	4	0	6

E45 - Porcentaje anual de horas de confort según datos año típico (período de registro)

Período	Aula 3	Aula 6	Administ.	Pasillo
Caluroso	0	0	0	0
Frío	4	4	1	4

Tabla 10 - Escuela 45 - Comparación de simulaciones con paquetes de datos provistos y registros propios.

Los modelos respecto al confort, se comportan de manera similar al simularse con los datos suministrados por el LES y con el año típico. Sin embargo difieren en la comparación con los registros reales. Este aspecto requiere de una investigación más profunda sobre la calibración de modelos para representar la realidad, que no es objeto de este trabajo. A los efectos de uniformizar el criterio, y por no contar con la totalidad de los datos en paquetes del LES, se decide la utilización del año típico para realizar todas las simulaciones en este trabajo.

4.3.2. Consideraciones generales para el modelado

Se elabora un modelo para cada escuela objeto de estudio, dotándolo de la información de ocupación y cargas térmicas producto de la existencia de aparatos, iluminación artificial y actividad por cada local.

En base a los resultados del modelado de la situación actual, se hacen propuestas de diseño pasivo para mejorar, con un criterio de sustentabilidad y eficiencia, los niveles de confort adaptativo deseados para los edificios. Manteniendo constantes la actividad y equipamiento por cada edificio, se trabaja variando parámetros de transmitancia de cerramientos, factor de huecos y calidad de aberturas.

Nuevamente se ejecutan las simulaciones con las modificaciones propuestas, las que se evalúan y se efectúan conclusiones.

4.3.3. Datos de sitio

Para todas las simulaciones de edificios existentes y posteriores propuestas de diseño pasivo se utiliza el archivo de datos climáticos para la ciudad de Salto:

*URY_SA_Salto-Nueva.Hesperides.Intl.AP.863600_TMYx.2003-2017.epw*¹⁹

Las coordenadas geográficas y la determinación del norte para los edificios estudiados se obtienen de mapas web²⁴ y las altitudes mediante GPS²⁵ en las visitas a los mismos.

Para todos los casos se considera un albedo del terreno circundante de 0,26, correspondiente a superficies cubiertas de pasto.

4.3.4. Datos de construcción

Se elaboran plantillas de cerramientos opacos, a utilizar en todos los edificios estudiados, ya que el sistema constructivo es básicamente el mismo. Cuando existe alguna variante, se crea una nueva, como los casos del bloque nuevo de aulas de la escuela 30 o los muros de la escuela 36. Se procede de igual manera para las aberturas, creando plantillas para las aberturas originales de hierro y para las nuevas de aluminio. Los datos relativos a las propiedades de los materiales se toman de tablas¹⁸ y cuando no se cuenta con ellos, se calculan. Tal es el caso de las cubiertas de las escuelas 30 y 36 conformadas por dos capas de rejillones, separadas por una capa de mortero y cubiertas por otra capa de mortero y asfalto con film de aluminio. Dada la disposición de los rejillones respecto a la dirección de la transferencia de calor (Figura 24), se establece su valor de transmitancia térmica mediante el método de cálculo de resistencia eléctrica.

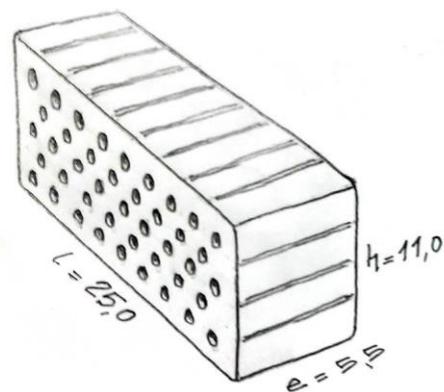


Figura 24 - Detalle cubierta (capa inferior) y esquema de mampuesto.

Se consideran resistencias ponderadas, en paralelo los componentes de los rejillones (cerámica cocida y aire) y en serie los componentes homogéneos (mortero, asfalto).

$$R_T = R_{si} + 2 \left[\frac{\left(\frac{R_c}{0,68} \right) * \left(\frac{R_a}{0,32} \right)}{\left(\frac{R_c}{0,68} \right) + \left(\frac{R_a}{0,32} \right)} \right] + 2R_m + R_f + R_{se} \quad [a]$$

Siendo:

R_T resistencia total, R_{si} resistencia superficial interna, R_c resistencia de la cerámica, R_a resistencia del aire, R_m resistencia del mortero, R_f resistencia del asfalto y R_{se} resistencia superficial exterior.

Se obtiene un resultado de $R = 0,437 \text{ m}^2\text{K/W}$ equivalente a una transmitancia térmica total de $2,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [b]$$

Siendo:

U transmitancia térmica total del cerramiento

Este valor se compara con el obtenido para la cubierta de la escuela 45 construida con ladrillo común de campo con una constitución de capas similar, el cual es de $R = 0,362 \text{ m}^2\text{K/W}$ equivalente a una transmitancia de $2,76 \text{ W/m}^2\text{K}$. Se considera razonable la disminución de la transmitancia en el primer caso respecto al segundo, debido a la presencia de aire estanco en los rejillones de la capa superior. Los espacios con aire de los rejillones de la capa inferior tienen vinculación con el interior (excepto en escuela 68 donde se han revocado), lo que supone se acerque su temperatura a la del aire del recinto. Por otra parte, los espacios son reducidos, por lo que los movimientos convectivos se consideran despreciables, dándose transferencia de calor solamente por radiación.

Infiltraciones

Los datos de infiltraciones para la Escuela rural 30 se toman de ensayos realizados con Blower Door según norma ISO 9972²⁶. Los mismos se realizaron en las escuelas 30 y 36, a los efectos de determinar las diferencias para bloques de edificios iguales, con aberturas de aluminio en Escuela 30 y de hierro en Escuela 36.

ΔpB	Escuela 30 - Laureles			Escuela 36 - Sauce Chico		
	RPH	RPH _{min}	RPH _{max}	RPH	RPH _{min}	RPH _{max}
4	1,1	1,0	1,2	1,9	1,8	2,0
10	1,9	1,8	2,0	3,5	3,3	3,7
50	5,1	5,0	5,3	10,3	9,9	10,6

Tabla 11 - Resultados ensayos de infiltraciones escuelas 30 y 36.

Para estos ensayos, se tomó la escuela 36 en su totalidad y solamente las zonas correspondientes al edificio original en la escuela 30, siendo ambas prácticamente iguales en forma y volumen.

Ventilación

Para la parametrización de la ventilación natural se estudian las aberturas de cada edificio, volcando datos de áreas y porcentaje de apertura en planillas. Se calcula la ventilación higiénica necesaria para la remoción de CO₂ en el período frío para las escuelas 30 y 45. según método adaptado de CIBSE¹⁸:

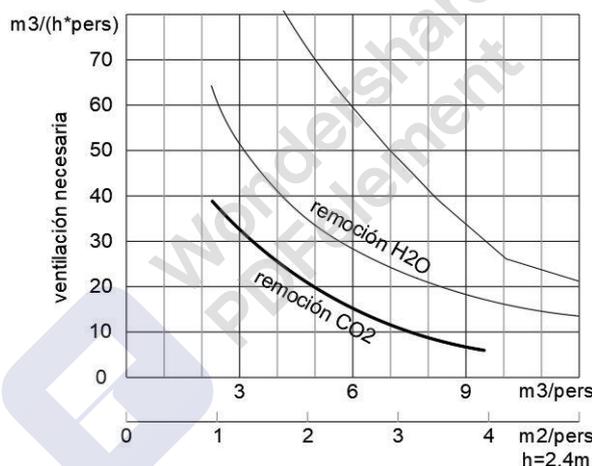


Gráfico 12 - Gráfico para determinación de ventilación para remoción de gases.

$$rph = \frac{v}{V} \quad (c)$$

Siendo: rph renovaciones volumétricas por hora, v caudal (en m³/h) y V volumen

Se consideran características del viento medio de la zona y coeficiente de rugosidad del terreno para el cálculo de renovaciones por hora necesarias para cada local.

$$v = E * C_h * A_e * vv * f \quad (d)$$

Siendo: v caudal (en m³/s), E efectividad de la abertura, C_h coeficiente de rugosidad, A_e área de entrada, vv velocidad media del viento para Salto en enero, f factor relacionado a A_s/A_e

$$rph = \frac{v * 3600}{V} \quad (e)$$

Siendo: rph renovación volumétrica por hora, v caudal (en m³/s) y V volumen

4.3.5. Actividad y equipos

Se establece la actividad para todas las simulaciones, los días hábiles - lunes a viernes- desde el mes de marzo al mes de noviembre inclusive, sin considerar los feriados y períodos de vacaciones intermedias.

También la residencia de un maestro en la vivienda, con idéntica programación para las escuelas 30, 36 y 68. Dado que la escuela 45 tiene un horario diferente, la programación se adecua a esta situación.

Los equipos se encienden en horarios de actividad para las zonas destinadas a la docencia, mientras que en la vivienda se parametrizan según el uso habitacional.

Los consumos de equipos de agua caliente sanitaria (ACS) se calculan por separado, sumándose luego a los consumos eléctricos.

4.3.6. Simulación edificio existente escuela 30

Para el modelado de la escuela 30 de Laureles, se opta por dividirla en tres bloques de edificio: vivienda | comedor + aula 1 (Aula 1) | aulas 2 y 3, de acuerdo a las funciones y a las diferencias constructivas en cubiertas (Figura 25).

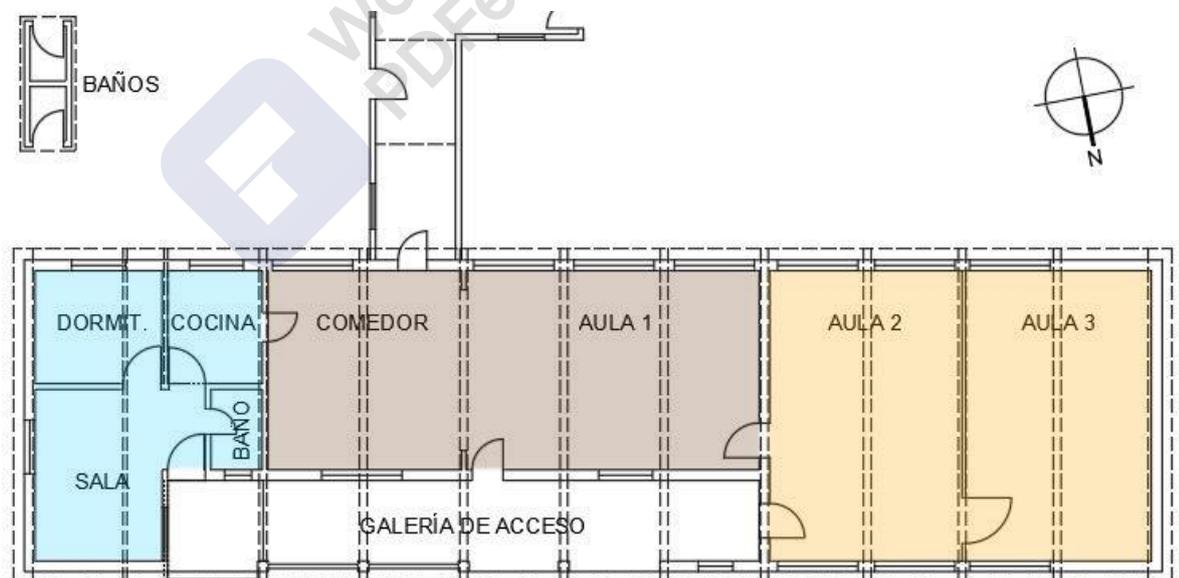


Figura 25 - Planta Escuela rural 30 con división de bloques para modelado.

En el bloque de aulas 2 y 3 se crean nuevas zonas térmicas en las cuatro bóvedas, debido a la existencia de cielorraso. De manera similar se procede en parte de la vivienda, donde los cielorrasos del baño y acceso al mismo determinan nuevas zonas térmicas en esas porciones de bóveda.

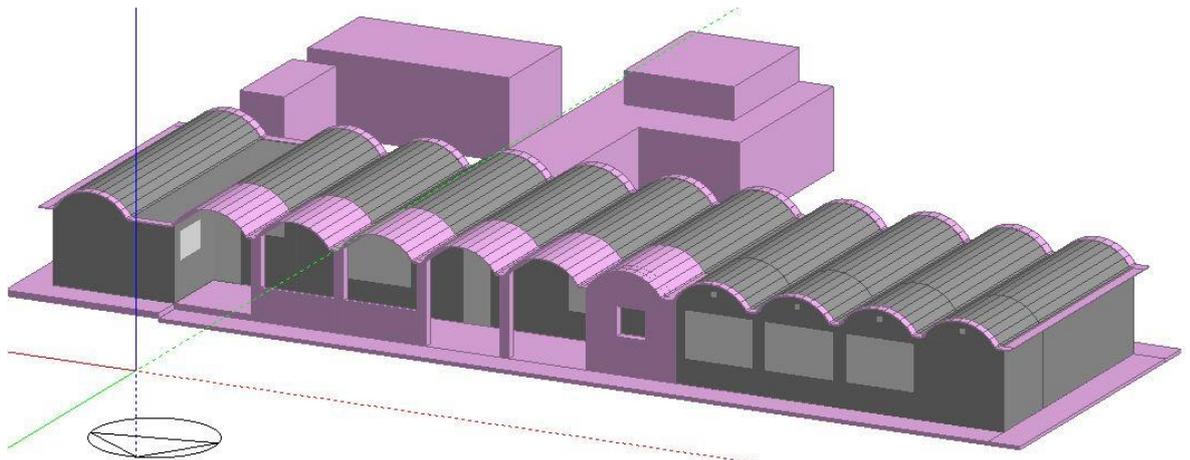


Figura 26 - Modelo en Design Builder Escuela rural 30.

Los elementos constitutivos de la galería de acceso y los bloques posteriores de baños y depósito, no intervienen en los cálculos térmicos pero sí en los de sombreado o reflexión de radiación solar.

Respecto al régimen de ocupación de los locales, al ser escuela unidocente y dado que el grupo de alumnos se traslada íntegro de un aula a otra, la simulación se realiza con ocupación solamente en Aula 1 ya que es la que presenta mayores inconvenientes desde el punto de vista térmico. Para ambos casos se toma una ocupación de 18 alumnos y la maestra, totalizando 19 personas.

Resultados

Se presentan en primer lugar los resultados derivados del análisis de horas de confort anuales para los locales representativos. Se aprecia el comportamiento diferenciado por período, con el efecto que produce la aislación térmica en el Aula 2, principalmente en el período frío. La Sala presenta problemas en el período caluroso, al tener sus cerramientos opacos mucha exposición a la radiación solar durante todo el día. Las horas de confort del Aula 1 se encuentran equilibradas entre los distintos períodos.

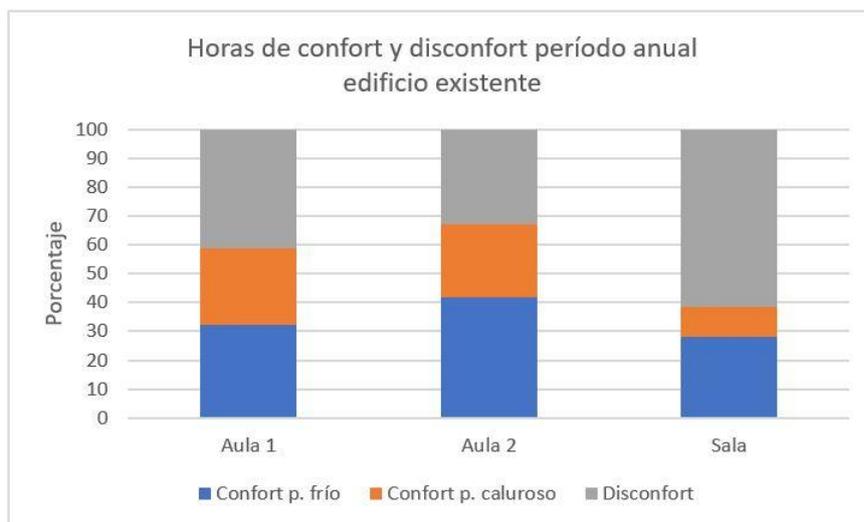


Gráfico 13 - Horas de confort y desconfort para período anual expresado en porcentaje. Edificio existente Escuela 30.

El balance térmico de la envolvente del edificio muestra como elementos más débiles la cubierta y más lejos el acristalamiento y los muros. El suelo aporta, principalmente en el período frío, ganancias favorables, aunque también participa absorbiendo calor en el período caluroso.



Gráfico 14 - Balance de energía edificio existente Escuela 30.

Se analizan por separado los tres locales representativos, utilizándose una escala diferente a la anterior pero idéntica en los resultados de los locales por separado, para los gráficos para mejorar su visualización. Puede apreciarse el aporte del Aula 1 en ambos períodos a las ganancias/pérdidas no deseadas a través de la cubierta, aunque siendo compensadas con un destacado papel del suelo en las ganancias del período frío (Gráfico 15). Este local tiene un comportamiento similar al edificio tomado en su totalidad.

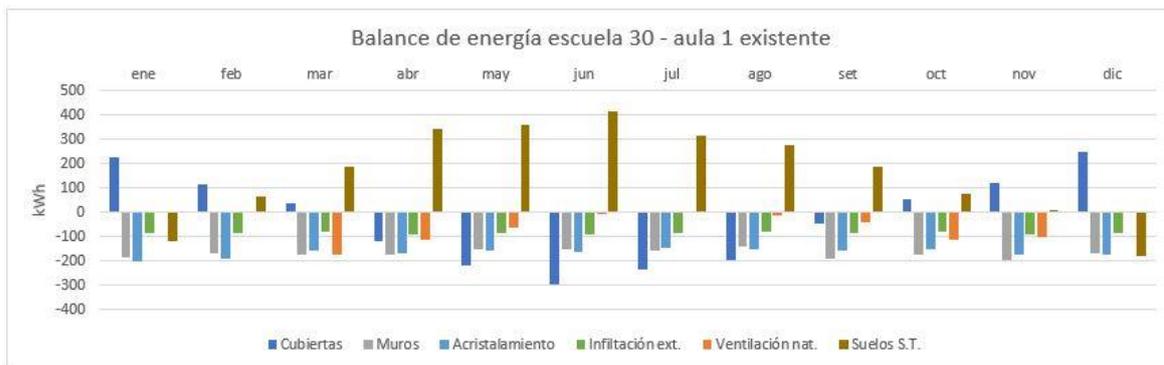


Gráfico 15 - Balance de energía aula 1 existente Escuela 30.

El Aula 2 no aporta prácticamente ganancias/pérdidas no deseadas por cubierta, justificado por la existencia de un cielorraso resuelto adecuadamente. Sí puede apreciarse el mayor aporte en pérdidas por acristalamiento, siendo éste el local con mayor factor de huecos del edificio.



Gráfico 16 - Balance de energía aula 2 existente Escuela 30.

La Sala de la vivienda muestra un aporte, principalmente en el período caluroso, a las ganancias/pérdidas no deseadas por cubierta, siendo este resultado coherente con el de confort en el mismo período (Gráfico 17). El suelo resulta un factor favorable importante en el balance para este local.

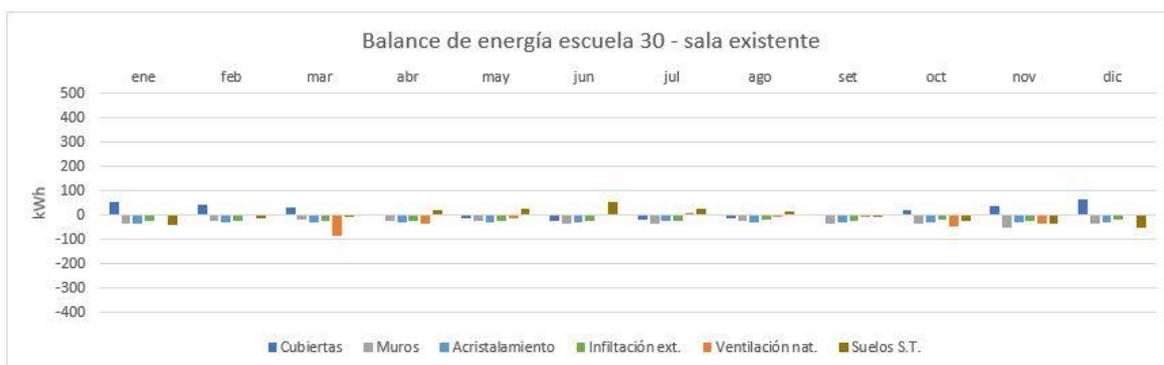


Gráfico 17 - Balance de energía Sala existente Escuela 30.

El gráfico de ganancias internas permite apreciar la significancia del aporte solar a todo el edificio, causante principal de confort en período caluroso. La iluminación artificial aparece con valores importantes pues se simuló con todas las luminarias encendidas durante los horarios de ocupación, situación que en general representa la realidad.

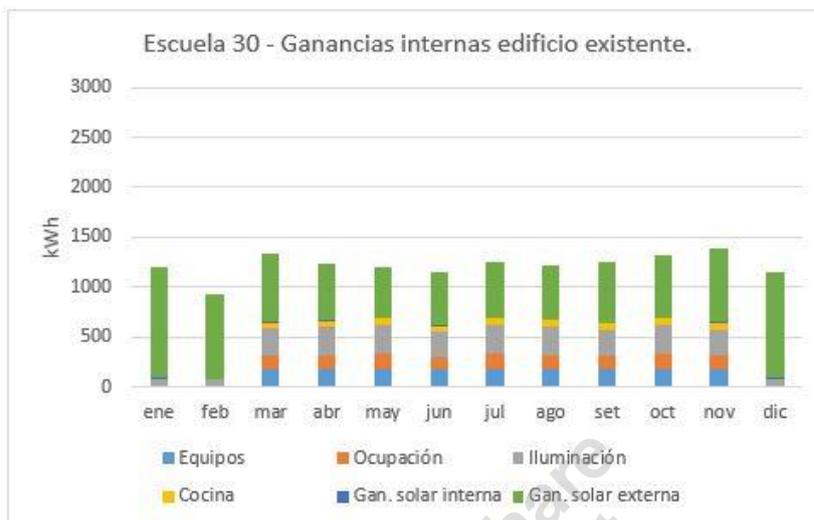


Gráfico 18 - Ganancias internas edificio existente Escuela 30 por tipo.

En lo que respecta a consumos del edificio, si bien son bajos ya que no se cuenta con mucho equipamiento, la iluminación es la que tiene el mayor porcentaje por lo mencionado anteriormente.

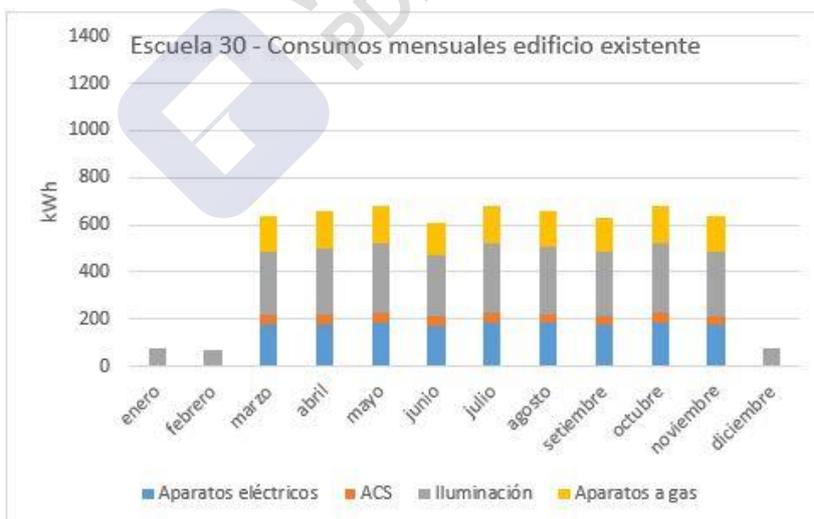


Gráfico 19 - Consumos mensuales edificio existente Escuela 30 por tipo.

4.3.7. Simulación edificio existente escuela 45

Se toman como locales representativos para la simulación, la Administración de la zona Oeste por ser la más comprometida al tener un gran área vidriada al Sur; el Aula 3 con orientación Norte, el Aula 6 con

orientación Sur y el Pasillo de acceso que cumple funciones de comedor, situado sobre la fachada Sur.

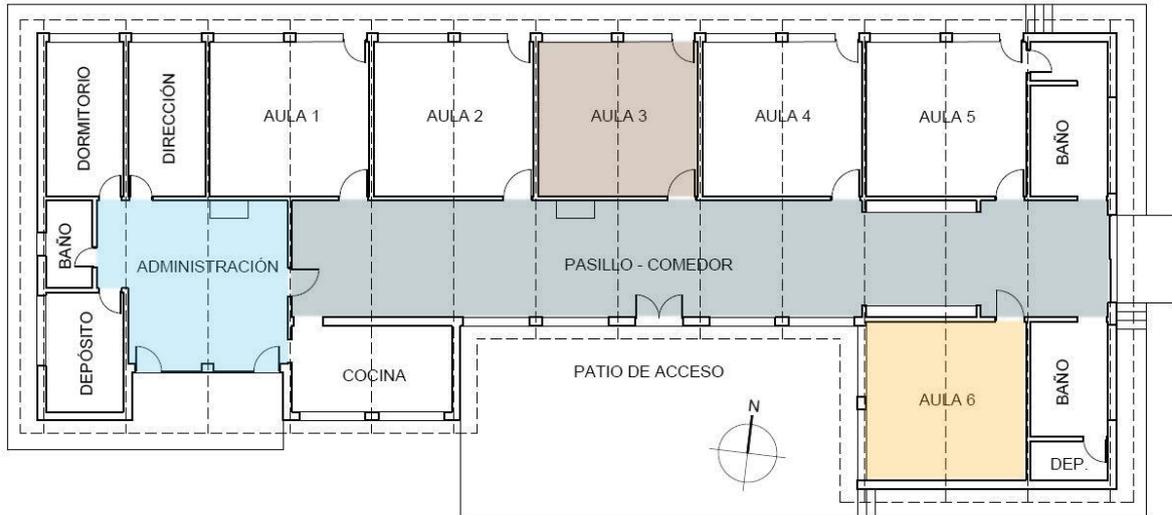


Figura 27 - Planta Escuela rural 45 con locales representativos en simulación.

La población escolar en 2017, cuando se tomaron los registros de temperatura y humedad, era de 77 alumnos, 6 maestros y 2 auxiliares. A los efectos de la simulación se tomará como ocupación una cantidad uniforme de alumnos por clase, resultando en 13 niños por cada salón más una maestra.

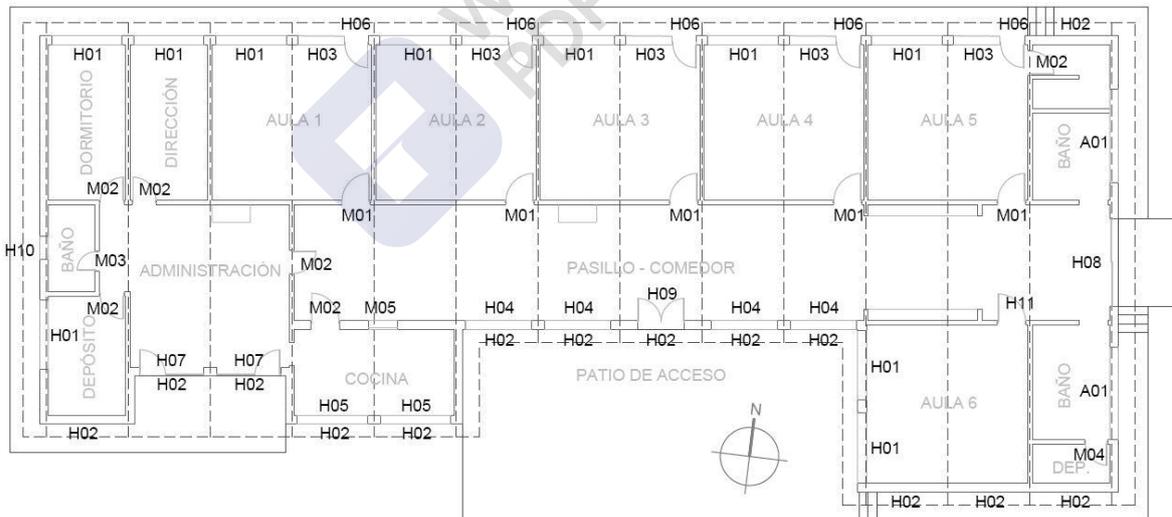


Figura 28 - Planta aberturas Escuela 45.

Para la parametrización de la ventilación natural se estudian las aberturas del edificio. Las exteriores -todas originales de perfiles de hierro- son principalmente de dos formas: rectangulares -con variantes en las dimensiones- y semicirculares en el caso de las banderolas. Las puertas tienen gran área vidriada. Las ventanas rectangulares son de seis o nueve sectores, de los cuales se abren dos o tres respectivamente

en forma proyectante. No se considera la apertura de las banderolas para este cálculo.

Tipo	Ancho	Altura	Materiales	Átransp	Áopaca	Átotal	% apert	Lado ap.
H01	2,40	1,20	hierro + vidrio simple	2,45	0,43	2,88	25	abajo
H02	2,20	0,40	hierro + vidrio simple (banderolas sup.)	0,65	0,10	0,75	33	arriba
H03	1,60	1,20	hierro + vidrio simple	1,63	0,29	1,92	25	abajo
H04	2,25	0,80	hierro + vidrio simple	1,53	0,27	1,80	38	abajo
H05	2,40	0,80	hierro + vidrio simple	1,63	0,29	1,92	37	abajo
H06	0,80	2,05	hierro + chapa + vidrio simple (40/60)	0,98	0,66	1,64	95	izq.
H07	2,20	2,10	hierro + chapa + vidrio simple (25/75)	3,47	1,16	4,62	38	izq./der.
H08	3,00	2,10	hierro + chapa + vidrio simple (25/75)	4,73	1,58	6,30	45	izq.
H09	1,60	2,10	hierro + chapa + vidrio simple (40/60)	2,02	1,34	3,36	95	izq./der.
H10	0,80	0,40	hierro + vidrio simple	0,27	0,05	0,32	25	abajo
A1	3,20	0,37	aluminio + vidrio simple	0,95	0,24	1,18	45	izq.

Tabla 12 - Planilla aberturas exteriores Escuela 45.

Para el período caluroso se calcula la ventilación natural de la misma aula considerando como área de entrada las aberturas H01 y H03, suponiendo la puerta exterior cerrada, todas en la fachada norte. Como área de salida se toman las cuatro aberturas H04 de la fachada sur del pasillo, suponiendo la puerta exterior cerrada. Se desprecia el efecto de la división interior aunque se supone la puerta interior del aula totalmente abierta.

Mediante las fórmulas (d) y (e) se obtiene un resultado de 27 rph para un aula situada sobre fachada norte.

Ventilación natural							
Aent	As/Ae	F	E	Ch	v (m/s)	v (m ³ /s)	rph
1,20	0,82	0,70	0,30	0,70	3,60	0,64	27

Tabla 13 - Parámetros de ventilación Escuela 45.

El parámetro de infiltraciones se toma del resultado del ensayo con Blower Door en la Escuela 36, ya que cuenta con aberturas originales, similares a las de este edificio. Se utiliza el valor medio de 10,3 rph a 50Pa.

Resultados

El análisis de las horas de confort anuales, presenta un comportamiento más favorable en el período frío que en el caluroso, con la excepción de la Administración donde no existe diferencia entre ambos. Los locales ubicados sobre fachada Norte, representados por el Aula 3, tienen un porcentaje de horas de confort anuales superior al de los demás, ubicados al Sur. La principal razón es la existencia de cerramientos

transparentes en dicha fachada -alcanzando un valor cercano al 40% de la misma- que permiten el ingreso de radiación solar suficiente durante todo el día, para elevar la temperatura de los cerramientos pesados interiores y así aprovechar su inercia térmica.

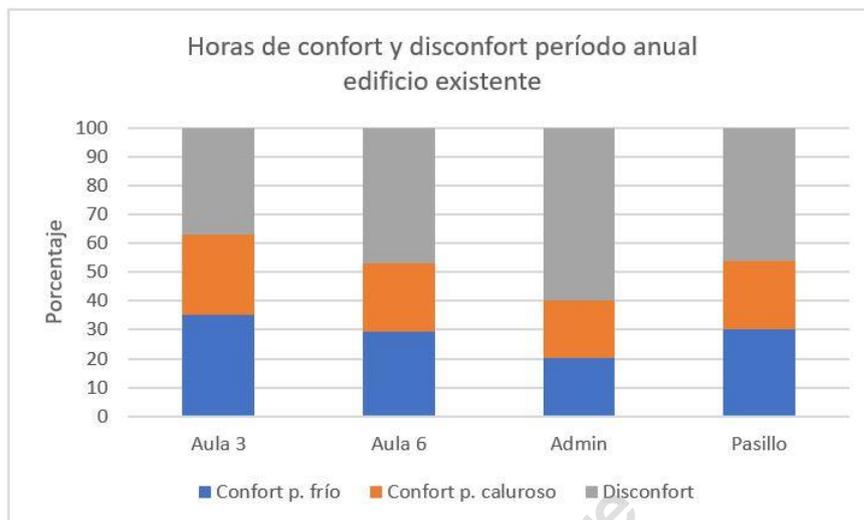


Gráfico 20 - Horas de confort y desconfort para período anual expresado en porcentaje. Edificio Escuela 45 existente.

En el Gráfico 21 de balance térmico se identifican claramente los cerramientos con mayores problemas, siendo éstos la cubierta, en ambos períodos, y cubierta, acristalamiento e infiltraciones en el período frío. Tomando los datos mes a mes, se puede ver un comportamiento del edificio, más favorable en el período caluroso, al neutralizarse las ganancias no deseadas por cubierta con las pérdidas. Por el contrario, en el período frío, las ganancias obtenidas por el suelo, no son suficientes ante la importancia de las pérdidas.

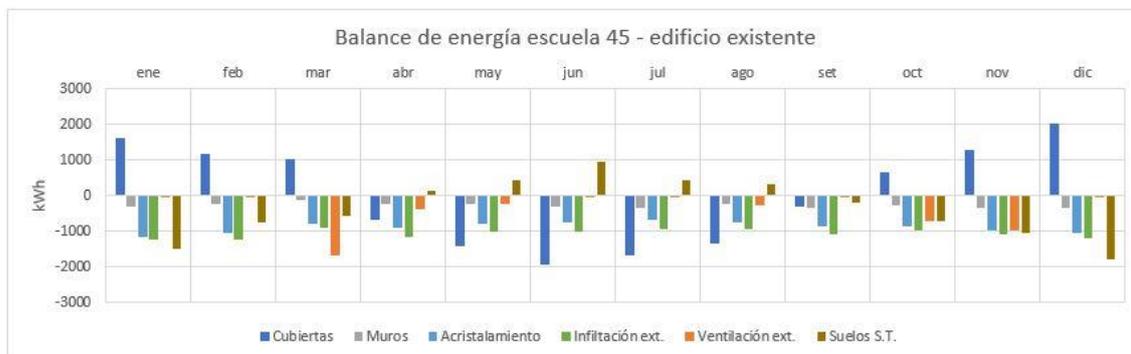


Gráfico 21 - Balance de energía edificio existente Escuela 45.

Para analizar los cuatro locales representativos por separado (gráficos 22 al 25), se utiliza en los gráficos una escala diferente a la anterior pero idéntica en los resultados de locales por separado, para mejorar su visualización.

Se aprecia que el local más comprometido es el Pasillo, presentando un comportamiento muy similar al del edificio así como valores de ganancias/pérdidas no deseadas de importancia en los distintos cerramientos e infiltraciones de consideración.

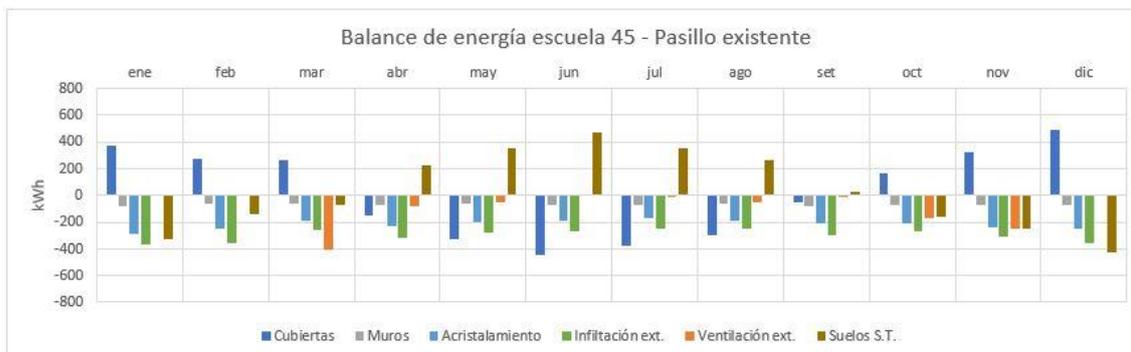


Gráfico 22 - Balance de energía Pasillo existente Escuela 45.

En cambio las aulas tienen un comportamiento similar entre sí en cuanto a la transferencia total de calor, con un aporte bajo al total del edificio.



Gráfico 23 - Balance de energía Aula 3 existente Escuela 45.



Gráfico 24 - Balance de energía Aula 6 existente Escuela 45.

La Administración difiere de las aulas en los valores de pérdidas por los cerramientos transparentes, por su factor de huecos cercano al 80% en la fachada Sur. Esta situación favorece al local en el período caluroso, por su acceso protegido de la radiación solar a primeras y últimas horas del día. Nuevamente las infiltraciones son de importancia relativa, dada la extensión y calidad de las aberturas.

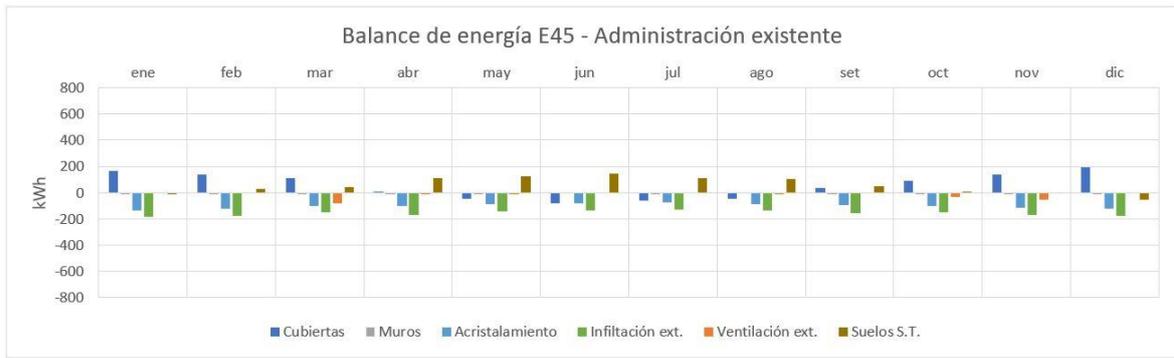


Gráfico 25 - Balance de energía Administración existente Escuela 45.

El edificio presenta como principal aporte de ganancias internas a la radiación solar, la que se mantiene con valores similares a lo largo del año, dado el buen diseño y ubicación de aberturas que permite su aprovechamiento.

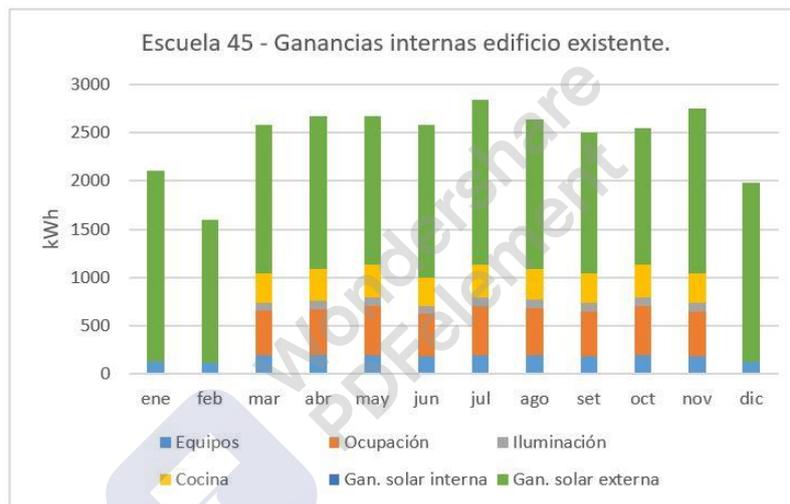


Gráfico 26 - Ganancias internas edificio existente Escuela 45 por tipo.

La energía que aporta la cocina tiene importancia al estar ubicada entre la Administración y el Pasillo, siendo una fuente de calor útil en el período frío.

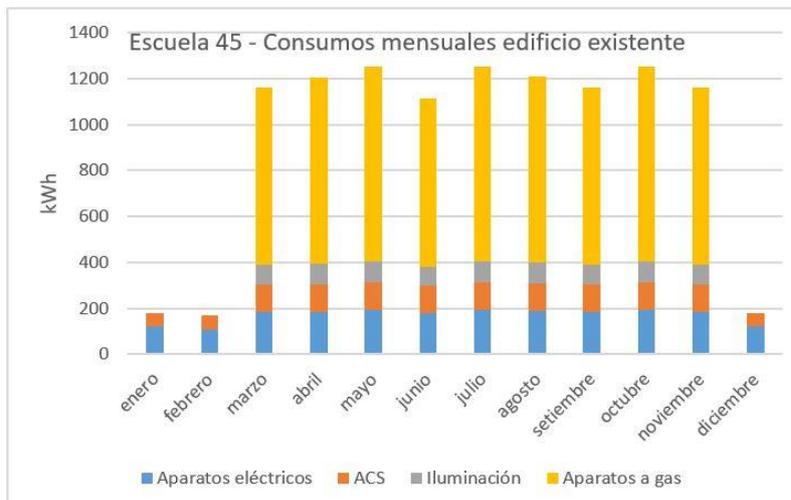


Gráfico 27 - Consumos mensuales edificio existente Escuela 45 por tipo.

Respecto a los consumos de energía, la escuela cuenta con pocos aparatos eléctricos y escasa iluminación artificial. Al tener una población importante, que toma su almuerzo en el sitio, el principal consumo se da por la cocción de alimentos, utilizándose el gas como combustible.



5. Propuestas de rehabilitación termo energética

Basadas en los resultados obtenidos mediante simulaciones de los edificios existentes, las propuestas apuntan a mejorar los principales aspectos relacionados a las ganancias y pérdidas térmicas no deseadas en los edificios, sin perder las condiciones favorables que presentan en lo funcional y formal. Sobre este último aspecto, se resalta el cuidado de la forma característica de estos edificios, al momento de proponer las estrategias de mejora.

Se considera de importancia, el contexto en que se encuentran estas escuelas. El hecho de que generalmente se encuentran alejadas de los centros de abastecimiento de servicios y materiales, la prioridad en la atención a los problemas frente a escuelas con población elevada como las urbanas, las dificultades de acceso, hacen necesario pensar en soluciones simples, durables en el tiempo y con escaso mantenimiento. Por ello se recurre a un rediseño de aberturas y a una solución clásica de aislamiento como estrategias principales y de aplicación posible. Otras soluciones para aspectos puntuales también son aplicables por su facilidad de implantación y posibilidades referidas a aspectos educativos en lo ambiental.

5.1. Estrategias propuestas para Escuela 30

5.1.1. Estudio de aberturas – Propuesta 1

Se propone una reducción en el factor de huecos de la fachada Sur en las tres aulas, resultando en ventanas corredizas de 2,10 x 0,70m con un antepecho alto. Esto permite la entrada de luz difusa suficiente al aula, quedando los estudiantes, habitualmente sentados en sus pupitres, protegidos por el muro doble.

	Aula1				Aula2				Aula3			
	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
FH existente	0,16	0,00	0,39	0,00	0,31	0,33	0,18	0,00	0,16	0,00	0,09	0,00
FH abert. modif.	0,22	0,00	0,17	0,00	0,33	0,33	0,10	0,00	0,17	0,00	0,05	0,00

Tabla 14 - Comparación factores de huecos entre edificio existente y propuesta 1 Escuela 30.

Sobre fachada Norte, en el sector del Aula 1, se propone la demolición del tramo de muro existente en la galería, a continuación de la línea de fachada del Aula 2, y la incorporación de aberturas similares a la existente sobre el comedor, resultando en dos aberturas de 2,10m x 0,70m para el aula. Esto permite compensar la disminución de iluminación desde el Sur por reducción de vanos.

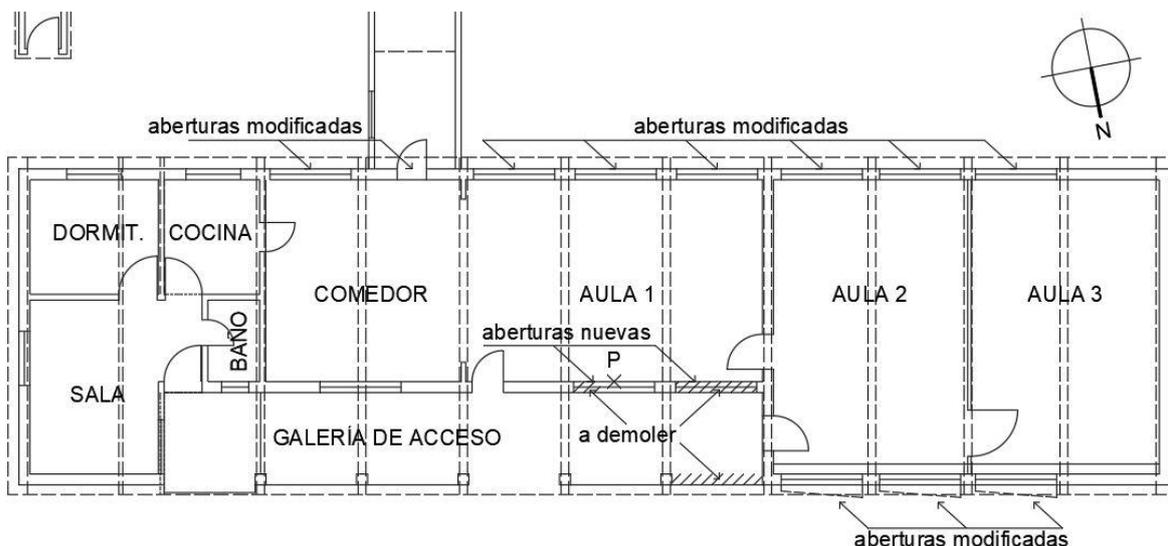


Figura 29 - Planta esquemática con aberturas modificadas Escuela 30.

Estas tres ventanas que dan hacia la galería, cuentan con protección solar suficiente para el período caluroso por la cubierta de la misma, aunque excesiva en el período frío, según se muestra en diagrama para el punto P en el Gráfico 28.

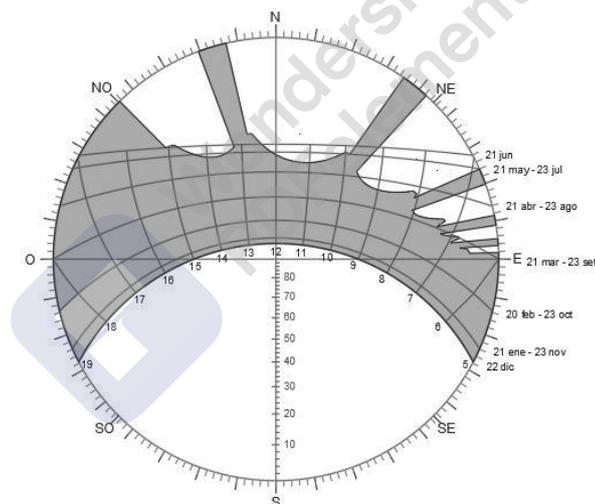


Gráfico 28 - Diagrama estereográfico para punto P en abertura sobre galería Escuela 30.

Para las aulas 2 y 3 sobre su fachada Norte, se propone la división de los vanos existentes, incorporando un estante y ampliando el antepecho hacia el interior, ambos pintados de blanco, que sirvan para el ingreso de luz natural reflejada. Esta luz refleja a su vez en el cielorraso, ingresando a la parte media del local colaborando con la mejor distribución de la iluminación general a lo largo de todo el año.

Las aberturas son corredizas en la sección inferior (similares a las actuales) y proyectantes en la superior, pudiendo manejarse éstas para favorecer la ventilación higiénica del período frío cuando sea necesario.

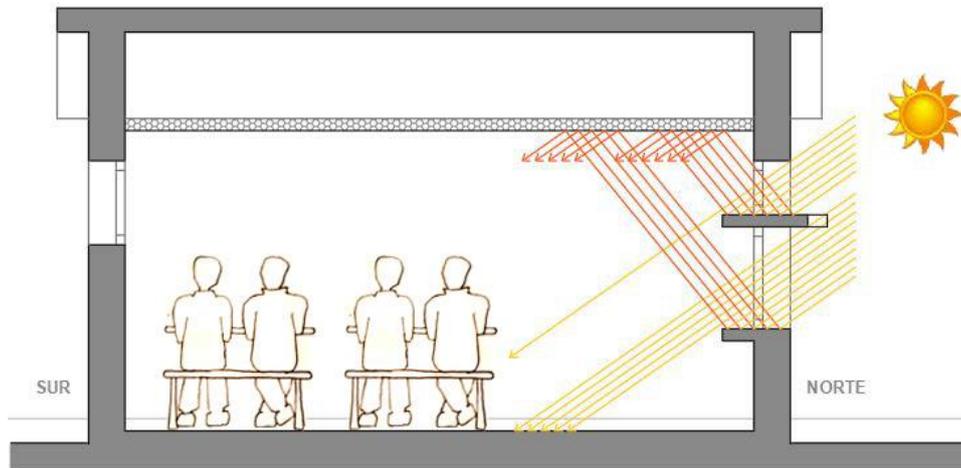


Figura 30 - Esquema de aula con aberturas modificadas y reflexión de luz solar.

Se considera este diseño de abertura adecuado para recibir radiación solar en el período frío, pues permite el calentamiento de la masa interior, beneficiando el confort térmico de los locales. En el período caluroso se impide el ingreso de dicha radiación, evitando además el deslumbramiento, en momentos de GHI elevada.

Los ángulos 60° y 51° mostrados en la Figura 31 corresponden a la altura solar para los días 17 de marzo y 9 de abril respectivamente a la hora solar 12.00. El ángulo 35° es la altura solar para el solsticio de invierno, también a la hora solar 12.00.

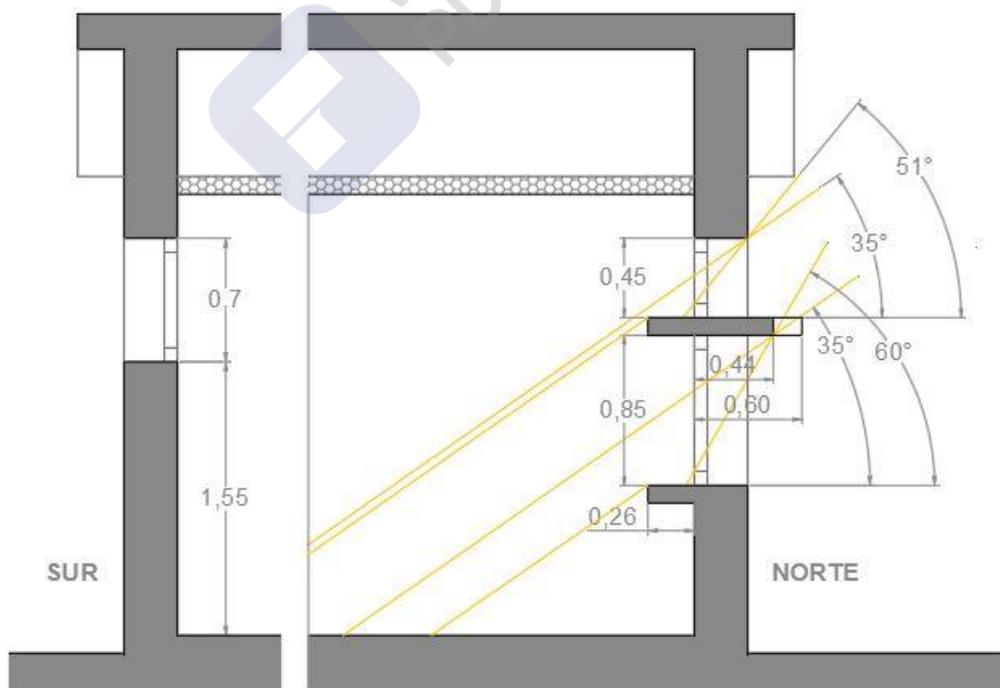


Figura 31 - Diseño de aberturas propuestas para Escuela 30.

La solución permite el ingreso de radiación solar directa por la sección inferior de la ventana, de acuerdo al diagrama estereográfico derecho del

Gráfico 29. Por la sección superior, al ser menor en altura, la radiación directa se da en un menor rango de fechas según el diagrama estereográfico izquierdo del mismo gráfico.

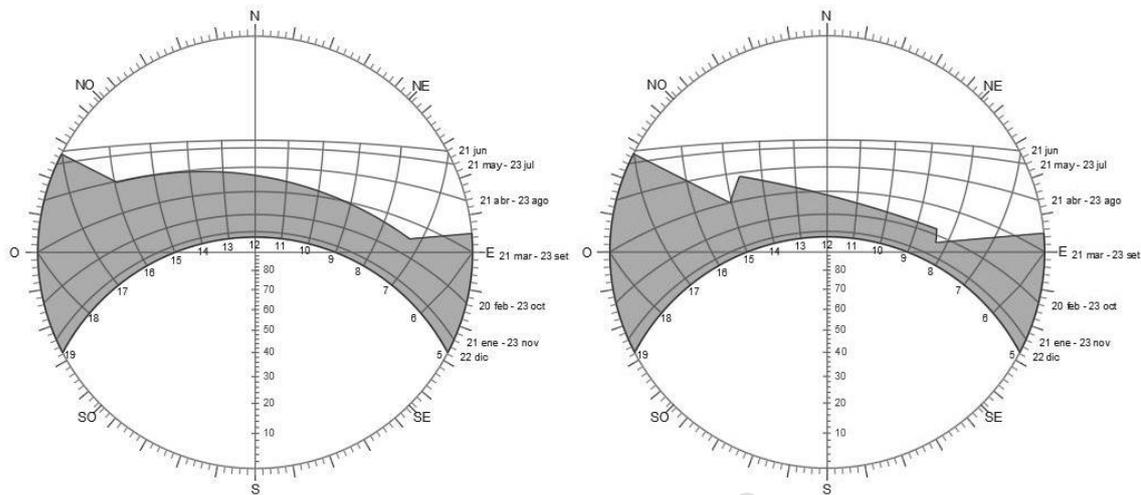


Gráfico 29 - Diagrama estereográfico de nuevas aberturas propuesta para aulas 2 y 3 (norte) de escuela 30.

El resto de las aberturas del edificio no se modifican, aunque se hacen recomendaciones para el ajuste de puertas de madera exteriores, a efectos de disminuir las infiltraciones y el cambio de la puerta metálica por una de madera -disminuyendo su transmitancia térmica, desde el comedor a los servicios higiénicos situados al Sur.

5.1.2. Aislación térmica – Propuesta 2

La aislación térmica puede incorporarse tanto en muros exteriores como en la cubierta. Los muros existentes son de doble hoja con cámara de aire intermedia y tienen por tanto un espesor considerable. Los valores moderados de pérdidas por ellos mostrados en el balance, sumados a la presunta dificultad que supondría inyectar un producto aislante con éxito en la cámara cerrada, hace que se desestimen para la aplicación de aislación.

En cambio, en la cubierta a pesar de los recursos manejados en su construcción, a su espesor y sobre todo atendiendo a los resultados del balance energético que demuestran es el cerramiento opaco térmicamente más débil, sí correspondería su aplicación.

Se propone para la vivienda y aula 1 un sistema de alfajías o soportes convenientemente anclados sobre la superficie existente, con un tendido

de manta de lana de vidrio o lana mineral que cubra toda la cubierta, terminando por encima con una sobrecubierta de chapas metálicas similares a las existentes en el sector de aulas 2 y 3.

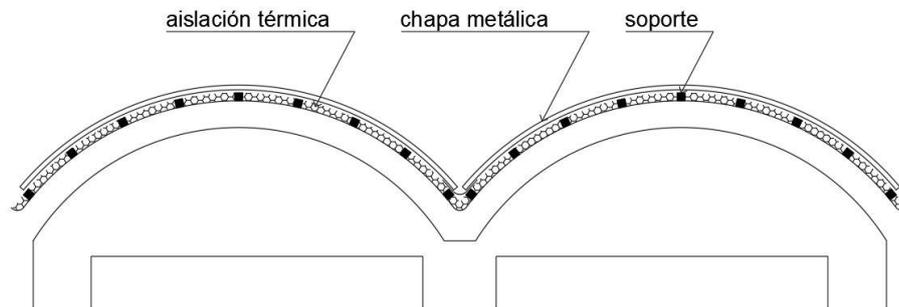


Figura 32 - Corte esquemático propuesta aislación de cubierta.

5.1.3. Aberturas modificadas y cubierta aislada – Propuesta 3

A los efectos de obtener posibles beneficios de ambas propuestas anteriores actuando simultáneamente, se combinan las estrategias aplicadas previamente por separado.

5.1.4. Vegetación

Exceptuando los vanos de la galería enfrentados a las respectivas puertas de acceso a la vivienda y al aula 1, se propone -previa demolición del murete calado existente- el tendido de una malla electrosoldada que cubra toda el área de vanos restantes. Al pie de la misma, en canteros a practicar en los puntos necesarios, se propone plantar enredaderas de hoja caduca que puedan tomar las áreas de malla, logrando así el sombreado de la galería en el período caluroso y permitiendo el pasaje de radiación solar en el frío.

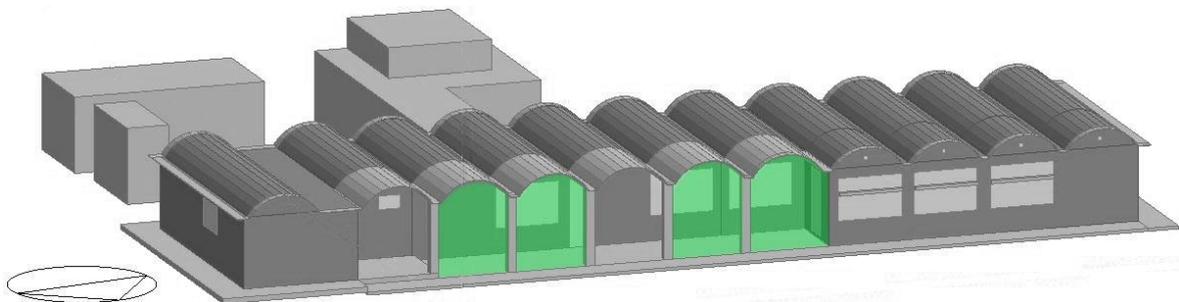


Figura 33 - Vista esquemática fachada Norte Escuela 30 con aberturas modificadas y uso de vegetación en galería de acceso.

Esta estrategia no forma parte de las simulaciones realizadas. Se entiende muy favorable -principalmente para el Aula 1- por su efecto en

el período caluroso ante la incidencia de radiación solar directa sobre el piso de la galería. El mismo tiene una absorción alta, por lo que, al sombreado se evita que su temperatura se eleve demasiado atenuando su influencia sobre los cerramientos exteriores del Aula 1.

Una especie que se adapta para esta solución, es *Campsis radicans*, comúnmente conocida como Trompa de fuego, dada su condición de caducifolia, siendo una planta de vida prolongada. Requiere de podas fuertes ya que avanza rápidamente, pero cubre adecuadamente entre los meses de octubre y abril.

Este tipo de soluciones permite calificar al edificio como un dispositivo didáctico-pedagógico en sí mismo, pudiendo los alumnos visibilizar y experimentar los recursos de la vegetación como parte importante del concepto de eficiencia energética.

5.1.5. Dispositivos pasivos complementarios

Para la mejora en condiciones de confort del alumnado, que carece de agua caliente sanitaria en los baños, es factible la instalación de un calefactor solar térmico. Aprovechando que los sanitarios se encuentran en un bloque separado, puede colocarse sin afectar la formalidad del edificio, en la cubierta de dicho bloque, sobre el extremo Sur.

5.2. Simulaciones de propuestas para Escuela 30

5.2.1. Propuesta 1: modificación de aberturas exteriores.

En confort la simulación con modificación de aberturas, tomando los tres locales estudiados, significa una mejora promedio de 5% anual. Sin embargo, si se estudia dicha mejora por local y por período, se destaca el Aula 1 durante el período frío con una apreciable mejora del 53% respecto a la situación actual, mientras que en el caluroso alcanza una mejora del 11%. Se aprecia el efecto que esto tiene sobre la vivienda, pues la Sala también mejora su valor a pesar de no tener modificaciones en las aberturas. El Aula 2 alcanza valores menores de mejora -7% y 16% en los respectivos períodos- pero partiendo de una mejor situación que los otros locales.

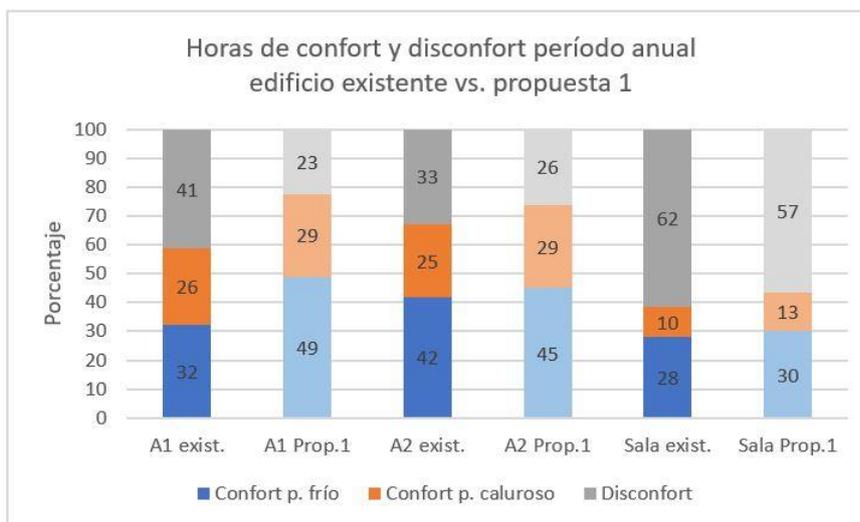


Gráfico 30 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 1.

El balance térmico resultante muestra una leve disminución global de la energía transferida a través de la envolvente, respecto a la situación existente. Esta disminución es del orden del 6%.



Gráfico 31 - Balance de energía edificio Escuela 30 con aberturas modificadas.

Disminuye la transferencia anual por acristalamiento en 16%, conjuntamente con la producida a través de los muros, que desciende un 10%. El resto de los valores no tiene una variación significativa.

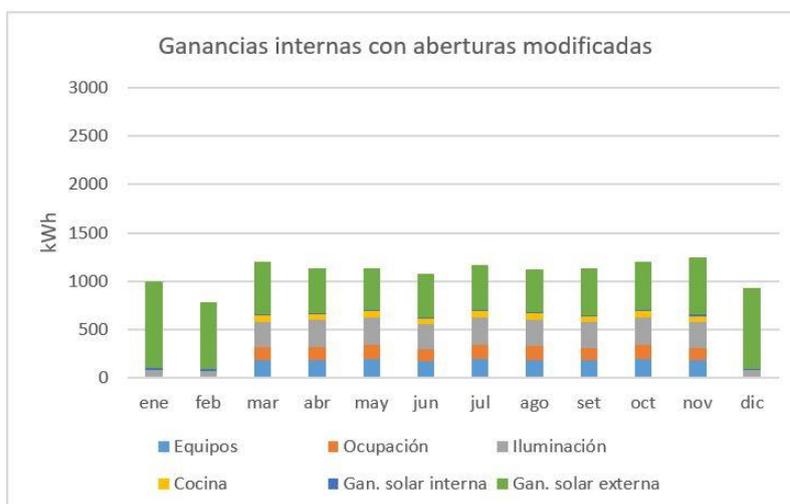


Gráfico 32 - Ganancias internas por tipo en edificio escuela 30 con aberturas modificadas.

Respecto a las ganancias internas, hay un incremento del 18% en las reflexiones internas, debido principalmente por la aplicación de la estrategia en las aberturas de las aulas 2 y 3. Se aprecia una disminución global de las ganancias solares externas en el orden del 20%. En cuanto a los consumos, no hay variación pues se simula con cargas y programaciones fijas.

Iluminación

Se realiza un estudio cualitativo de iluminación en el Aula 2, con la herramienta Daylight Visualizer. La herramienta tiene limitaciones para representar la solución de los estantes propuestos para las aberturas situadas al Norte, por lo que se utilizan aberturas similares a las existentes. Igualmente es útil para visualizar el comportamiento general del local con la reducción de aberturas en fachada Sur. Se simula con día soleado para todos los casos y para un plano de trabajo a 0,70 m. Con las aberturas existentes, el nivel de iluminancia se mantiene dentro de lo adecuado para iluminación general de aulas (300 lx)²⁷.

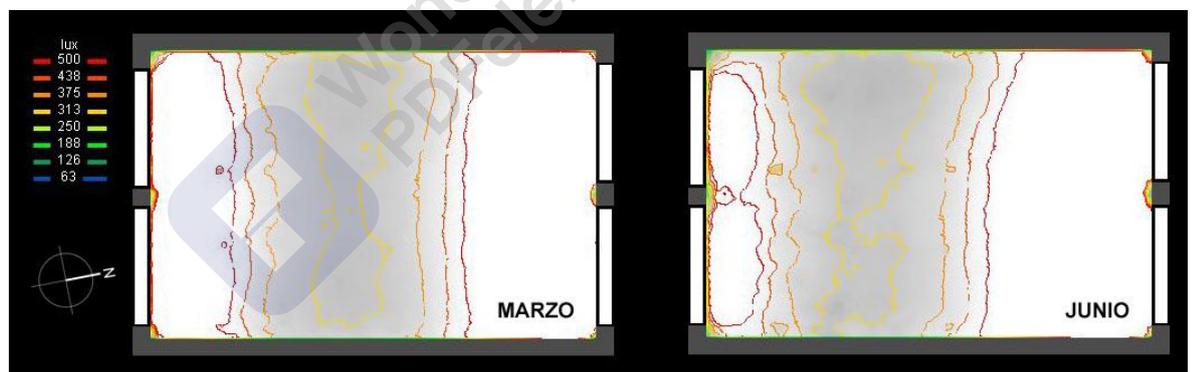


Figura 34 - Iluminancia sobre plano de trabajo Aula 2 con aberturas existentes Escuela 30.

Sin embargo, la reducción de aberturas, causa una disminución de la iluminancia en el centro del aula con valores en el orden de los 200 lx.

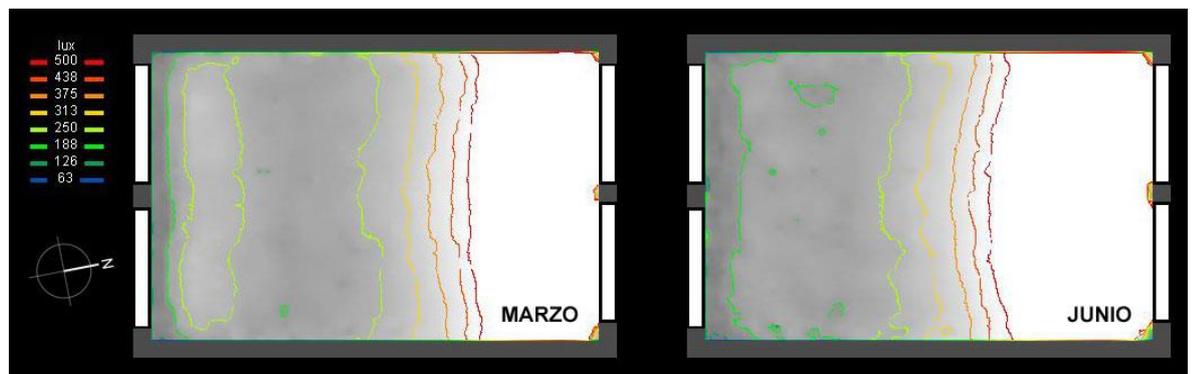


Figura 35 - Iluminancia sobre plano de trabajo Aula 2 con aberturas modificadas Escuela 30.

5.2.2. Propuesta 2 – Cubierta aislada en sector de edificio original.

Los resultados de confort tomando globalmente los tres locales, son prácticamente iguales a los de la propuesta 1.

Sin embargo, considerándolos por separado, se aprecia que los porcentajes de mejora en el Aula 1 y en la Sala para el período frío, son idénticos, alcanzando ambos el 25% respecto a la situación actual. En los tres locales, el confort en el período caluroso se mantiene prácticamente invariable.

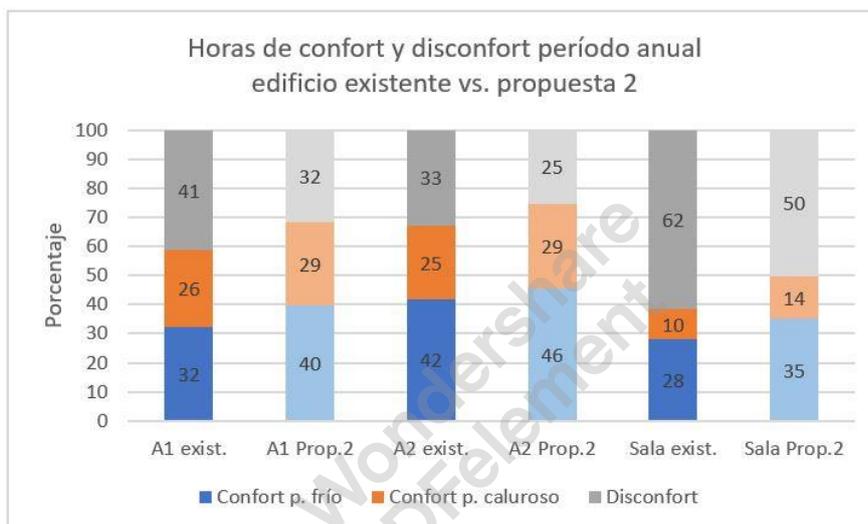


Gráfico 33 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 2.

La transferencia global de calor del edificio, al aplicarse esta estrategia, es un 7% menor que la situación actual y apenas un 1% por debajo de la propuesta 1. Desglosada por cerramiento, representa una mejora del 25% en la cubierta, manteniéndose invariable en el resto de los cerramientos.

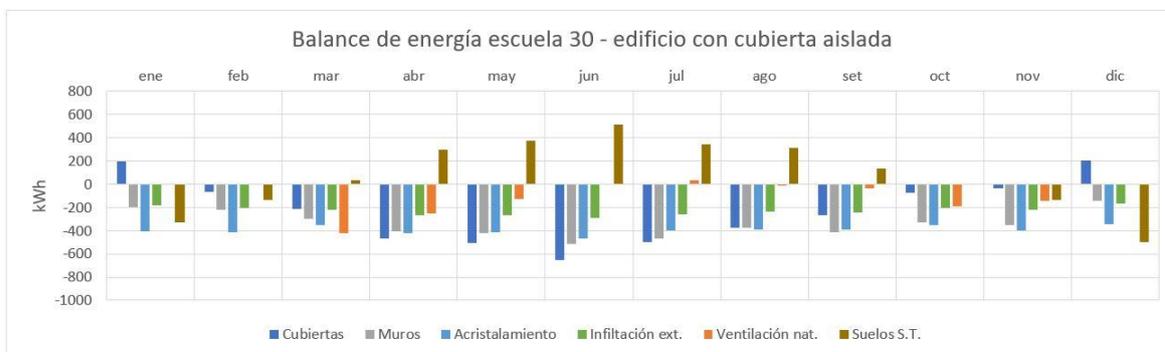


Gráfico 34 - Balance de energía edificio escuela 30 con cubierta aislada.

5.2.3. Propuesta 3 - Cubierta aislada en sector de edificio original y aberturas exteriores modificadas.

Se combina la aplicación de las estrategias de las propuestas anteriores. Tomando el conjunto de locales, se aprecia una leve disminución en los porcentajes de mejora del confort ante las propuestas por separado, pero manteniéndose los valores dentro del mismo orden.

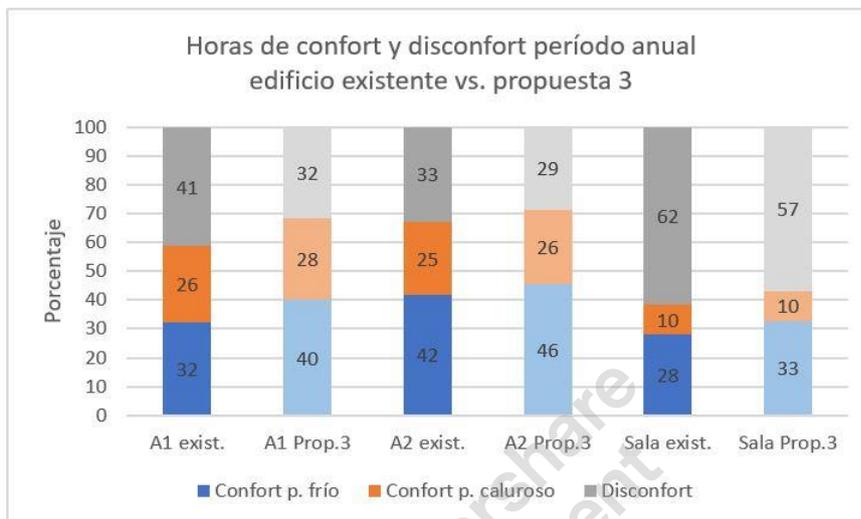


Gráfico 35 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 30 con propuesta 3.

Respecto al balance, el resultado de transferencia global de energía es 11% menor a la situación actual. El comportamiento por cerramiento, también comparado con el edificio actual, muestra una disminución de transferencia por cubierta del 24%, mientras que por acristalamiento la disminución es del 13%. El resto de los valores se mantiene en el mismo orden.



Gráfico 36 - Balance de energía edificio escuela 30 con aberturas modificadas y cubierta aislada.

5.3. Estrategias propuestas para Escuela 45

5.3.1. Estudio de aberturas – Propuesta 1

Los resultados de la simulación del edificio existente (punto 4.3.7) con una tasa de infiltraciones uniforme, muestran a nivel global una gran influencia de dichas infiltraciones en el comportamiento térmico del edificio.

Dada la gran cantidad de aberturas que tiene la envolvente, se proponen aberturas de aluminio con buena estanqueidad y ruptura de puente térmico para todo el edificio en reemplazo de las existentes de hierro. La parte opaca de puertas exteriores, contiene aislación térmica entre las placas interior y exterior. No se aplica el recurso de los estantes en aberturas al norte, dado que el canalón colector de aguas de lluvia sirve de alero para control de la radiación solar en el período caluroso. Analizando los locales representativos por separado, se aprecia que el Pasillo es responsable de un porcentaje alto de las pérdidas por infiltración (Gráfico 22). Por ello se propone una reducción del área vidriada del extremo Este, manteniendo una puerta de salida y una adecuada iluminación. En la Administración se procede de igual manera, reduciendo el área vidriada y manteniendo las puertas de acceso.



Gráfico 37 - Balance de energía Escuela 45 con aberturas modificadas

Esta solución tiene una reducción en las pérdidas por infiltración del 43% respecto al edificio original, aunque sin variaciones de importancia en el resto de los parámetros.

En relación al confort, esta propuesta no aporta mejoras significativas, como se muestra en el Gráfico 38.

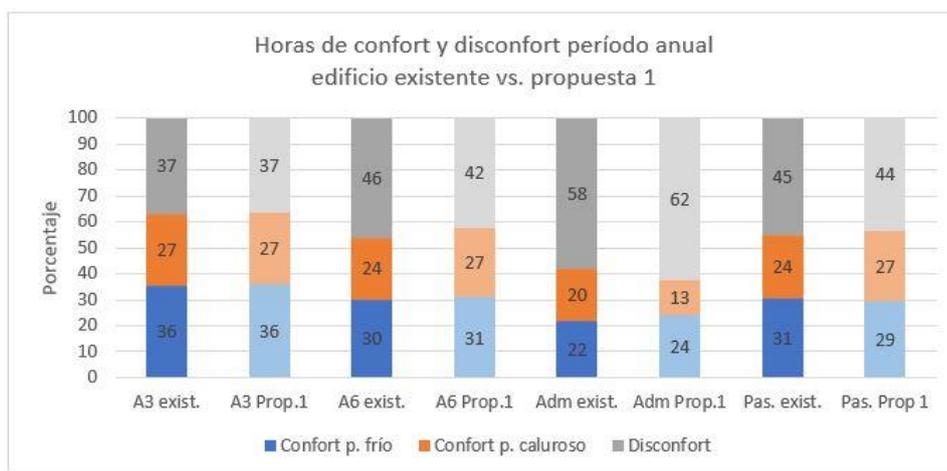


Gráfico 38 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 45 con propuesta 1.

5.3.2. Aislación térmica en cubierta y aberturas modificadas – Propuesta 2.

De acuerdo a lo observado en la simulación del edificio existente, la cubierta presenta transferencias de energía altas, por lo que se propone sumar a la estrategia del punto 5.3.1 una solución similar a la de la Escuela 30 (Figura 32).

Desde el punto de vista del balance de energía, esta propuesta reduce un 65% las transferencias por cubierta, representando a nivel global del edificio una reducción de transferencia de energía por la envolvente del 36%.



Gráfico 39 - Balance de energía Escuela 45 con aberturas modificadas y cubierta aislada.

En aspectos de confort, la propuesta 2 tiene aportes significativos, permitiendo mejorar la situación actual en la mayoría de los locales representativos. Para el período frío, esta mejora está en el orden del 10%, mientras que para el caluroso los valores se aproximan al 6%. Esto significa una reducción del desconfort en el orden del 17% (Gráfico 40).

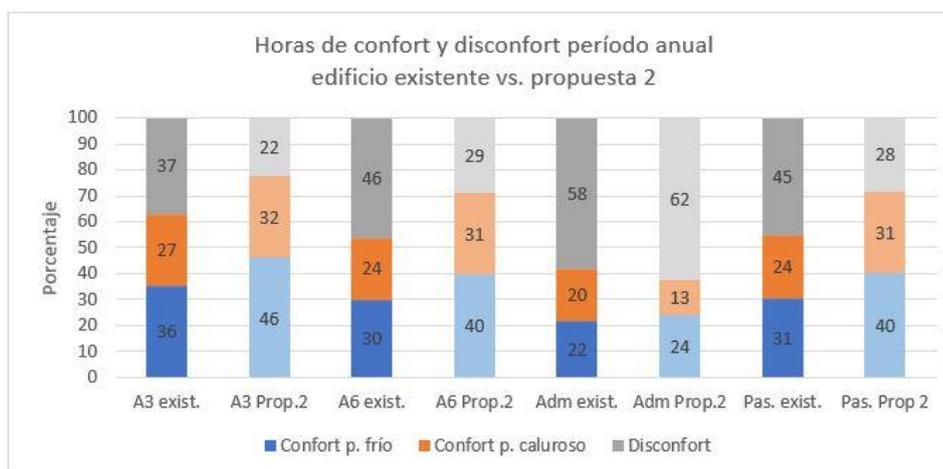


Gráfico 40 - Porcentaje horas de confort en locales Escuela 45 con propuesta 2.

5.3.3. Dispositivos pasivos complementarios

Los servicios higiénicos para el alumnado de la Escuela 45 se encuentran concentrados sobre el extremo Este del edificio. Los mismos carecen de agua caliente sanitaria, por lo que es adecuado contar con un dispositivo solar para obtener una mejora.

En este caso, un calefactor solar térmico afectaría visualmente al edificio, teniendo además la dificultad de instalación, perpendicular a los ejes de bóvedas. Se propone la colocación -acompañando la forma de la cubierta- de mantas calentadoras de agua, utilizadas para piscinas. Si bien éstas se conectan normalmente en serie al circuito de agua, puede dotarse al sistema de un tanque aislado, colocado en el valle de las bóvedas extremas y sobre la línea media del edificio, disimulando su presencia. Ambas posibilidades, mantas en serie o mantas con acumulación en tanque, pueden ser consideradas como una mejora en el confort de los sanitarios. Este tipo de soluciones puede calificar al edificio como un dispositivo didáctico-pedagógico en sí mismo, pudiendo los alumnos experimentar estos recursos y trabajarlos en los conceptos curriculares de eficiencia energética y cuidado ambiental.

6. Conclusiones

Mediante la evaluación de edificios del Plan Bicentenario en las condiciones actuales, este trabajo muestra que las mismas permiten la aplicación de mejoras para llevar las condiciones de confort de sus usuarios a niveles aceptables.

Las escuelas rurales de la zona climática IIb de Uruguay, se encuentran generalmente alejadas de los centros de abastecimiento de materiales y servicios, mostrando carencias en el mantenimiento edilicio.

Si bien la gran mayoría de los edificios cuenta en la actualidad con servicio de energía eléctrica, los problemas de alejamiento citados tienen influencia sobre una posible solución que considere equipamiento complementario complejo.

Considerando este contexto, se plantean propuestas de mejora clásicas, de ejecución sencilla -acorde al espíritu que originó estos edificios- y durables en el tiempo, manteniéndose dentro de las estrategias que posibilita el acondicionamiento natural. Un aspecto cuidado para la elección de alternativas, fue el mantenimiento de la forma característica de estos edificios y su espacialidad interna, considerados valores importantes en los mismos.

Escuela rural 30 – Laureles

La modificación de aberturas, tiene un buen resultado sobre el aspecto térmico del edificio, principalmente sobre el local más comprometido que es el Aula 1, y que forma parte de la construcción original. Respecto a la iluminación natural, esta propuesta provoca un descenso de los niveles de iluminancia en el sector central y Sur de las aulas, principalmente en el período frío.

La aislación de cubierta en el sector original del edificio, resulta en un adecuado complemento a la solución anterior, reforzando el confort térmico tanto en el Aula 1 como en la vivienda.

El estudio de las temperaturas medias del edificio, es útil para evaluar la aplicación de propuestas combinadas. La situación existente tiene mayores problemas en el período caluroso y en los meses más fríos se acerca más a la temperatura exterior. En el Gráfico 41 se aprecia la uniformidad de la temperatura operativa interior respecto a la temperatura exterior. Esto se traduce en mayor confort para los usuarios.

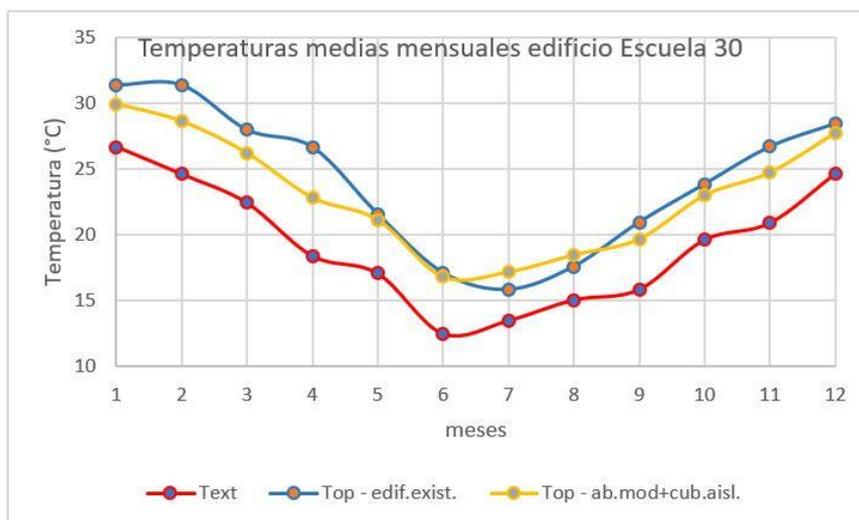


Gráfico 41 - Temperaturas medias mensuales edificio Escuela 30 con propuestas combinadas.

Escuela rural 45 – Garibaldi

La aplicación de estrategias bioclimáticas combinadas es necesaria en este edificio. La solución de cambio de tipo de aberturas, no incide por sí sola en los valores de confort, aunque resuelva el problema de las infiltraciones.

Sin embargo, esta solución se potencia al aplicar la segunda propuesta, aislando la cubierta, logrando un sustancial aumento del confort. La combinación de soluciones permite alejar la curva de temperatura media operativa mensual, de la temperatura exterior en los meses lectivos.

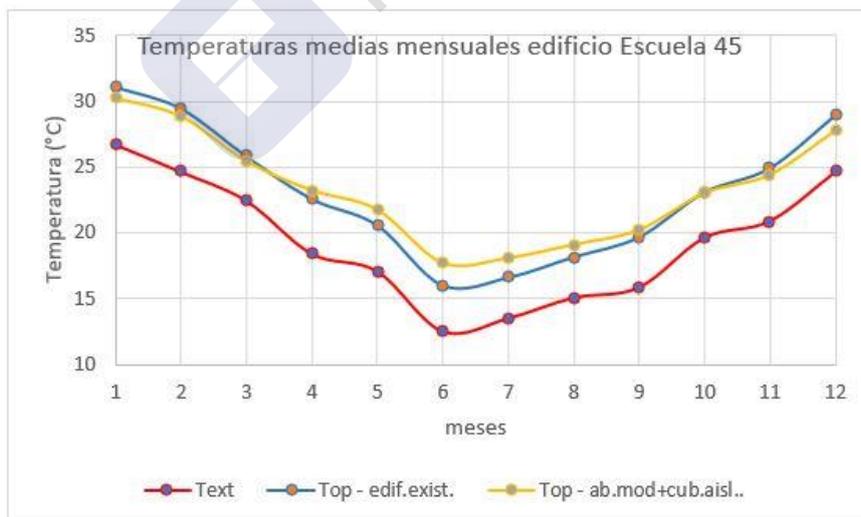


Gráfico 42 - Temperaturas medias mensuales edificio Escuela 45 con propuestas combinadas.

Energía total transferida por la envolvente

Este estudio no aborda la problemática económica al momento de sugerir propuestas de mejora en el confort, pero si presenta en términos de energía la influencia de esas mejoras.

Para ello se elaboran gráficos acumulativos, representativos de las principales transferencias de energía a través de los diferentes cerramientos exteriores, dependiendo de cada propuesta.

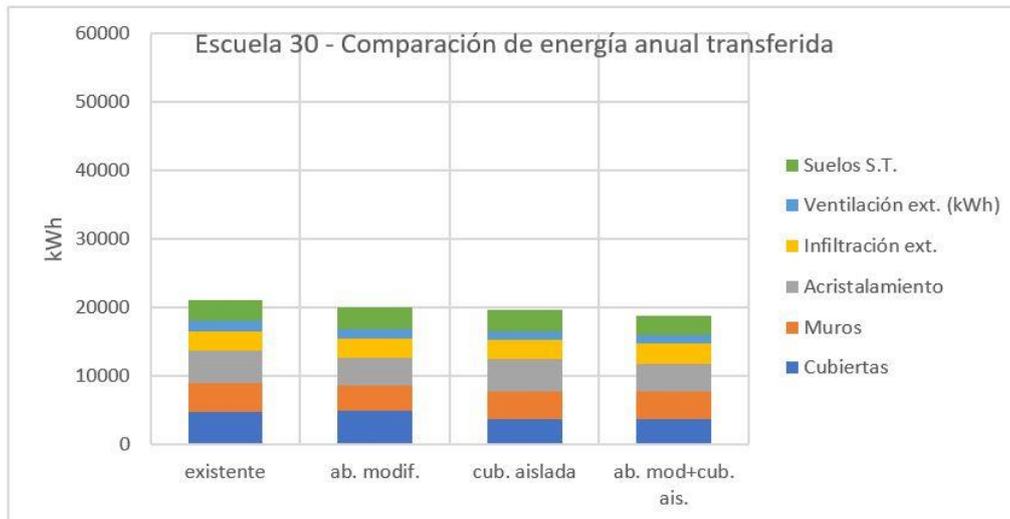


Gráfico 43 - Transferencia de energía por envolvente comparada para Escuela 30.

En la Escuela 30 se logra un descenso moderado en las transferencias de un 11% aplicando las mejoras combinadas. En la Escuela 45 los resultados mejoran sustancialmente, alcanzando una reducción del 35%.

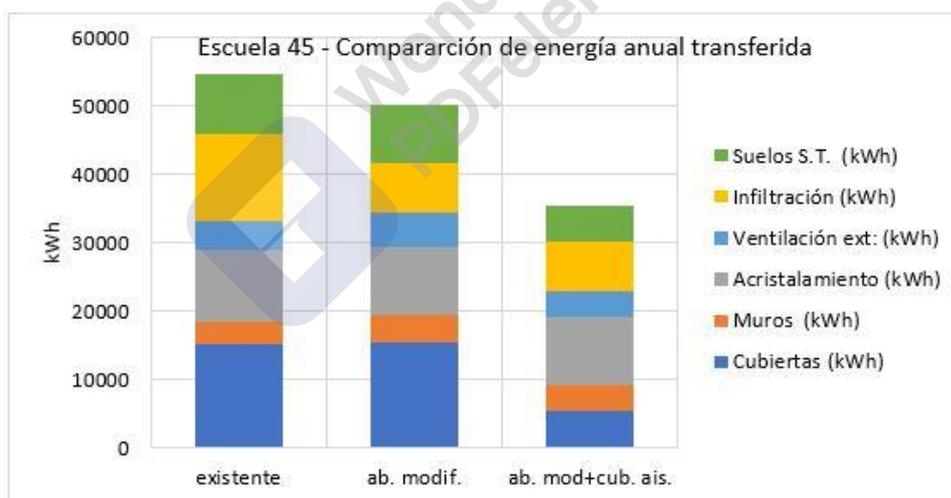


Gráfico 44 - Transferencia de energía por envolvente comparada para Escuela 45.

Esto muestra que, si bien los edificios del Plan Bicentenario tienen unidad tipológica y material, la aplicación de estrategias de mejora difiere de acuerdo a variables identificadas en este trabajo, como el tipo, forma y ubicación de las aberturas, la existencia de espacios de amortiguación como galerías, la orientación de los planos de fachada, la existencia de protecciones solares naturales o artificiales.

Esto hace necesario el estudio, al menos agrupando edificios muy similares en sus características, cuando no individualmente, para poder dar soluciones adecuadas a los requerimientos de sus ocupantes.

Líneas de investigación

De todo trabajo de investigación surgen interrogantes que permiten ampliar posteriormente el campo de conocimiento. Es así que se identifican como líneas de trabajo las siguientes:

- Profundizar en el análisis de las diferentes tipologías de escuelas e identificar estrategias de acondicionamiento pasivo tomadas en distintos momentos históricos. Relevar la existencia en el stock actual, de mejoras de ejecución sencilla, que indique su frecuencia de aplicación y sus efectos. Indagar sobre los motivos que llevan a utilizarlas o no, siendo que el usuario final es afectado por estas decisiones, que tomadas al momento del diseño significan un ahorro futuro importante y mejores condiciones de uso.
- Confort adaptativo para niños en edad escolar y para personas en el ámbito rural. En este trabajo se hizo una aproximación muy breve al tema, existiendo grandes posibilidades de actuación sobre el mismo. El uso del modelo estático de confort, aún imperante, tiene riesgos y consecuencias en lo ambiental, pues pretende generar situaciones alcanzables solamente con un alto costo energético. Es muy necesario en estos momentos de crisis climática, revisar estos paradigmas, y preguntarnos sobre la necesidad real de los niveles de confort impuestos. Los niños tienen mucho para enseñarnos sobre el particular.
- El edificio como recurso pedagógico. Este tema puede abordarse desde miradas interdisciplinarias mediante la formación de equipos de trabajo con profesionales de la educación, de aspectos medioambientales y desde la arquitectura. Relacionado con el punto anterior, y en el actual contexto de intervención de colectivos hasta ahora relegados en la toma de decisiones, cabe preguntarse si los alumnos pueden incidir en las propuestas de mejora a través de herramientas como talleres o concursos sobre la temática, los que utilizarían al edificio como recurso didáctico.
- Identificación de variables constructivas relevantes en edificios escolares y análisis paramétrico de las mismas. Actualmente se cuenta con herramientas muy potentes que permiten detectar los problemas en las

etapas tempranas de diseño, logrando productos eficientes a lo largo de su ciclo de vida.

- Profundización en el área de calibración de modelos para simulación. Se han encontrado dificultades para lograr un ajuste mayor a la realidad en este trabajo. Como ejemplo, cabe proponer la ampliación de conocimiento en temperaturas de suelos para su parametrización en simuladores.



Notas finales

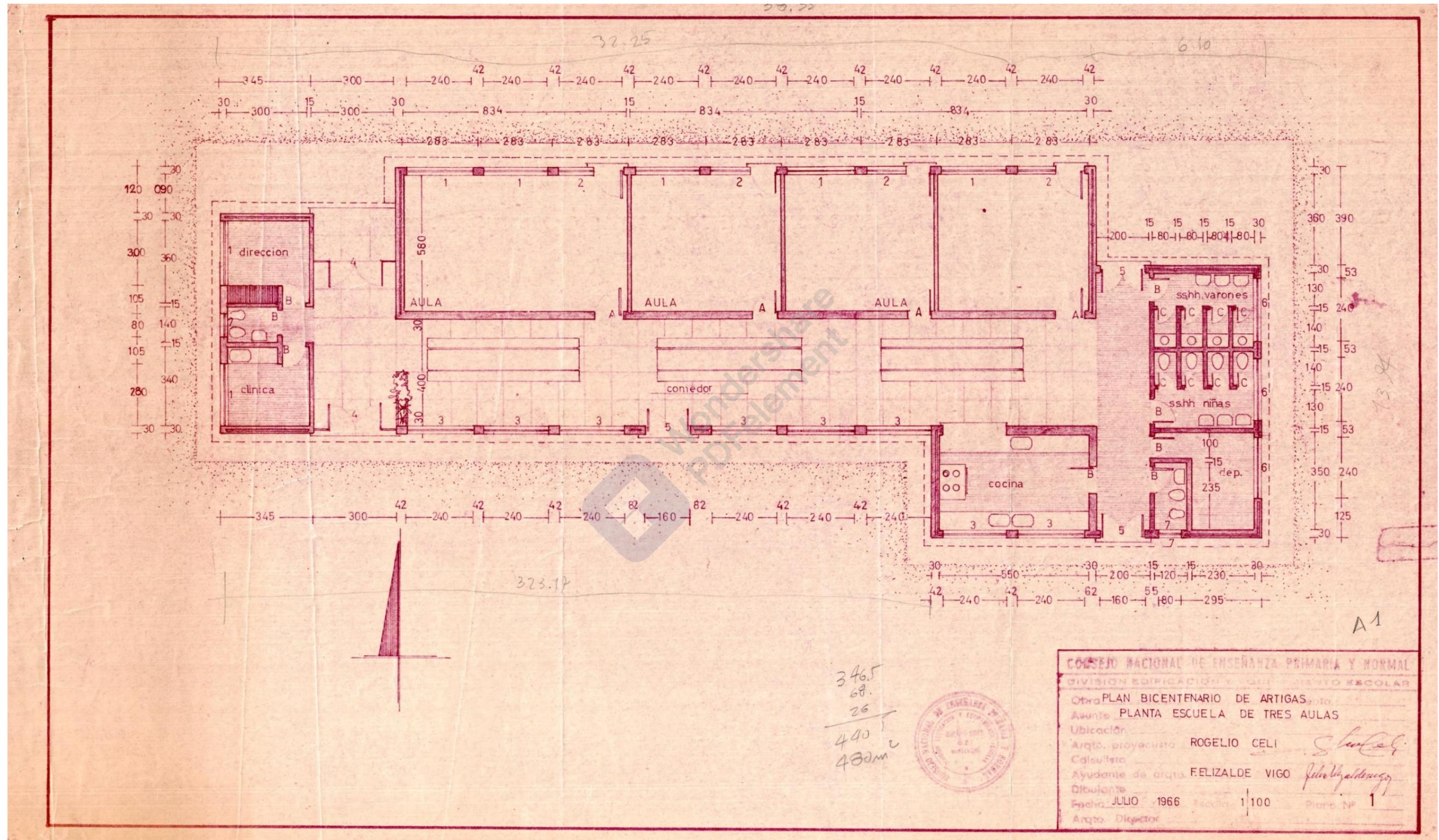
- ¹ Dieste y su aporte a la Educación Pública, el Plan Gallinal. Ministerio de Educación y Cultura, Dirección de Educación, 2016. <https://cultura.mec.gub.uy/innovaportal/v/86892/72/cultura/dieste-en-florida?parentid=81034> Consultado 03/10/2019.
- ² UNIT 1026:1999 Norma Aislamiento térmico de edificios. Zonificación climática, 1999. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.
- ³ Lagunamerín.net. <https://lagunamerin.net/portal/2016/09/06/3156/> Consultado el 05/12/2018.
- ⁴ L'œuvre de l'ingénieur Eladio Dieste, UNESCO. <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5596/> Consultado 03/06/2019.
- ⁵ Escuela 27 La Macana, Florida. <http://www.tvflorida.com.uy/?p=27161> Consultado: 18/11/2018
- ⁶ Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2024, ap. 5.2.5. Ministerio de Industria, Energía y Minería; Montevideo, agosto 2015.
- ⁷ Ley 13030 Cancelación del déficit de los organismos públicos. Ejercicio 1959. Artículo 3. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/13030-1961/3> Consultado 18/09/2019.
- ⁸ Sasson, Marcelo – entrevista personal; Montevideo, 28/11/2018.
- ⁹ MEVIR: <http://www.mevir.org.uy/index.php/18-transparencia/130-rese> Consultado el 05/12/2018
- ¹⁰ ASHRAE (2004) ANSI/ASHRAE Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. USA
- ¹¹ Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. Agencia Chilena de Eficiencia Energética, noviembre 2012.
- ¹² Trebilcock, M.; Soto, J.; Figueroa, R.; Piderit, M.. Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. Revista AUS, diciembre 2016.
- ¹³ Teli, D. et al. citado (34) en Trebilcock, M.; Soto, J.; Yañez, M.; Figueroa-San Martín, R. The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile, diciembre 2016.
- ¹⁴ Instituto de Historia de la Arquitectura, planos de construcción. Noviembre 2018.
- ¹⁵ Memoria descriptiva y constructiva prototipos escuelas Ley 13030. Dirección Sectorial de Infraestructura – ANEP, diciembre 2018.
- ¹⁶ Eladio Dieste 1943 – 1996. y Eladio Dieste, 1943-1996: métodos de cálculo. Dirección General de Arquitectura y Vivienda, Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla, Junta de Andalucía, 1996. ISBN: 84-8095-065-X.
- ¹⁷ UNIT 1026:1999 Norma Aislamiento térmico de edificios. Zonificación climática, 1999.
- ¹⁸ Departamento de Clima y Confort en Arquitectura. Curso de acondicionamiento térmico – Confort térmico, 2010
- ¹⁹ Tratamiento de datos climáticos para distintas localidades de Uruguay. Milicua y Picción, 2005
- ²⁰ Laboratorio de Energía Solar. Año meteorológico típico para Salto. <http://les.edu.uy/productos/amtues-2/> Consultado: 04/03/2019
- ²¹ Años meteorológicos 2017 y 2018 medidos con estación climatológica en predio del Laboratorio de Energía Solar, UdelaR. Febrero 2019.
- ²² Rivero, R; Aroztegui, M; Girardin, M; Musso, M. Repartido AT01, FARQ 1999, reimpresión 2002.
- ²³ Archivo de datos climáticos para EnergyPlus: URY_SA_Salto-Nueva.Hesperides.Intl.AP_863500_AMTUES.epw http://www.climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/URY_Uruguay/index.html Consultado: 01/08/2018
- ²⁴ Google Earth. Consultado en 2019. Coordenadas geográficas y orientación de los edificios.
- ²⁵ GPS Garmin eTrex 20x y Basecamp para obtención datos de altitud.
- ²⁶ ISO 9002:2016. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method.
- ²⁷ Girardin, María. Iluminación natural. Método de cálculo y conceptos fundamentales. CEDA, 1994.



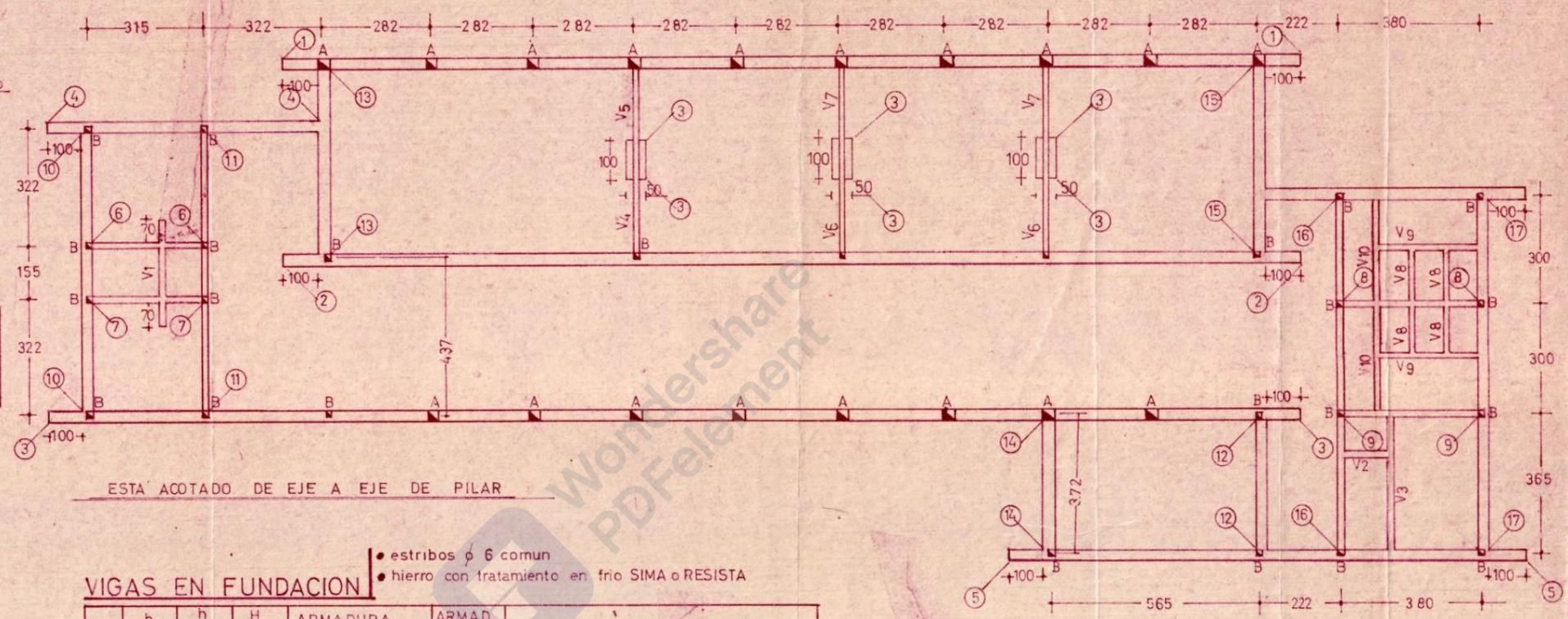
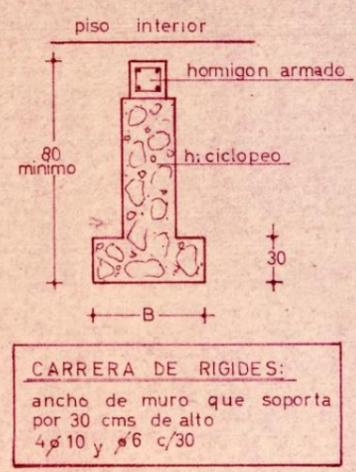
Anexos



Planos constructivos escuelas Plan Bicentenario



Plano CEPN 1 – Planta escuela de tres aulas.



FUNDACION	B en cms
1-1	45
2-2	55
3-3	50
4-4	40
5-5	40
6-6	35
7-7	35
8-8	40
9-9	40
10-10	40
11-11	45
12-12	50
13-13	50
14-14	45
15-15	50
16-16	45
17-17	45

VIGAS EN FUNDACION

- estribos ø 6 comun
- hierro con tratamiento en frio SIMA o RESISTA

Nº	b cms	h cms bajo losa	H cms total	ARMADURA		ARMAD. SUPERIOR ø	ø	RAMAS	separacion en cms	
				derecho	doblado				c/	ø' a
1	12	—	27	2 ø 8	2 ø 8	2 ø 6	6	2	c/18	ø' a 60°
2	12	—	19	2 ø 8	—	2 ø 6	6	2	c/25	—
3	12	—	42	2 ø 10	1 ø 10	2 ø 6	6	2	c/25	ø' a 60°
4	12	—	27	2 ø 8	2 ø 8	2 ø 6	6	2	c/22	ø' a 60°
5	12	—	27	2 ø 8	2 ø 8	2 ø 6	6	2	c/22	ø' a 60°
6	12	—	27	2 ø 8	2 ø 8	2 ø 6	6	2	c/22	ø' a 60°
7	12	—	27	2 ø 8	2 ø 8	2 ø 6	6	2	c/22	ø' a 60°
8	12	—	19	2 ø 8	—	2 ø 6	6	2	c/25	—
9	12	—	27	2 ø 10	1 ø 10	2 ø 6	6	2	c/21	ø' a 45°
10	12	—	42	2 ø 10	2 ø 10	2 ø 6	6	2	c/22	ø' a 60°

TODAS LAS VIGAS SE SUPONEN CON FONDO
LAS ALTURAS SON FUNCION DE TABLA ENTERA O 1/2 TABLA

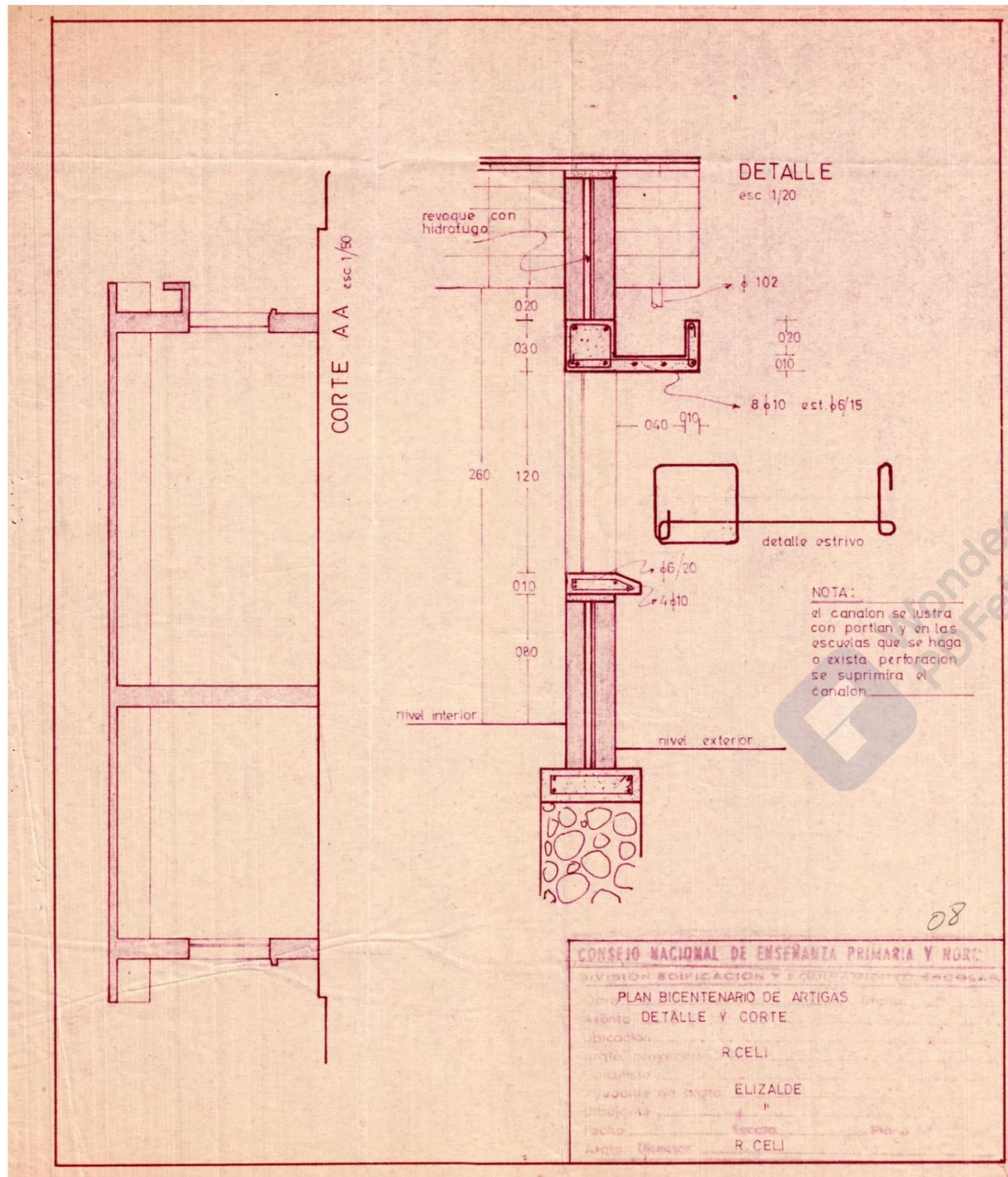
NOTA: carreras y pilares ø comun

FUNDACION PARA TERRENO DE COEFICIENTE DE TRABAJO MAYOR QUE: K_g/cm^2 0.75

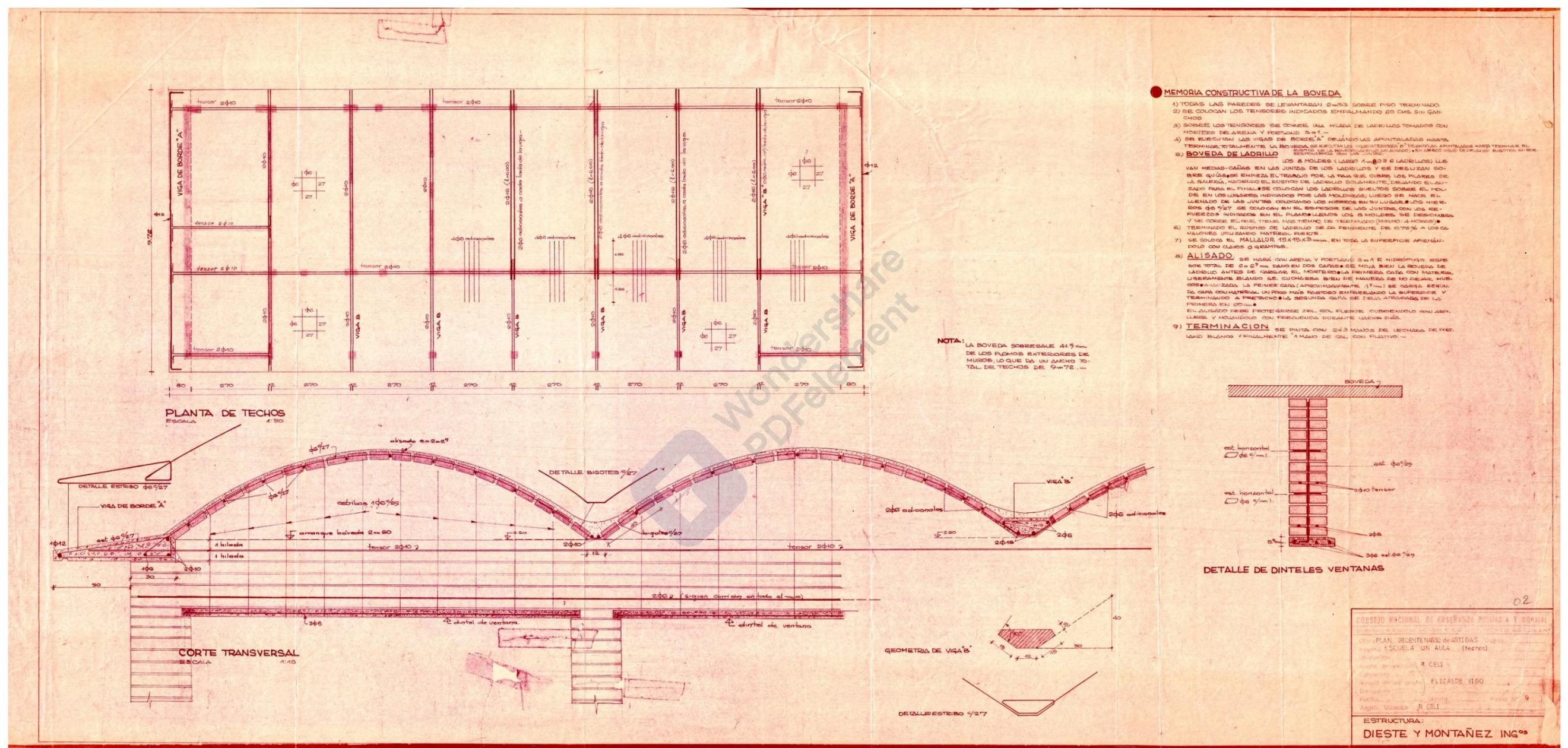


PLAN BICENTENARIO DE ARTIGAS
FUNDACION DIRECTA ESCUELA DE 3 AULAS
Diseñado por: ROGELIO CELI
Dibujado por: J.C. PATTETA
Revisado por: FELIZALDE VIGO
Fecha: JULIO 1966 Escala: 1/100
Hoja: 4

Plano CEPN 4 – Fundación directa escuela de tres aulas.



Plano CEPN 8 – Detalle y corte.



Plano CEPN 9 – Escuela un aula. Techos.

Planillas de datos para simulaciones en Design Builder

Cerramientos Escuela rural 30 - Laureles

Plantilla de cerramientos	Cerramiento	Nombre	Capas (E --> I)	Espesor (m)
Plantilla cerramientos E30	Muros exteriores	Muro proyecto original	Ladrillo de campo	0,125
			Cámara de aire no ventilada vertical no metálica	0,05
			Ladrillo de campo	0,125
	Cubiertas planas	Losa cerámica armada doble	Aluminio sucio	0,0001
			Asfalto	0,004
			Ladrillo de campo	0,055
			Mortero interior	0,03
			Ladrillo de campo	0,055
			Mortero interior	0,01
	Cubiertas inclinadas ocupadas	Bóveda cerámica armada doble	Cubierta rejillones	0,174
	Cubiertas inclinadas desocupadas	Bóveda cerámica armada doble	Cubierta rejillones	0,174
	Techos semi expuestos	Llanoide	Mortero exterior	0,05
	Particiones internas	Muro interior revocado	Mortero interior	0,015
Ladrillo de campo			0,125	
Mortero interior			0,015	
Suelo sobre terreno	Suelo simple (H+M+B)	Mortero exterior	0,02	
		Ceramic/clay tiles- clay tiles	0,008	
Puertas exteriores	Puerta exterior madera maciza	Madera	0,035	
Puertas interiores	Puerta interior vivienda	Madera laminada	0,008	
		Air gap 20mm	0,02	
		Madera laminada	0,008	
Ground domain	Define ground domain Ground domain	2- Slab		
		Contrapiso mortero	0,08	
Plantilla de cerramientos	Cerramiento	Nombre	Capas (E --> I)	Espesor (m)
Plantilla cerramientos E30 reforma	Muros exteriores	Muro proyecto original	Ladrillo de campo	0,125
			Cámara de aire no ventilada vertical no metálica	0,05
			Ladrillo de campo	0,125
	Muros internos	Tablero estructura madera + placas MDF	Madera aglomerada Puentes: Alfajías madera 2" (13%)	0,018
	Cubiertas planas	Cubierta de reforma E30	Acero	0,0005
	Cubiertas inclinadas ocupadas	Cubierta de reforma E30	Acero	0,0005
	Techos semi expuestos	Isover 50	Lana de vidrio 50	0,05
			PVC	0,001
	Suelo sobre terreno	Suelo simple (H+M+B)	Cast concrete (dense)	0,1
			Mortero interior	0,02
Ceramic/clay tiles- clay tiles			0,008	
Puertas exteriores	Puerta exterior madera maciza	Madera aberturas	0,035	
Puertas interiores	Puerta madera aglomerada con vidrio	Madera aglomerada	0,008	
		Air gap 20mm	0,02	
		Madera aglomerada	0,008	
		Puentes: Vidrio simple común (16")		

Plantilla de cerramientos	Cerramiento	Nombre	Capas (E --> I)	Espesor (m)
Acristalamiento E30	Ventanas exteriores	Acristalamiento exterior E30	Vidrio simple común	
			Marcos aluminio	0,05
			Apertura (%)	45
			Profundidad exterior	0,25
	Marcos y divisores	Ventanas aluminio E30	División liviana	
Ancho	0,02			
Divisores horizontales	0			
Divisores verticales	1			
Proyección exterior	0,005			
Proyección interior	0,005			
Ancho del marco	0,05			
Proyección interior del marco	0,023			
Proyección exterior del marco	0,023			
Sombreamiento	Window shading	Cortinas tejido semi abierto liviano		
		Interiores		
	Programación	Horario aula E30 sin actividad		
Puertas exteriores	Operación	% apertura	50	
Puertas interiores	Operación	% apertura	50	
		% tiempo abiertas	5	
		Horario aula E30 con actividad		

Cerramientos Escuela rural 45 - Garibaldi

Plantilla de cerramientos	Cerramiento	Nombre	Capas (E --> I)	Espesor (m)
Acristalamiento E30	Ventanas exteriores	Acristalamiento exterior E30	Vidrio simple común	
			Marcos aluminio	0,05
			Apertura (%)	45
			Profundidad exterior	0,25
	Marcos y divisores	Ventanas aluminio E30	División liviana	
Ancho	0,02			
Divisores horizontales	0			
Divisores verticales	1			
Proyección exterior	0,005			
Proyección interior	0,005			
Ancho del marco	0,05			
Proyección interior del marco	0,023			
Proyección exterior del marco	0,023			
Sombreamiento	Window shading	Cortinas tejido semi abierto liviano		
		Interiores		
	Programación	Horario aula E30 sin actividad		
Puertas exteriores	Operación	% apertura	50	
Puertas interiores	Operación	% apertura	50	
		% tiempo abiertas	5	
		Horario aula E30 con actividad		

Plantilla de cerramientos	Cerramiento	Nombre	Capas (E --> I)	Espesor (m)
Plantilla cerramientos E45	Muros exteriores	Muro proyecto original	Ladrillo de campo	0,125
			Cámara de aire no ventilada vertical no metálica	0,05
			Ladrillo de campo	0,125
	Cubiertas planas	Cubierta_boveda_018	Asfalto con terminación reflectiva	0,004
			Mortero interior	0,03
			Ladrillo de campo	0,055
			Mortero interior	0,03
			Ladrillo de campo	0,055
	Cubiertas inclinadas ocupadas	Cubierta_boveda_018	Asfalto con terminación reflectiva	0,004
			Mortero interior	0,03
			Ladrillo de campo	0,055
			Mortero interior	0,03
			Ladrillo de campo	0,055
Cubiertas inclinadas desocupadas	Cubierta_boveda_018	Asfalto con terminación reflectiva	0,004	
		Mortero interior	0,03	
		Ladrillo de campo	0,055	
		Mortero interior	0,03	
		Ladrillo de campo	0,055	
Particiones internas	Muro interior revocado	Mortero interior	0,015	
		Ladrillo de campo	0,125	
		Mortero interior	0,015	
Suelo sobre terreno	Suelo simple (H+M+B)	Mortero exterior 1	0,02	
		Mortero interior	0,02	
		Ceramic/clay tiles- clay tiles	0,008	
Puertas exteriores	Puerta exterior madera maciza	Madera	0,035	
Puertas interiores	Puerta interior vivienda	Madera laminada	0,008	
		Air gap 20mm	0,02	
		Madera laminada	0,008	
Ground domain	Define groun domain Ground domain	2- Slab		
		Contrapiso mortero	0,08	

Iluminación Escuela rural 30 – Laureles

Local	Área (m ²)	Programación	Luminarias		Lámparas			Potencia luminaria (W)	Potencia total por zona (W)	Densidad de potencia (W/m ²)
			Cantidad	Tipo	Cantidad	Tipo	Potencia (W)			
Aula 1	66,7	Horario aula E30 con actividad	5	Suspendida	2	fluorescente	40,0	80,0	400	6,00
Aula 2	38,3	Horario aula E30 con actividad	4	Inserta	2	fluorescente	40,0	80,0	320	8,35
Aula 3	36,8	Horario aula E30 con actividad	4	Inserta	2	fluorescente	40,0	80,0	320	8,70
Sala	17,4	Horario Sala	1	Suspendida	2	fluorescente	40,0	80,0	80	4,60
Dormitorio	10,1	Horario Dormitorio	2	Rasante	1	fluorescente	15,0	15,0	30	2,99
Cocina	7,2	Horario Cocina	2	Rasante	2	fluorescente	18,0	36,0	72	10,00
Baño	2,8	Horario Baño	1	Rasante	1	fluorescente	15,0	15,0	15	5,36

Iluminación Escuela rural 45 – Garibaldi

Local	Área (m ²)	Programación	Luminarias		Lámparas			Potencia luminaria (W)	Potencia total por zona (W)	Densidad de potencia (W/m ²)
			Cantidad	Tipo	Cantidad	Tipo	Potencia (W)			
Administración	30,9	Horario admin E45	1	Suspendida	1	fluorescente	27,0	27,0	27	0,87
Aula 1	28,8	Horario aulas E45	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,04
Aula 2	28,8	Horario aulas E46	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,04
Aula 3	28,6	Horario aulas E47	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,05
Aula 4	29,2	Horario aulas E48	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,03
Aula 5	28,4	Horario aulas E49	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,06
Aula 6	27,8	Horario aulas E50	2	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	30	1,08
Baño Inicial	3,4		0		0	fluorescente	0,0	0,0	0	0,00
Baño NE	9,8		1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	1,52
Baño SE	9,6		1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	1,56
Baño Admin	4,3		1	Suspendida	1	fluorescente	23,0	23,0	23	5,39
Cocina	15,5	Horario cocina E45	1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	0,97
Depósito SE	3,4		1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	4,45
Depósito SO	10,8		1	Suspendida	1	fluorescente	40,0	40,0	40	3,71
Dirección	14,0	Horario aulas E50	1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	1,07
Dormitorio	13,7	Horario luz dormitorio	1	Suspendida	1	fluorescente	15,0	15,0	15	1,09
Pasillo	113,7	Horario ilum pasillo	7	Rasante	1	fluorescente	40,0	40,0	280	2,46

Actividad Escuela rural 30 – Laureles

Local	Área (m ²)	Actividad	W/persona	M	H	N	Total	Factor metabólico	Densidad ocupación	Programación	Fracción latente	CLO verano	CLO invierno
Aula 1	66,65	Light manual work	117	1	0	18	19	0,76	0,29	Horario actividad escolar	0,40	0,50	1,00
Aula 2	38,34	Light manual work	117	1	0	0	1	0,85	0,03	Horario actividad escolar	0,40	0,50	1,00
Aula 3	36,79	Light manual work	117	1	0	0	1	0,85	0,03	Horario actividad escolar	0,40	0,50	1,00
Sala	17,38	Standing/walking/Light office work	133	1	0	0	1	0,85	0,06	Horario sala	0,40	0,50	1,00
Dormitorio	10,05	Bedroom (dwelling)	90	1	0	0	1	0,85	0,10	Horario dormitorio	0,40	0,50	1,00
Cocina	7,20	Cooking	180	1	0	0	1	0,85	0,14	Horario cocina	0,60	0,50	1,00
Baño	2,80	Bedroom (other, cell etc)	100	1	0	0	1	0,85	0,36	Horario baño	0,60	0,50	1,00

Actividad Escuela rural 45 – Garibaldi

Local	Área (m²)	Actividad	W/persona	M	H	N	Total	Factor metabólico	Densidad ocupación	Programación	Fracción latente	CLO verano	CLO invierno
Administración	30,94	Standing/walking/Light office work	133	1	0	0	1	0,85	0,03	Horario admin E45	0,40	0,50	1,00
Aula 1	28,75	Light manual work	117	1	0	11	12	0,76	0,42	Horario aulas E45	0,40	0,50	1,00
Aula 2	28,78	Light manual work	117	1	0	9	10	0,76	0,35	Horario aulas E45	0,40	0,50	1,00
Aula 3	28,64	Light manual work	117	1	0	12	13	0,76	0,45	Horario aulas E45	0,40	0,50	1,00
Aula 4	29,17	Light manual work	117	1	0	19	20	0,76	0,69	Horario aulas E45	0,40	0,50	1,00
Aula 5	28,38	Light manual work	117	1	0	19	20	0,76	0,70	Horario aulas E45	0,60	0,50	1,00
Aula 6	27,83	Light manual work	117	1	0	11	12	0,76	0,43	Horario aulas E45	0,60	0,50	1,00
Baño Inicial	3,43			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Baño NE	9,84			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Baño SE	9,61			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Baño Admin	4,27			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Cocina	15,51	Cooking	180	3	0	0	3	0,85	0,19	Horario cocina E45	0,60	0,50	1,00
Depósito SE	3,37			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Depósito SO	10,79			0	0	0	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Dirección	14,00	Standing/walking/Light office work	133	1	0	0	1	0,85	0,07	Horario dirección E45	0,60	0,50	1,00
Dormitorio	13,72	Bedroom (dwelling)	90	1	0	0	1	0,85	0,07	Horario dormitorio	0,60	0,50	1,00
Pasillo	113,65	Eating/Drinking	110	9	0	89	98	0,76	0,86	Horario uso pasillo	0,60	0,50	1,00

Equipos eléctricos Escuela rural 30 – Laureles

Local	Área (m²)	Equipo	Programación	Consumo de potencia media (W)	Fracción radiante	Fu	Cantidad	Potencia total por equipo (W)	Potencia total por local (W)	Ganancias (W/m²)	Cons tot (W)	Frad (W)	Frad (%)	Frad tot (%)
Aula 1	66,7	Televisión	Horario aula E30 con actividad	56,0	0,60	0,10	1	5,6	18,6	0,3	164,0	33,6	20,5	27,1
		Router		8,0	0,10	1,00	1	8,0				0,8	0,5	
		Audio		100,0	0,10	0,05	1	5,0				10,0	6,1	
Aula 2	38,3			0,0	0,00	0,00	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Aula 3	36,8	PC de escritorio	Horario aula E30 con actividad	420,0	0,10	0,15	6	378,0	422,0	11,5	480,0	42,0	8,8	12,1
		Tabletas		20,0	0,40	0,20	9	36,0				8,0	1,7	
		UPS		40,0	0,20	0,20	1	8,0				8,0	1,7	
Sala	17,4	Heladera	Horario sala	100,0	0,45	0,40	1	40,0	126,0	7,2	320,0	45,0	14,1	39,5
		Freezer		170,0	0,45	0,30	1	51,0				76,5	23,9	
		Comunicaciones		50,0	0,10	0,70	1	35,0				5,0	1,6	
		Impresora		0,0	0,10	0,20	1	0,0				0,0	0,0	
Dormitorio	10,1			0,0	0,00	0,00	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Cocina	7,2	Horno	Horario cocina	1650,0	0,25	0,15	1	247,5	432,5	60,1	3500,0	412,5	11,8	20,8
		Jarra eléctrica		1850,0	0,17	0,10	1	185,0				314,5	9,0	
Baño	2,8	Calefón		1000,0	0,25	0,20	1	200,0	200,0	71,4	1000,0	250,0	25,0	25,0

Equipos eléctricos Escuela rural 45 – Garibaldi

Local	Área (m2)	Equipo	Programación	Potencia (W)	Fracción radiante	Fu	Cantidad	Potencia total(W)	Potencia total por local (W)	Ganancias (W/m ²)	Cons tot (W)	Frad (W)	Frad (%)	Frad tot (%)
Administración	30,94	Heladera	On 24/7	110,0	0,45	0,40	1	44,0	44,0	1,4	110,0	49,5	45,0	45,0
Aula 1	28,75	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	11	44,0	44,0	1,5	20,0	8,0	40,0	40,0
Aula 2	28,78	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	9	36,0	36,0	1,3	20,0	8,0	40,0	40,0
Aula 3	28,64	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	12	48,0	48,0	1,7	20,0	8,0	40,0	40,0
Aula 4	29,17	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	19	76,0	76,0	2,6	20,0	8,0	40,0	40,0
Aula 5	28,38	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	19	76,0	76,0	2,7	20,0	8,0	40,0	40,0
Aula 6	27,83	Tabletas	Horario aulas E45	20,0	0,40	0,20	7	28,0	28,0	1,0	20,0	8,0	40,0	40,0
Cocina	15,51	Horno microond.	Horario cocción alimentos E45	1400,0	0,10	0,10	1	140,0	390,0	25,1	4200,0	140,0	3,3	16,5
		Procesadora		1000,0	0,15	0,10	1	100,0				150,0	3,6	
		Eq. audio		300,0	0,10	0,50	1	150,0				30,0	0,7	
		Calefón		1500,0	0,25	0,40	1	600,0				375,0	8,9	
Depósito SO	10,79	Switch + UPS	On 24/7	400,0	0,20	0,30	1	120,0	120,0	11,1	1900,0	80,0	4,2	23,9
		Calefón		1500,0	0,25	0,20	1	300,0	375,0			19,7		
Dirección	14,00	Impresora	Horario dirección E45	100,0	0,10	0,20	1	20,0	55,0	3,9	150,0	10,0	6,7	10,0
		TV catódica		0,0	0,00	0,00	0	0,0				0,0	0,0	
		Eq. comunicac.		50,0	0,10	0,70	1	35,0				5,0	3,3	

Formulario encuesta confort.

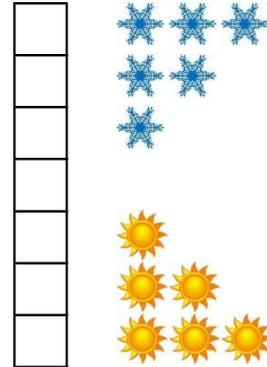
Escuela/Aula: /	Día:	Hora exacta:
-----------------	------	--------------

1. ¿Cómo SIENTES la temperatura del salón en este momento?

Muy fría <input type="checkbox"/>	Fría <input type="checkbox"/>	Un poco fría <input type="checkbox"/>	Agradable <input type="checkbox"/>	Un poco calurosa <input type="checkbox"/>	Calurosa <input type="checkbox"/>	Muy calurosa <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	----------------------------------	--	---------------------------------------	--	--------------------------------------	--

2. Coloca una X en la frase que te parece más apropiada:

- Me gustaría que el salón estuviese mucho más frío
- Me gustaría que el salón estuviese más frío
- Me gustaría que el salón estuviese un poco más frío
- Me gustaría que el salón estuviese igual
- Me gustaría que el salón estuviese un poco más caluroso
- Me gustaría que el salón estuviese más caluroso
- Me gustaría que el salón estuviese mucho más caluroso



3. En este momento ¿sientes que la temperatura del salón es agradable?

Si No

4. En este momento ¿estás usando más de una ropa debajo de la túnica?

Si No

5. En este momento ¿estás usando un abrigo encima de la túnica?

Si No

6. ¿Qué actividad estuviste haciendo antes de responder este cuestionario?

Sentado en clase  <input type="checkbox"/>	En clase de educación física  <input type="checkbox"/>	Corriendo en el recreo  <input type="checkbox"/>	Descansando en el recreo  <input type="checkbox"/>
---	---	--	---



Memoria descriptiva constructiva de escuelas Plan Bicentenario.

