



MONITORIZACIÓN, SIMULACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO LUMÍNICO DE UNA SALA DE CLASE EN ANTOFAGASTA

Massimo Palme (1); Katerine Saldías Moreno (2); Carla Segovia Ramos (2)

(1) PhD, Académico de Escuela de Arquitectura, mpalme@ucn.cl, Universidad Católica del Norte, Centro de Investigación en Arquitectura y Energía, Av. Angamos 610, Antofagasta, Chile, Tel. 0056 55 355188

(2) Estudiante de arquitectura, Universidad Católica del Norte, Escuela de Arquitectura

RESUMEN

Este artículo describe el proceso de reacondicionamiento de una sala de clase en Antofagasta, Chile. El clima es desértico costero, caracterizado por altos niveles de radiación solar (tanto directa como difusa), así como por valores muy altos de luminancia (alrededor de 12.000 lm/m² en un día despejado y más de 22.000 lm/m² en un día cubierto). Los edificios educacionales en Chile son bastante pobres en términos de eficiencia energética y confort, sin embargo agencias de gobierno como AChEE – Agencia Chilena de Eficiencia Energética están trabajando en el reacondicionamiento de esta tipología de espacios, por la importancia de los resultados de la educación en el previsto desarrollo del País. La Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte – UCN, está involucrada en las políticas y en la investigación en eficiencia energética. Como resultado de un proyecto de investigación interno, una sala de clase ha sido elegida como caso de estudio de monitorización y simulación buscando la optimización del comportamiento termolumínico. Los usuarios han sido involucrados a través de cuestionarios y monitorización de los resultados académicos después del reacondicionamiento. Las acciones de reacondicionamiento han sido seleccionadas por simulación computacional considerando la intensidad y distribución de la luz natural. El reacondicionamiento final está siendo ejecutado y los resultados esperados son una mejora del 50% en la calidad ambiental descrita con los parámetros considerados y una general satisfacción de los usuarios. Mejores resultados académicos de los usuarios son esperados como resultado secundario del proceso.

Palabras clave: luz natural, edificios educacionales, simulación y reacondicionamiento de edificios.

ABSTRACT

This paper discusses the retrofit process of a classroom located in Antofagasta midtown, in Chile. Climate is desert coast climate, characterized by high solar radiation levels (both beam and diffuse radiation), as well as very high sky luminance (about 12.000 lm/m² in the typical sunny day and more than 22.000 lm/m² in an overcast sky). Educational buildings in Chile are quite poor in terms of energy efficiency and comfort issues, but Government Agencies like AChEE – Chilean Agency for Energy Efficiency are working on the retrofit of this kind of spaces, because of the importance of education results on the predictable development of the Country. School of Architecture of the Catholic University of the North – UCN, is involved in the energy efficiency policies and research. As result of an internal research project, a case study classroom has been selected, monitored and simulated searching for the optimization of light and thermal performance. Users have been involved with questionnaires and educational results monitoring before the retrofit. Retrofit actions to take have been selected by computational simulation considering the intensity and distribution of light. Final retrofit is currently on-going and results expected are an improving of more than 50% in the ambient quality described with the considered parameters and a general satisfaction of final users. Better educational results of children are also expected as secondary result of the retrofit process.

Keywords: natural light, educational building, building simulation and retrofit.

1. INTRODUCCIÓN

Los edificios escolares son solamente una pequeña parte de los edificios construidos en todo el mundo, sin embargo son muy importantes debido al rol que juegan en la sociedad. Algunas investigaciones indican como los resultados académicos de los estudiantes están directamente relacionados con la calidad ambiental de los espacios en donde trabajan (Harner, 1974; Shaughnessy, 2006; USGBC, 2009). Además, el sistema educacional chileno ha sido muy discutido durante los últimos años, apareciendo necesario un período de transformación del mismo, atacando hasta sus más profundas raíces. Si los resultados académicos en Chile no cumplen con las expectativas, esto depende de un largo número de factores, como las familias, la televisión, los profesores y otros... Aun así, podemos asumir ciertamente que los espacios para la educación en promedio no cumplen con los requerimientos adecuados para las actividades de concentración y comprensión que se desarrollan en aula. Incluso en aulas de las Universidades, los alumnos sufren calor o frío dependiendo de la temporada, la luz natural es ausente o inadecuada, las características acústicas y de ventilación son absolutamente ineficientes. En este artículo se describe la intervención efectuada sobre una sala de clase de la Escuela de Arquitectura, localizada en el Campus de Antofagasta de la Universidad Católica del Norte. El reacondicionamiento se centró en los aspectos lumínicos, porque si bien la sala de clase seleccionada tiene también problemas de ventilación y sobrecalentamiento, pareció que la iluminación adecuada fuese el primer problema a resolver para permitir su utilización como aula.



Figura 1 – Fachada norte de la sala D101 seleccionada para reacondicionamiento

La figura 1 muestra la fachada norte de la sala seleccionada, aclarando porqué tiene problemas: el enorme ventanal está muy expuesto a la penetración solar, con las consecuencias inmediatas de sobrecalentamiento y exceso de luminosidad, que evidencian además los problemas de ventilación del aula. El problema de la radiación es seguramente el principal, ya que las características climáticas de la ciudad de Antofagasta son muy privilegiadas: las temperaturas son del orden de 18 - 22 °C durante todo el año, con variaciones diarias de no más de 5 °C, humedades relativas inferiores al 70% a pesar de estar al lado del mar (la humedad precipita rápidamente al alejarse de la primera línea ante la costa), cosa que hace suponer una buena sensación de confort en casi cualquier ambiente construido. Pero, si consideramos las características de transparencia de la atmosfera en esta zona del planeta, obtenemos valores de radiación al nivel del suelo de unos 200 W/m² en pro medio, durante todo el año, con picos de más de 1000 W/m² al mediodía.

2. OBJETIVO

Con el diagnóstico provisional de la situación ilustrado, se presentó un proyecto de investigación a la Vice Rectoría de Investigación y Desarrollo de la UCN. El objetivo del proyecto de investigación se fijó en monitorear, simular y reacondicionar la sala D101 para su utilización como espacio docente. En la fase de monitorización se estableció realizar también encuestas de satisfacción a los usuarios, para tener una valoración subjetiva del confort en el lugar. Asimismo, quedó comprometida la evaluación final del proceso de reacondicionamiento, siempre a través de encuestas, y además se previó la posibilidad de monitorear los avances en términos de resultados académicos de los alumnos que utilizan la sala de clase.

3. MÉTODO

La metodología propuesta se compuso de 4 fases: realización de encuestas, monitorización del estado actual, realización de simulaciones para guiar el proceso de reacondicionamiento, reacondicionamiento efectivo de la sala. Además, se procederá en futuro a las acciones de monitorización y encuesta post-reacondicionamiento para verificar bajo parámetros subjetivos y objetivos el conseguimiento de los resultados propuestos.

3.1. Encuestas a los usuarios

Los usuarios fueron los alumnos que típicamente utilizan la sala de clases, jóvenes de entre 20 y 25 años, hombres y mujeres, a los que se pidió responder a algunas preguntas tratando de expresar su juicio relativo a las condiciones del aula. Se pidió valorar una situación específica (en el día y hora de la encuesta, bajo las condiciones climáticas del momento, en un sector exacto de la sala), aunque evidentemente los usuarios conocían previamente el lugar y en algunas preguntas su “memoria valórica” debe haber pesado sobre la respuesta. Las respuestas se daban con elección entre unas opciones disponibles (en número de 2, 3 o 5 según tipología de pregunta). Las preguntas efectuadas fueron las siguientes:

- ¿Cómo crees que es el nivel de la iluminación natural dentro del aula?
- ¿Cómo está la luz natural distribuida en el aula?
- ¿Esta distribución que impresión te produce?
- ¿Se producen molestias visuales a lo largo del día en el aula?
- ¿Qué sensación te producen las ventanas?
- ¿Cómo es la iluminación que llega a la pizarra?
- ¿Cómo te sientes respecto al calor/frío en la sala?
- ¿Cómo te sientes respecto al color de las paredes?
- ¿Elegirías a esta sala para estudiar?

También se anotaron las condiciones del cielo en el día y hora de la encuesta y la posición relativa ocupada en la sala, para poder buscar una correlación entre los valores medidos con instrumentos y las respuestas subjetivas de los alumnos. Los datos se tradujeron a una especie de “voto medio” en términos de acercamiento a una buena visión definida como caso base “0” y distanciamiento de esta (casos “-2”, “-1”, “1” y “2”). No siempre se utilizó la escala de 5 valores, hubo preguntas en donde solamente se daba un valor absoluto de distanciamiento de la situación óptima. Habría que discutir, si el óptimo es una ausencia de estímulo (caso base “0”), y también que hay respecto a las variabilidades temporales del mismo, recordando las instancias de importantes reuniones científicas sobre confort (Fanger, 1970; Serra, 1995). Sin embargo, tratándose de salas de clase, resulta relativamente verdadero que existen unas condiciones óptimas, y también que no debe haber variabilidad de esas condiciones en el tiempo, eso es, en otras palabras, que el acto de “estudiar” es relativamente fácil de definir en términos de condiciones ambientales adecuadas.

3.2. Monitorización de la situación inicial

Para efectuar la monitorización del funcionamiento lumínico de la sala, se estableció medir siempre la iluminancia en un plano horizontal a una altura de 60 cm del suelo, correspondiente a las mesas de dibujo utilizadas por los alumnos en su actividad principal. La sala se dividió en cinco filas de cinco mesas, la separación entre filas es 1 metro y entre mesas de la misma fila es 80 centímetros (medición entre centros de las mesas). La pizarra se dividió en tres partes y se midió en el centro de cada una la iluminancia en plano vertical. El exterior también se midió para tener referencia. Las monitorizaciones se hicieron a cada hora del día, desde las 8 hasta las 20. También se hizo una medición de iluminancia generada por la luz artificial presente en la sala (dos filas de tres lámparas fluorescentes cada fila).

3.3. Simulación de escenarios

Los escenarios simulados debieron tener aplicabilidad en el reacondicionamiento real a efectuar, por lo que se hizo un estudio previo sobre las variables que se debieron simular y sobre los valores de sus variabilidades (screening). Resultó que lo más interesante a evaluar eran las respuestas a las intervenciones siguientes:

- Instalación de alero arriba del ventanal norte de la sala;
- Instalación de alero en el medio del ventanal norte;
- Instalación de cortina traslúcida en el interior;
- Variación de color de los aleros (blanco-gris).

Se simularon con Ecotect los escenarios descritos y sus combinaciones posibles, hasta llegar al resultado más uniforme y con niveles contenidos en las indicaciones bibliográficas consultadas. A este respecto, se señala que los textos consultados (Neila, 2006; Baker, 1993; Piderit, 2012) se recomiendan valores de iluminancia de 500 luxes, distribuciones uniformes, sin penetración solar directa, ni deslumbramiento directo o indirecto.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se presentan en el orden descrito en la metodología: encuesta a los usuarios, monitorización situación previa, simulaciones de las diferentes posibilidades de reacondicionamiento elegidas para ser testadas.

4.1. Encuestas a los usuarios

Los resultados de las encuestas realizadas mostraron que los usuarios tienen un juicio general bastante crítico respecto al lugar (más del 80% no utilizaría esa sala para estudiar de forma permanente), sin embargo no hay una correlación directa con la percepción lumínica, cosa que demuestra la dificultad de los entrevistados en determinar (aunque sea en términos puramente cualitativos) la entidad del fenómeno. Muchas encuestas señalan un problema con las ventanas, definidas como “molestas” en un 50%, cosa que detecta un problema con la distribución de la luz (por otra parte definida como “uniforme” en la pregunta relacionada) y con cierto deslumbramiento lateral que se hace presente a lo largo del día. Otro aspecto destacado es la falta de coloración de las paredes, percibidas como “demasiado blancas” por un 68% de los encuestados. Respecto a la sensación térmica, se denota cierta dispersión de los resultados, que indican el aula como “un poco calurosa” a “un poco fría” dependiendo muy fuertemente de la localización específica del encuestado además que de sus características metabólicas.

4.2. Monitorización lumínica

La monitorización se llevó a cabo en un día del mes de diciembre 2012, de 8 a 20, midiendo la intensidad de iluminancia en los puntos establecidos del retículo en el que fue subdividida la sala de clase. Las figuras reportan las intensidades a las 10, 12, 14, 16, 18 y 20 horas. La medición se efectuó a 60 cm desde el suelo en plano horizontal. El ventanal se encuentra a la derecha de la planta ilustrada y los valores de pizarra se midieron en plano vertical en el medio de la misma. El resultado general de la monitorización muestra una iluminación muy variable con la del exterior y una distribución absolutamente no uniforme en el interior: el gran ventanal norte permite una penetración lineal de luz (y en ciertas horas de sol directo) que ilumina los primeros dos metros de la sala en correspondencia de las ventanas. La cantidad de luz es demasiada, alcanzándose valores de 5000 luxes en proximidad de la ventana y obteniéndose los deseables 500 luxes solamente en la zona más alejada y solamente en cierto horario.

10 h		ext 16000 lux		
446	626	790	1298	2158
582	684	949	1565	2515
664	775	1097	1620	2545
731	803	1211	1613	2594
677	814	1029	1731	2530
	1336	1088	951	

12 h		ext 22500 lux		
620	878	1179	2117	4340
825	982	1448	2647	5105
823	1004	1550	2760	5404
973	1075	1840	2520	5180
1010	1208	1650	3204	5570
	1346	1584	2220	

14 h		ext 16000 lux		
415	541	672	1031	1630
530	583	766	1210	1900
608	676	903	1316	2075
680	730	1033	1348	2230
652	760	960	1530	2268
	928	1082	1302	

16 h		ext 10375		
493	610	678	935	1088
564	580	682	951	1253
610	619	769	987	1357
643	646	832	1001	1375
593	662	807	1168	1435
	862	1013	1243	

18 h		ext 6470		
276	318	350	660	792
325	328	384	515	656
341	336	418	547	734
375	366	467	534	752
367	385	455	673	801
	557	660	806	

20 h		ext 1410		
56	78	88	132	168
73	80	102	146	194
74	79	106	156	223
81	83	118	145	198
66	77	93	152	200
	94	113	145	

Figura 2 – Niveles de luz 6/12/2012 10 - 20 horas

4.3. Simulaciones por ordenador

Debido a las indicaciones obtenidas por la monitorización, se decidió simular las intervenciones que pudieran garantizar dos efectos: disminuir la cantidad de luz presente y hacerla más uniforme. Por ello se seleccionaron las estrategias aleros (repisas solares) y cortina (visillo) translúcida. La sala se modeló en Ecotect junto con su entorno más inmediato, como se percibe en figura 3.

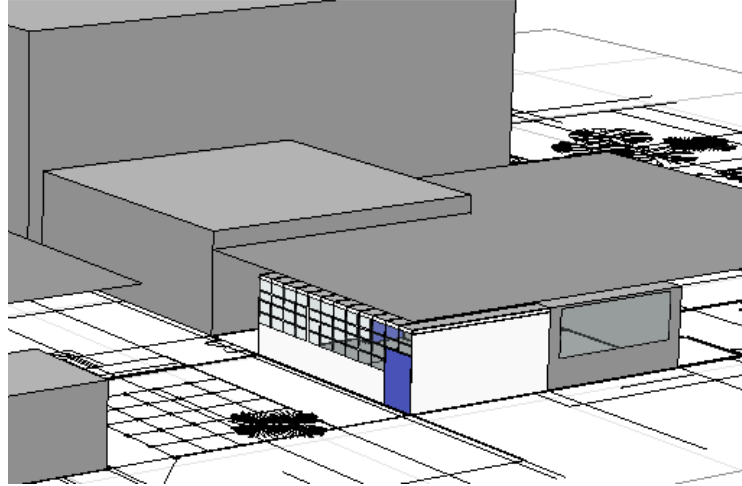


Figura 3 – modelo Ecotect de la sala D101 y su entorno

Las simulaciones se realizaron con la integración de los elementos físicos aleros y con modificación del factor de transparencia del vidrio para dar cuenta de la cortina. El valor de transmisión visible se fijó en 0.77 para el vidrio sencillo (estado actual) y en 0.4 para la situación cortina + vidrio. Los aleros se simularon de color blanco (reflexión 0.80) y de color gris (reflexión 0.5) en ambas caras. La figura 4 muestra los valores obtenidos para la simulación de la situación actual con cielo uniforme y luminosidad de 11500 lm/m².

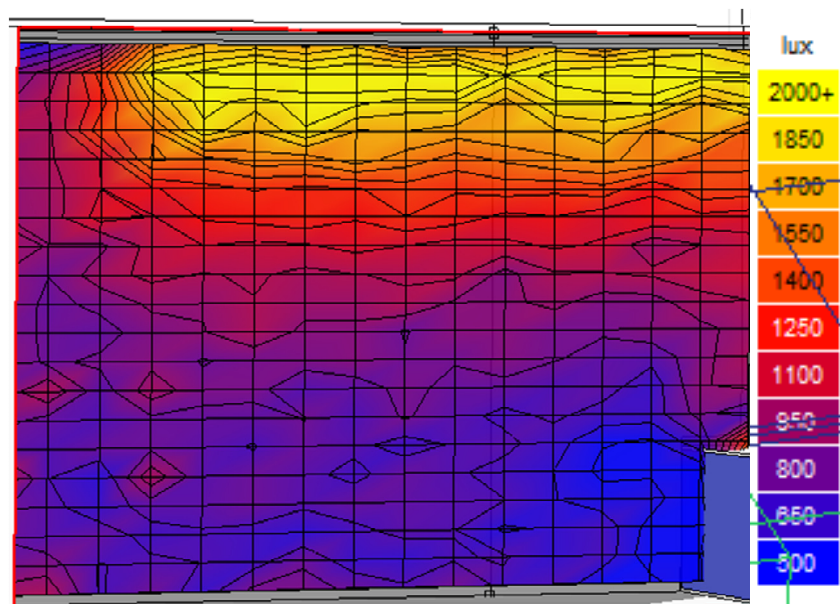


Figura 4 – resultados Ecotect para la situación actual con cielo uniforme 11500 lm/m²

Las figuras 5 – 9 muestran los valores alcanzado con cada una de las propuestas de reacondicionamiento por separado (alero arriba blanco, alero arriba gris, alero en medio blanco, alero en medio gris, cortina interior).

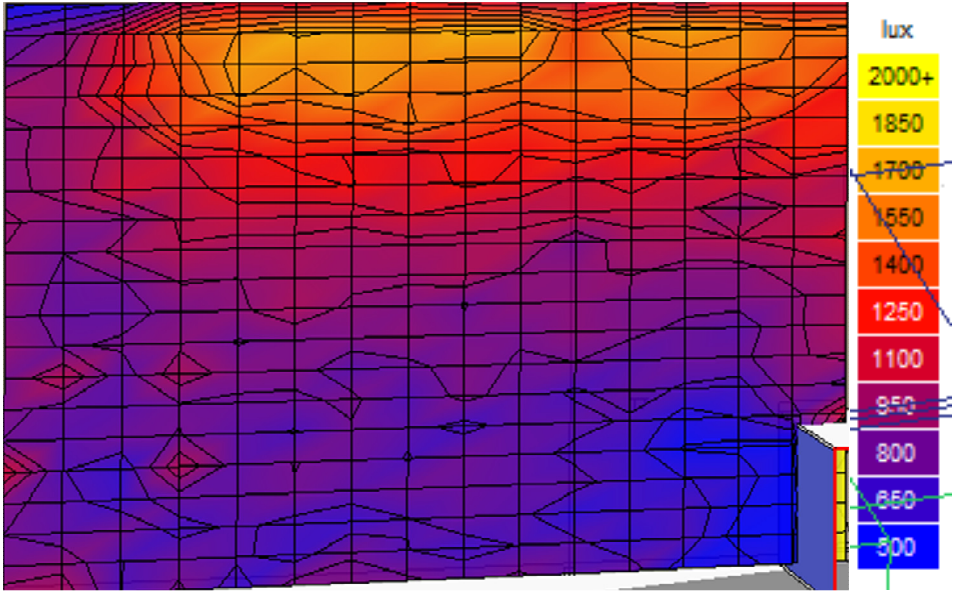


Figura 5 – resultados Ecotect para la provisión de alero inferior blanco con cielo uniforme 11500 lm/m²

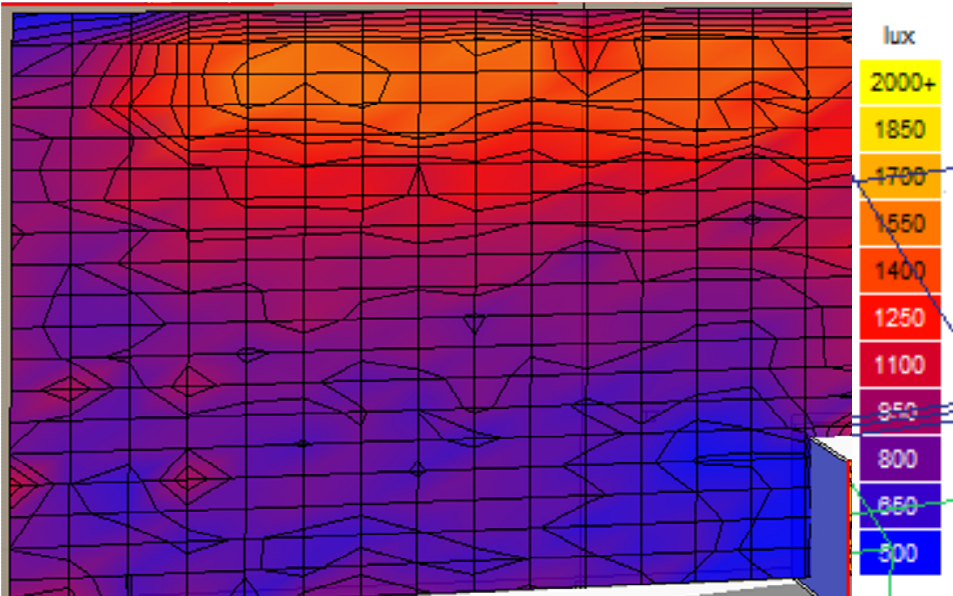


Figura 6 – resultados Ecotect para la provisión de alero inferior gris con cielo uniforme 11500 lm/m²

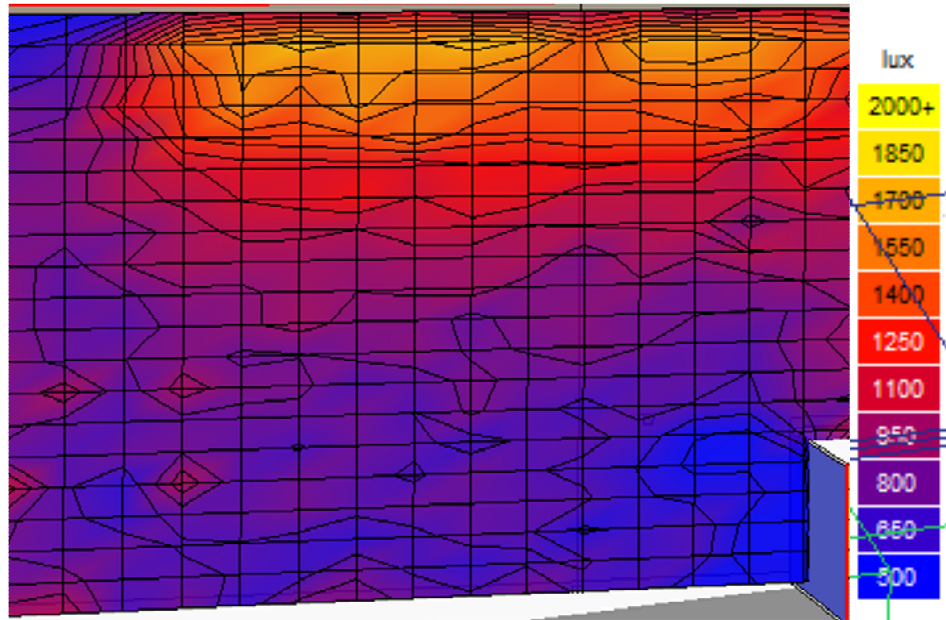


Figura 7 – resultados Ecotect para la provisión de alero superior blanco con cielo uniforme 11500 lm/m²

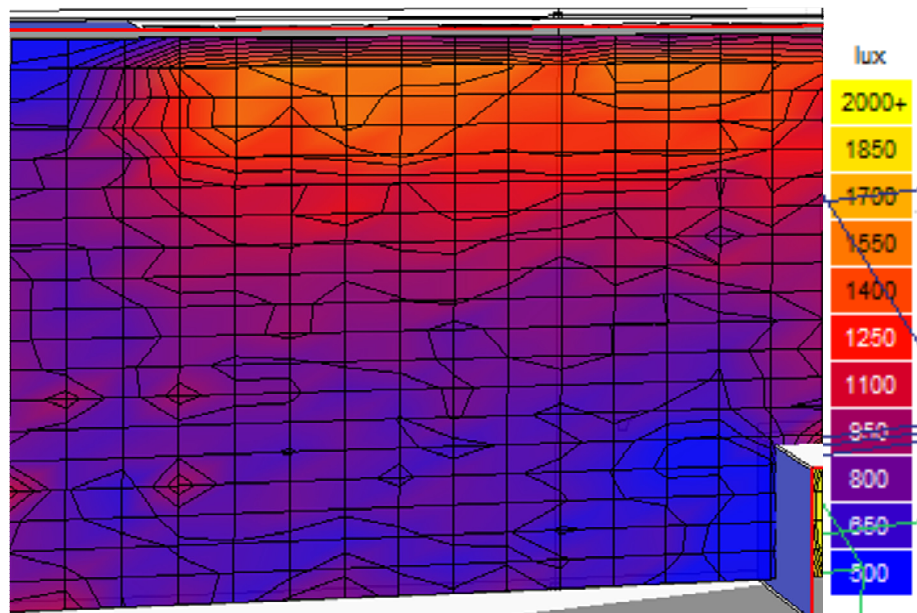


Figura 8 – resultados Ecotect para la provisión de alero superior gris con cielo uniforme 11500 lm/m²

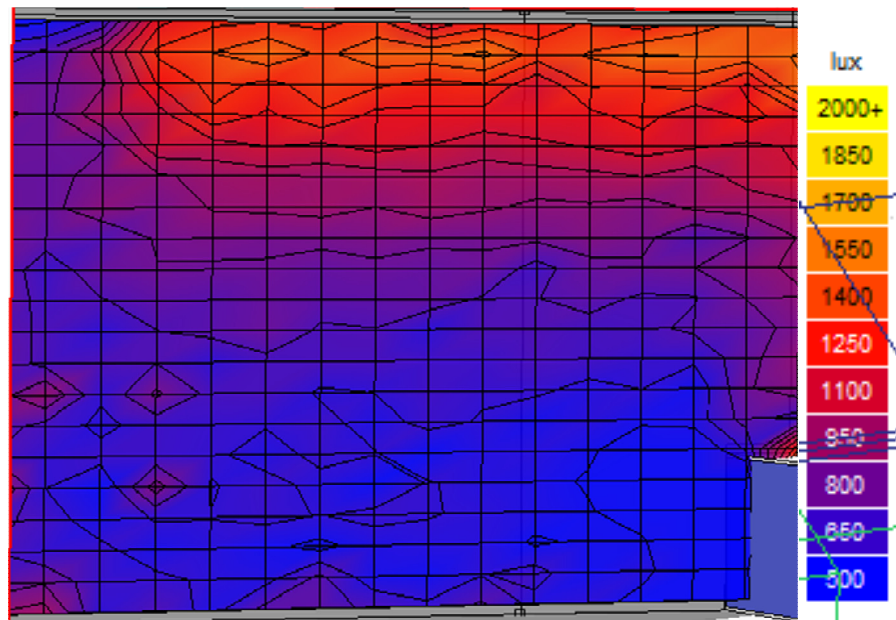


Figura 9 – resultados Ecotect para la provisión de cortina traslúcida con cielo uniforme 11500 lm/m²

El análisis de resultados muestra la relativamente poca incidencia del color de los aleros sobre las iluminancias registradas al interior. También se destaca la importancia de combinar el efecto del alero superior (protección de la zona inmediatamente detrás de la ventana) y del alero en el medio (distribuir la luz hacia el fondo). La utilización de la cortina aparece imprescindible para obtener la reducción de nivel general de luminosidad requerido. La figura 10 muestra los resultados de una simulación con el efecto combinado de los dos aleros grises. La figura 11 muestra la selección definitiva de las medidas a tomar, dada por la combinación aleros grises arriba y en el medio más cortina translúcida.

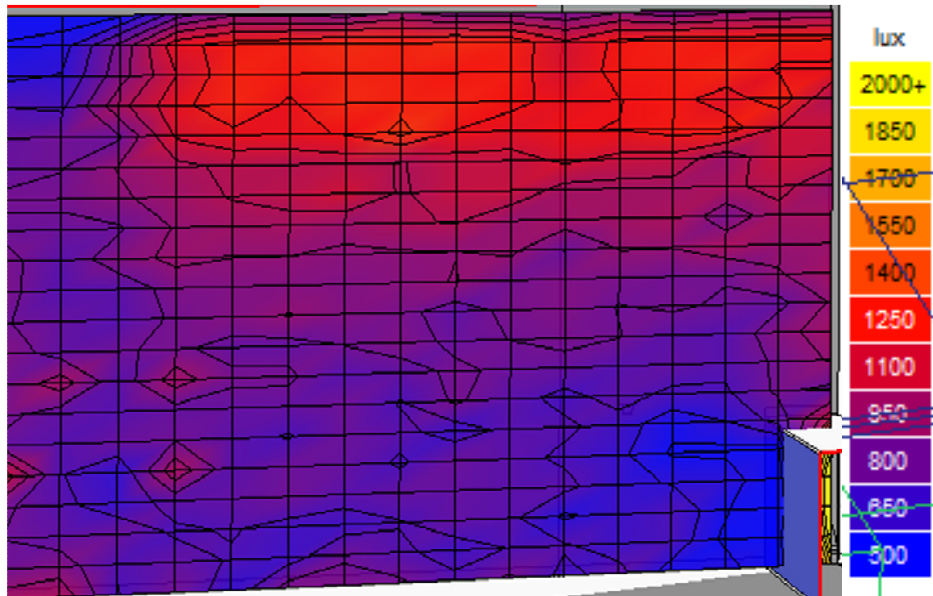


Figura 10 – resultados Ecotect para la provisión de dos aleros grises con cielo uniforme 11500 lm/m²

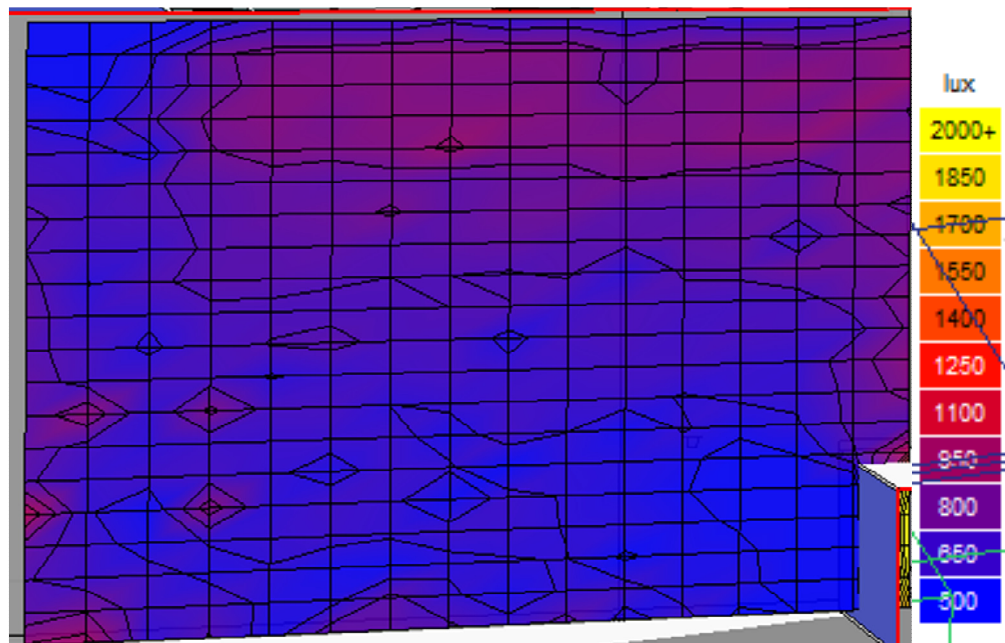


Figura 11 – resultados Ecotect para la provisión de dos aleros grises y cortina traslúcida con cielo uniforme 11500 lm/m²

5. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

El trabajo de monitorización y simulación de las posibles intervenciones sobre la sala de clase D101 han dejado en claro la necesidad de la instalación de aleros con la doble función de proteger las cercanías de la ventana y de contribuir en hacer la distribución de la luz más uniforme en el interior. Los altos niveles de luminancia del cielo hacen indispensable, además, la instalación de una cortina traslúcida para reducir los niveles general de iluminancia. La instalación de estos elementos ha llevado la sala de clase a niveles aceptables de confortabilidad lumínica y además el espacio se ha visto beneficiado en términos climáticos, reduciendo la probabilidad de sobrecalentamiento debido a la penetración solar directa. El impacto sobre la percepción subjetiva de los usuarios y sobre sus resultados académicos será objeto de investigación en el transcurso del 2013, para concluir con la investigación encargada. El resultado esperado es una mejora sustancial de la capacidad de concentración y trabajo en la sala, medible a través de la satisfacción de alumnos y docentes; además se esperan obtener resultados sobre el desarrollo de evaluaciones a los alumnos efectuadas en la sala para compararlas con las efectuadas antes del reacondicionamiento, estas últimas mostraban una tasa de aprobación de un 70% que se espera poder subir hasta un 80%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- HARNER, D. P. (1974) Effects of thermal environment on learning skills. *The Educational Facility Planner*, 12(2), 4-6.
- SHAUGHNESSY, R., HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U., NEVALINEN, A., MOSCHANDREAS, D. (2006) A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. *Indoor Air* 16(6), 465-468.
- USGBC (2011) LEED 2009 for schools new construction and major renovations. Retrieved from <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=887>
- FANGER, Ole P. **Thermal Comfort**. Danish Technical Press, Chopenaguen, 1970
- SERRA, R., COCH, H. (1995) *Arquitectura y energía natural*. UPC Edicions Barcelona
- NEILA, J. (2006) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Munilla Leira, Madrid
- BAKER, N., STEEMERS, K., FANCHIOTTI, A. (1993) *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*, Routledge, London
- PIDERIT, B., BODART, M. (2012) Design strategies applied to classroom's daylight design: Optimization of classrooms design, Conferencia PLEA 2012. Lima, Perú

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó bajo el auspicio del proyecto “Monitorización, simulación y reacondicionamiento de salas de clase en Antofagasta” de la Vice Rectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad Católica del Norte.