



ENSAYO DE MÉTODO DE FRACCIONAMIENTO DE SUPERFICIES DE FACHADAS PARA EVALUACIÓN INTEGRADA, DE ILUMINACIÓN NATURAL E INCONVENIENCIA SOLAR

Lucas Arango Díaz (1); Natalia Giraldo Vásquez (2)

(1) MSc Arq., Docente Investigador, lucas.arango.diaz@gmail.com

(2) MSc Arq., Docente Investigadora, ngiraldv@gmail.com

Universidad de San Buenaventura, Medellín.

RESUMEN

Con el objetivo de garantizar condiciones lumínicas aceptables en ambientes interiores, reflexiones acerca del desempeño lumínico y de la inconveniencia solar deben realizarse desde las primeras etapas del proceso proyectual. Esta investigación consiste en la propuesta y ensayo de un método de fraccionamiento de fachadas cuyo objetivo es contribuir con la identificación de tamaños y localizaciones de ventanas ideales. La metodología adoptada incluye la realización de simulaciones computacionales y la construcción de calculadoras que podrían contribuir eficientemente en el proceso proyectual. A pesar de la cantidad de datos procesados para realizar el ensayo, los resultados de la investigación demostraron que el método propuesto podría llegar a ser muy útil en el diseño arquitectónico de envolventes y en procesos pedagógicos.

Palabras clave: Arquitectura, Método de fraccionamiento de fachadas, Iluminación, Inconveniencia solar.

ABSTRACT

In order to ensure acceptable daylighting indoors conditions, studies about daylighting performance and solar inconvenience must be realized from early stages of design process. This research consists in the proposal and test of a fractionated facades method which aims to contribute to the identification of ideal window size and location. The adopted methodology includes some computer simulations and the construction of a calculator that could contribute efficiently in the design process. Although the amount of data processed for testing, the results of this research showed that the proposed method could be very useful in architectural design envelopes and pedagogical processes.

Keywords: Architecture, Fractionation Method Facades, Daylighting, Solar Inconvenience.

1. INTRODUCCIÓN

En el diseño de algunos proyectos, principalmente en los de arquitectura escolar emplazados en localidades con climas cálidos, es usual que existan dificultades para elegir un sistema de fachada que minimice el ingreso de rayos solares incómodos para las actividades visuales al tiempo que optimice las condiciones lumínicas durante la mayor parte del tiempo.

Para garantizar que las condiciones lumínicas sean las adecuadas, usualmente para este tipo de espacios son realizados cálculos lumínicos avanzados. Marsh y Carruthers (1995), Marsh (1996) y Haghparast y Marsh (2004) resaltan que, a pesar de que la simulación computacional es una herramienta muy útil para predecir el comportamiento ambiental de proyectos arquitectónicos, suele ser implementada en las fases finales del proyecto arquitectónico, es decir, que suele servir más para validar las soluciones propuestas y no se constituye en una ayuda eficiente para arquitectos diseñadores. Por tal razón Haghparast y Marsh (2004) insisten en la necesidad de generar mecanismos que permitan obtener información útil relacionada con el desempeño ambiental pero desde las primeras etapas del diseño, cuando los modelos arquitectónicos están poco detallados o incompletos.

Existen algunas herramientas que procuran integrarse al proceso de diseño, entre ellas Ecotect, el cual integra una interface de dibujo de 3d con un paquete de herramientas de análisis (ROBERTS y MARSH, 2001; MARSH, 2003). Dentro de las herramientas, existe una llamada "Cellular Method" (KAFTAN, 2001), integrada a Ecotect en 2005 (KAFTAN; MARSH, 2005). Este método tiene por objetivo auxiliar al proyectista a determinar la forma ideal del dispositivo de sombra. Para ello, los dispositivos son divididos en células, cada una de las cuales es evaluada según la importancia de su localización geográfica para sombrear o permitir el ingreso de rayos solares en un periodo específico (KAFTAN, 2001).

Ese artículo presenta algunos ensayos realizados sobre un método propuesto para identificar la localización y tamaño ideal de aberturas, desde el punto de vista del desempeño lumínico y de la inconveniencia solar, en las primeras etapas del proceso proyectual.

2. OBJETIVO

Proponer y ensayar un método de fraccionamiento de superficies de fachadas que permita, a través de la evaluación integrada de iluminación natural e inconveniencia solar, identificar la localización y tamaño ideales de aberturas desde las primeras etapas de proceso proyectual.

3. METODOLOGÍA

En esta investigación fue ensayado un método de fraccionamiento de la superficie de fachada que permitió obtener información acerca del tamaño y localización ideal de las aberturas. Criterios de distribución de la iluminación, suficiencia del recurso lumínico y la inconveniencia de la accesibilidad solar fueron establecidos para definir el área de las aberturas y en que parte de la fachada deben estar dispuestas.

Este método consiste, en primer lugar, en la evaluación integrada del doble desempeño, lumínico y solar, de cada fracción de una retícula previamente definida en la superficie de fachada disponible. Esto implica que, en cada evaluación una fracción sea considerada abertura independiente mientras que las restantes fracciones sean consideradas superficies opacas. El método avanza con la identificación de los beneficios o inconvenientes que causaría cada fracción, desde el punto de vista visual, en caso de ésta ser considerada superficie abierta o cerrada. Por último, el propósito de la etapa final del método consiste en, a partir de la construcción de una calculadora simple, brindar la posibilidad de evaluar el desempeño combinado de varias fracciones. Debido a la importancia de las tareas visuales que se llevan a cabo en estos espacios, el método fue ensayado en un salón de clase hipotético.

3.1. Modelos para el ensayo del método

Para ensayar el método, fue definido un salón de clase simplificado de 8.0m de largo x 5.0m de ancho x 2.0m de altura. Sobre el lado mayor este modelo fue establecida la fachada sobre la cual fue ubicada la abertura hacia el exterior. Esta fachada fue orientada hacia Norte (ver Figura 1).

Debido a los tiempos de simulación y a la cantidad de datos para procesar, en este ensayo la superficie de fachada fue fraccionada en una retícula de 4 filas ("a", "b", "c" y "d") por 16 columnas (desde "1" hasta "16"), es decir, 64 cuadrados de 0.5m x 0.5m. Cada uno de los cuadrados fue identificado con el número de la columna y la letra de la fila que se intersecan (ver Figura 1).

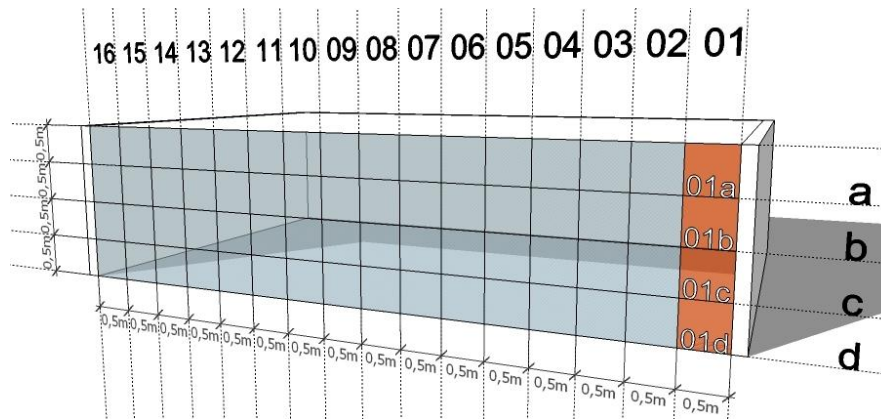


Figura 1- Fraccionamiento de la fachada evaluada

La Tabla 1 muestra las propiedades ópticas de los materiales del salón.

Tabla 1: Propiedades ópticas de los materiales.

SUPERFICIES OPACAS	INDICE DE REFLEXIÓN (%)
Piso	30%
Paredes	50%
Techo	70%
SUPERFICIES TRANSPARENTES	INDICE DE TRANSMISIÓN (%)
Vidrio	100%

3.2. Evaluación del desempeño de las fracciones

3.2.1 Cálculos lumínicos.

Los cálculos de admisión y distribución luminosa en el ambiente, considerando cada una de las 64 aberturas(fracciones), fue realizado en el software Apolux (CLARO, 1998). Los 64 modelos fueron evaluados para dos horarios (09 horas y 15 horas) y siete fechas diferentes (Junio 21, Mayo 21, Abril 21, Marzo 21, Febrero 21, Enero 21, Diciembre 21).

Para cada fracción de la retícula propuesta, en el módulo Fractal del programa Apolux fue considerado un fraccionamiento de 0,1. Ya en el módulo Foton fue especificado un globo de 180 parcelas y el tipo de cielo 6 (CIE STANDARD, 2004) según las características de la bóveda celeste de la Ciudad de Medellín (Latitud: 6,25°N, Longitud: 75,5°O). Posterior al cálculo del factor de forma fue calculado, para cada fracción en cada fecha y hora, el nivel lumínico sobre una malla de cálculo localizada a la altura del plano de trabajo, es decir, 70 cm del nivel del piso.

Todos los resultados de las simulaciones fueron exportados para Excel, para tantos archivos como fracciones de retícula. En cada uno de esos archivos fueron construidas 15 planillas, una por cada instante simulado (fecha + hora) más una resumen en la que fue calculado el promedio y el desvío estándar de las iluminancias. Esta información se constituyó en insumo básico para la identificación del desempeño de cada fracción y para la programación de la calculadora.

3.2.2 Cálculos de inconveniencia solar

Debido a que, en términos generales, en la mayor parte del territorio de la ciudad de Medellín la accesibilidad solar es considerada indeseable durante la mayor parte del tiempo y el nivel de exigencia visual que se requiere en salones de clase es alto, en esta investigación, la inconveniencia de la accesibilidad solar fue considerada desde el punto de vista de la comodidad visual y, por tanto, no fueron realizadas evaluaciones térmicas.

De acuerdo con lo anterior, los rayos del sol fueron considerados inconvenientes toda vez que incidieron sobre la superficie de las mesas de trabajo de los salones ya que se presume que ante esta situación los usuarios del espacio procurarían bloquear las aberturas con cortinas u otros elementos, invalidando cualquier cálculo de iluminación natural previamente realizado.

Para evaluar la inconveniencia de la incidencia solar de cada una de las 64 aberturas (fracciones) fueron construidas planillas de Excel en las que fue calculada la porción de tiempo al año en la que, en caso de existir cielo despejado, los usuarios dispondrían de dispositivos para bloquear los rayos solares. En total fueron construidas 64 planillas, una por cada fracción de la retícula de fachada.

Para determinar los momentos en que los usuarios bloquearían las aberturas, en las planillas fue sobrepuesto en plano de trabajo con la distribución típica de mesas y sillas en el salón de clase. En esa planilla fue establecido que toda vez que en alguna de las celdas correspondientes a las sillas o mesas se registrara incidencia solar, los usuarios bloquearían esa abertura. La Figura 2 muestra la disposición típica de mesas y sillas dentro de un salón hipotético con aberturas orientadas hacia Este y localizado en la ciudad de Medellín. Sobre esa disposición aparece superpuesta la cuadrícula establecida en la planilla. Los cuadros color naranja resaltan el área de las mesas que estarían expuestas a la radiación solar directa en una fecha y hora hipotéticos.

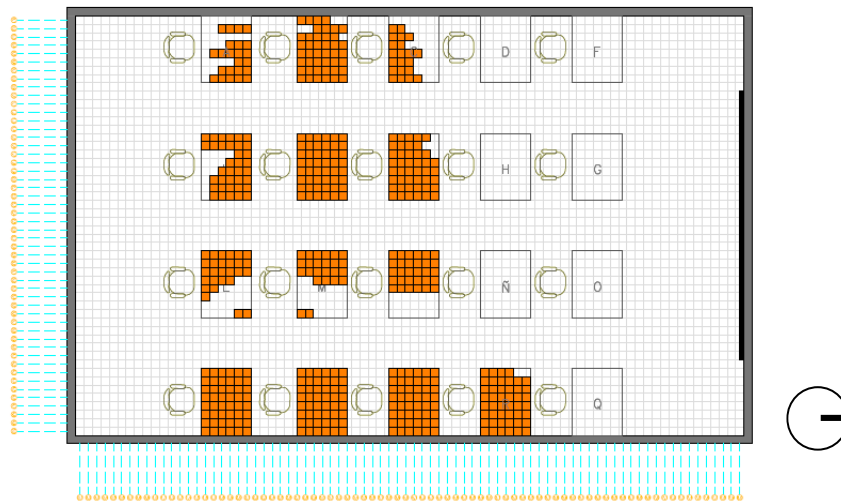


Figura 2- Superposición de la distribución típica del salón sobrepuesta sobre la cuadrícula establecida para las planillas.

A partir de esta regla, en la planilla fue generado un gráfico por cada fracción de la retícula que en el eje “y” muestran las horas del día (desde las 7 hasta las 17 en frecuencias de 0.5 horas), en el eje “x” los días del año desde junio 21 (día 173 en fecha ordinal) hasta diciembre 21 (día 355 en fecha ordinal) en frecuencias de 7 días y en las intersecciones se resalta en colores oscuros los instantes en los que las aberturas estarían bloqueadas y por tanto, el sistema de iluminación artificial, activo (ver Figura 3).

La figura a continuación muestra el gráfico con los instantes en los que se bloquearía la Fracción 01b. A partir de este gráfico fue posible calcular la porción de tiempo al año en que los usuarios bloquearían las aberturas. En el caso de la fracción 01b el tiempo de bloqueo es del 20%.

	173	180	187	194	201	208	215	222	229	236	243	250	257	264	271	278	285	292	299	306	313	320	327	334	341	348	355
7	42	45	48	47	46	49	44	34	38	50	53	46	32	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	33	32	31	27	24	22	24	28	35	40	34	28	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	30	30	31	28	30	33	34	34	31	28	24	19	12	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	13	13	13	14	20	20	19	18	16	14	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	7	7	7	7	6	3	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	9	14	13	12	11	11	9	8	6	3	3	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	10	10	10	10	15	15	15	14	8	8	6	6	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	5	5	5	5	10	10	10	9	4	4	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	0	0	4	3	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3- Porción del año con aberturas bloqueadas = 20%. Fracción 01b. En el eje de las abscisas se muestran los días del año en fechas ordinales, mientras que en el eje de las ordenadas se muestra las horas del día.

3.3 Identificación del desempeño de cada fracción

Con el objetivo de identificar cuáles son las celdas más indicadas para estar abiertas o cerradas, fue construida una tabla comparativa que muestra la fachada dividida por celdas, cada una de las cuales posee 3 datos:

- Nivel lumínico promedio a la altura del plano de trabajo. Este valor hace referencia al promedio de las iluminancias promedio del plano de trabajo. Las iluminancias promedio del plano de trabajo son calculadas a partir de los resultados de las simulaciones realizadas para dos horarios y 7 fechas (ver ítem 3.2.1)
- Desvío Estándar de las iluminancias calculadas
- Porcentaje del año en el que los usuarios bloquearían las aberturas

3.4 Aplicación del método

Con el objetivo de continuar con el ensayo el método, se propone que a partir del análisis de la información obtenida en la identificación del desempeño de cada fracción (ítem 3.3) se propongan 3 agrupaciones de fracciones, que simulen 3 posibles fachadas. Para cada una de esas fachadas fueron realizados cálculos con una calculadora.

3.4.1 Uso de calculadora

Hasta este punto de la investigación existen 64 archivos de Excel con la información de la inconveniencia solar y otros 64 con 15 pestañas que contienen los resultados de las simulaciones lumínicas. Con los objetivos de coordinar los cálculos lumínicos con los de inconveniencia solar y de brindar la posibilidad de conocer el desempeño simultáneo de varias fracciones, fue construido un archivo adicional, llamado "FraccionesAct", enlazado a los 128 archivos de Excel mencionados anteriormente. En el archivo "FraccionesAct" fue programada la posibilidad de verificar la variación de la inconveniencia solar y de la admisión y distribución luminosa en el plano de trabajo cuando se active determinada fracción para constituirse en superficie translúcida o se desactive para permanecer como superficie opaca. La Figura 4 muestra el sistema de control implementado en este archivo. Las fracciones marcadas con el número "1" son translúcidas y las marcadas con "0" son opacas.

PLANO DE LA VENTANA VISTA DESDE EL INTERIOR																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4- Sistema de activación de fracciones. Fracciones activadas: 1a, 1b, 2a y 2b

3.4.2 Resultados de la calculadora.

Además del nivel lumínico promedio y el gráfico con el porcentaje de tiempo de bloqueo de las aberturas (ver Figura 3), el uso de la calculadora genera una tabla que representa la vista superior del plano de trabajo (ver Figura 5). En la tabla son presentados los valores de las iluminancias promedio de varias fracciones. Adicionalmente están resaltadas en la gama azul las zonas con iluminancias inferiores a 200 lux, en verde las zonas con iluminancias entre 200lux y 2000lux y sin color las iluminancias superiores a 2000 lux. Estos gráficos se complementan la identificación, por rangos, del área del plano de cálculo que posee determinados niveles lumínicos promedios.

55	56	60	70	83	95	116	135	155	181	198	214	221	219	202
56	54	59	67	78	93	111	130	152	175	194	209	216	214	199
56	53	57	65	76	91	109	131	154	179	200	219	226	226	212
55	53	56	64	76	91	112	135	162	190	219	239	252	251	241
54	52	55	64	76	94	115	143	175	211	247	277	294	296	281
53	51	55	63	76	95	120	153	193	239	288	327	351	355	339
52	50	53	62	77	97	125	164	214	275	342	403	440	446	422
50	48	52	61	76	97	129	176	240	323	418	507	564	574	536
47	45	49	58	73	97	132	188	269	382	521	659	750	764	705
44	42	45	54	69	93	132	195	297	453	661	874	1021	1042	931
39	38	41	50	64	87	126	195	318	527	840	1188	1427	1452	1268
35	33	36	43	56	77	114	184	324	593	1055	1615	1995	2023	1681
28	28	30	36	47	64	96	159	292	602	1222	2050	2605	2629	2114
23	21	23	27	35	47	69	112	216	480	1110	2051	2663	2672	2057
15	15	16	18	22	28	36	53	84	163	376	725	968	1009	686

Figura 5- Nivel lumínico en el plano de trabajo. Fracciones activadas: 1a, 2a, 3a y 4a

4. RESULTADOS:

4.1 Identificación del desempeño de cada fracción

La Tabla 2 resume el desempeño de cada fracción de la retícula propuesta en la superficie de fachada.

Los resultados evidencian, desde el punto de vista de la iluminación natural, un mejor desempeño de las fracciones de la fila 2. A pesar de poseer promedios lumínicos inferiores, los resultados de la fila 1 presentan mayor uniformidad en los valores de los niveles lumínicos. Ya los resultados de la fila 3 presentan niveles lumínicos ligeramente inferiores a los de las filas 1 y 2. A pesar de ello, el bloqueo de aberturas debido a la accesibilidad solar es inferior al de las filas superiores. Finalmente, la fila 4 proporciona iluminación insuficiente.

Tabla 2- Desempeño por fracción

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Iluminancia promedio (lux)	76	80	91	94	96	97	52	99	97	98	97	96	94	91	84	75
	Desvío estándar iluminancias	146	141	144	139	129	134	35	134	130	133	133	136	139	144	150	145
	Uso de cortinas (% de tiempo al año)	14	18	25	28	30	32	32	31	32	32	31	28	24	18	13	8
2	Iluminancia promedio (lux)	98	72	103	106	96	96	107	111	107	107	98	106	104	105	99	93
	Desvío estándar iluminancias	302	206	289	289	129	129	277	284	272	276	270	284	308	292	293	320
	Uso de cortinas (% de tiempo al año)	10	16	26	29	34	33	35	33	35	33	34	30	27	18	10	7
3	Iluminancia promedio (lux)	88	80	81	105	87	86	82	79	78	82	81	83	87	82	82	85
	Desvío estándar iluminancias	709	677	598	287	641	690	605	487	480	594	639	705	759	693	713	741
	Uso de cortinas (% de tiempo al año)	3	10	25	23	28	23	28	23	28	23	28	23	27	13	5	3
4	Iluminancia promedio (lux)	12	9	10	11	10	11	11	11	11	11	11	11	11	10	9	8
	Desvío estándar iluminancias	50	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	6
	Uso de cortinas (% de tiempo al año)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.2 Agrupación de fracciones elegidas

Con la información obtenida en el ítem anterior, fueron definidos 3 tipos de fachada a partir de la agrupación de aberturas. Las fachadas definidas se muestran en la Tabla 3 a continuación.

Tabla 3- Agrupación de fracciones

Nombre	Fachada	Área vidriada																																																																																					
F1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>a</th> <td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td> </tr> <tr> <th>b</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> <tr> <th>c</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> <tr> <th>d</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	a	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5m ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																							
a	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1																																																																							
b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
F2	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>a</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> <tr> <th>b</th> <td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td> </tr> <tr> <th>c</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> <tr> <th>d</th> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.0m ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																							
a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																							
c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																							
F3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>a</th> <td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td> </tr> <tr> <th>b</th> <td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td> </tr> <tr> <th>c</th> <td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td> </tr> <tr> <th>d</th> <td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	a	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	b	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	c	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	d	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	6.0m ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																							
a	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1																																																																							
b	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1																																																																							
c	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1																																																																							
d	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1																																																																							

4.3 Discusión de resultados del uso de la calculadora

Los resultados del uso de la calculadora se muestran en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8.

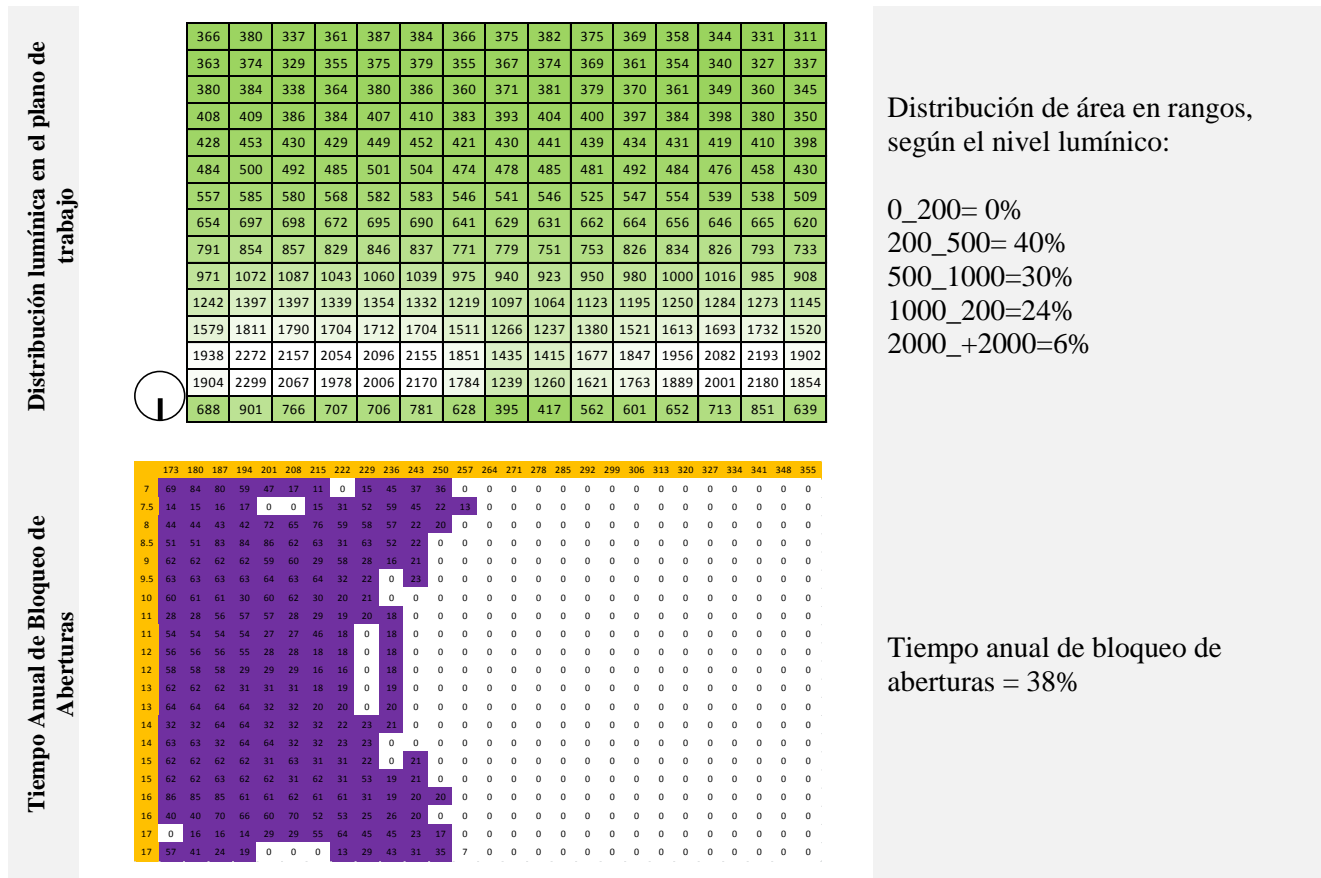


Figura 6- Resultados de Agrupación de fracciones F1

Distribución lumínica en el plano de trabajo

419	435	448	472	504	513	521	528	528	508	495	472	440	422	404
388	374	396	413	440	448	456	463	461	452	436	418	393	373	387
395	375	391	413	436	449	457	463	460	458	442	420	395	381	395
429	403	421	445	470	483	493	499	499	491	476	454	429	403	421
468	446	467	493	520	537	549	556	555	551	532	506	475	447	465
531	510	534	562	592	614	628	638	639	628	610	576	531	496	522
603	698	627	665	692	716	733	747	749	743	720	678	627	580	588
710	693	749	791	834	867	884	906	912	902	865	812	746	687	689
856	852	924	983	1028	1073	1093	1131	1146	1116	1066	996	913	829	815
1057	1099	1201	1279	1324	1365	1411	1457	1475	1439	1361	1267	1163	1045	992
1408	1512	1664	1749	1799	1843	1909	1978	2012	1939	1808	1694	1577	1411	1300
1937	2257	2484	2573	2604	2648	2745	2859	2888	2714	2447	2368	2298	2061	1767
3013	3681	4001	4089	4065	4082	4243	4422	4379	3780	3231	3506	3651	3276	2707
4591	6054	6412	6478	6333	6280	6560	6811	6545	4692	3535	5254	5885	5221	4182
3264	4268	4306	5080	4205	4743	4232	4334	4147	2740	1941	3621	3935	3429	2948

Distribución de área en rangos, según el nivel lumínico:

- 0_200= 0%
- 200_500= 28%
- 500_1000= 30%
- 1000_2000= 17%
- 2000_+2000= 26%

Tiempo anual de bloqueo de aberturas

173	180	187	194	201	208	215	222	229	236	243	250	257	264	271	278	285	292	299	306	313	320	327	334	341	348	355
7	116	116	115	113	111	103	156	196	159	137	117	30	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	170	170	169	167	165	214	182	145	148	95	79	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	216	216	215	214	162	161	108	142	90	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	162	162	108	108	108	144	90	90	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	139	139	139	139	85	85	85	31	67	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	90	90	90	90	90	36	36	72	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	90	90	90	90	36	36	36	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	90	90	36	36	36	36	72	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	36	36	36	36	36	72	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	36	36	36	36	72	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	31	31	31	31	31	67	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	36	36	36	36	72	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	36	36	36	36	72	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	90	90	36	36	36	36	72	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	90	90	90	90	36	36	72	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	90	90	90	90	90	36	36	72	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	144	144	143	90	90	90	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	107	107	107	142	141	89	88	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	204	204	156	155	153	103	136	86	84	35	36	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	209	179	178	176	197	195	144	96	128	80	30	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	107	107	156	155	151	194	186	153	168	120	104	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tiempo anual de bloqueo de aberturas = 38%

Figura 7- Resultados de Agrupación de fracciones F2

Distribución lumínica en el plano de trabajo

493	513	468	496	528	541	519	536	546	532	527	510	486	473	446
472	470	434	457	487	499	476	490	502	496	484	472	453	435	464
490	478	441	469	493	511	486	498	513	507	495	482	465	473	473
529	514	499	502	541	541	518	533	546	545	534	522	528	503	484
573	563	561	558	605	600	570	588	599	598	587	603	580	552	557
639	644	633	643	654	673	642	655	664	661	676	666	636	611	604
723	845	746	759	752	762	735	739	749	734	763	760	737	714	698
838	852	869	853	882	891	853	855	862	897	905	901	868	870	844
1001	1028	1044	1039	1060	1079	1021	1045	1030	1034	1119	1134	1101	1037	1000
1229	1281	1319	1300	1324	1322	1281	1265	1261	1291	1352	1397	1373	1291	1240
1604	1675	1699	1683	1703	1676	1634	1546	1521	1573	1709	1849	1802	1693	1601
2198	2268	2248	2293	2191	2210	2178	1949	1963	2037	2321	2677	2533	2369	2235
3429	3197	2993	3403	2930	3135	3222	2568	2863	2847	3207	4224	3586	3337	3436
5953	4402	3626	5865	3447	4442	5322	2907	4876	4051	3863	7010	4492	4517	5942
4470	3494	2025	4534	4628	4040	4134	4741	4700	4651	2792	5497	2438	3451	4361

Distribución de área en rangos, según el nivel lumínico:

- 0_200= 0%
- 200_500= 15%
- 500_1000= 38%
- 1000_2000= 22%
- 2000_+2000= 25%

Tiempo anual de bloqueo de aberturas

173	180	187	194	201	208	215	222	229	236	243	250	257	264	271	278	285	292	299	306	313	320	327	334	341	348	355
7	157	164	161	151	150	132	123	113	110	100	78	47	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	130	129	128	127	120	119	117	113	110	93	67	36	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	120	120	120	120	120	108	96	78	60	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	108	108	108	108	108	96	78	60	60	42	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	95	95	95	95	77	77	59	59	41	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	78	78	78	78	78	60	60	42	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	78	78	78	60	60	60	42	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	60	60	60	60	60	42	24	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	60	60	60	60	42	24	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	60	60	60	42	24	24	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	59	59	59	41	41	41	23	23	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	60	60	60	42	24	24	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	60	60	60	60	42	24	24	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	60	60	60	60	42	24	24	24	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	78	78	60	60	60	42	24	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	78	78	78	60	60	42	24	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	96	96	96	78	78	60	60	42	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	108	108	108	96	96	78	78	60	42	24	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	120	120	120	119	108	94	76	59	42	24	12	0	0	0												

Con el uso de la calculadora, el desempeño de los tres tipos de fachada fue visualizado de manera rápida. Comparaciones significativas, como el porcentaje del área del plano de trabajo que en promedio permanece entre 200lx y 1000lx en relación al área vidriada o la porción del año en el que existirían bloqueos en relación al tamaño de las aberturas, pueden ser efectuadas muy fácilmente. En los casos estudiados, el desempeño de la fachada 1, supera al desempeño de las fachadas restantes, ya que, a pesar de que posee menor área vidriada, la distribución lumínica es mejor y el tiempo de bloqueo de aberturas es menor.

Por otro lado, adicional al reconocimiento de la mejor ventana entre los casos estudiados, fueron identificadas algunas consideraciones en el ensayo metodológico. Entre esas consideraciones se destacan algunas dificultades y limitaciones:

-Tipo de cielo: Debido a la falta de archivos climáticos de la ciudad de estudio, en este ensayo fue asumido que Medellín poseía un cielo constante similar al cielo tipo 6, parcialmente nublado, de la CIE (CIE STANDARD, 2004).

-Frecuencia de simulaciones: Debido a la cantidad de datos y procesos, en este ensayo fueron realizadas simulaciones para las 09h y las 15h en 7 fechas específicas del año.

-Tamaño de los elementos fraccionados: El tamaño de los elementos fraccionados fue 0,5m x 0,5m. Un mayor fraccionamiento de la retícula podría brindar mayor precisión para elegir el tamaño y la localización del vidrio.

-Coordinación de los cálculos lumínicos y los cálculos de inconveniencia solar: Durante este ensayo fue asumido que toda vez que el sol incidiera sobre mesas y sillas, los usuarios bloquearían las aberturas de modo tal que cualquier cálculo lumínico sería considerado inútil. Sin embargo, no fueron considerados bloqueos parciales y por tanto no fueron considerados aportes lumínicos parciales.

5. CONCLUSIONES

Con el objetivo de ensayar un método de fraccionamiento de superficies de fachadas que permitiera, a través de la evaluación integrada de iluminación natural e inconveniencia solar, identificar tamaño y localización ideales de aberturas de manera rápida, fue construida una calculadora de Excel a partir de cálculos lumínicos previamente realizados.

A pesar de las limitaciones descritas en el ítem anterior, la calculadora construida demostró ser una herramienta muy útil que puede ser aplicada desde las primeras etapas de diseño para verificar el desempeño lumínico de determinada abertura y para prefigurar el uso de dispositivos de sombra. Para los diseñadores, esta información podría resultar de gran utilidad ya que facilitaría una óptima distribución del programa arquitectónico al interior de los espacios, la definición de las características de las superficies, la distribución del mobiliario y la configuración del lenguaje de las fachadas, en función de la iluminación natural y la inconveniencia de la incidencia solar.

Si bien la construcción de la calculadora resultó ser un ejercicio complejo, el procedimiento que implica la realización de las simulaciones computacionales debería ser complementado con cálculos de deslumbramiento. La incorporación de esta nueva variable brindaría información más completa para la identificación de la localización y tamaño de aberturas ideales.

Por otro lado, se considera que la herramienta posee potencial para ser utilizada en procesos pedagógicos. Una vez realizadas las simulaciones computacionales y organizadas las planillas, la tabla con el sistema de activación de fracciones resulta ser un mecanismo que podría facilitar la comprensión del aporte lumínico de cada una de las aberturas.

Finalmente, el procesamiento de datos podría facilitarse y agilizarse si esta metodología fuera incorporada en algún programa de simulación computacional.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

-CIE STANDARD – Spatial distribution of daylight — CIE standard general sky. in: **ISO 15469**. 2004.

-CLARO, Anderson. **Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1998.

-HAGHPARAST, F.; MARSH, A. The application of computer-optimised solutions to tightly defined design problems. In: **PLEA 2004**, Eindhoven, Holanda. Eindhoven, Holanda, PLEA 2004.

- KAFTAN, E. The Cellular Method to design energy efficient shading form to accommodate the dynamic characteristics of climate. In: **PLEA 2001**, Florianópolis. Florianópolis, PLEA 2001. V2, p. 829 – 833.
- KAFTAN, E.; MARSH, A. Integrating the Cellular Method for Shading Design with a Thermal Simulation. In: **Proc. PALENC**, Santorini, Grecia, 2005.
- MARSH, Andrew. Integrating performance modeling into the initial stages of design. In: **ANZAScA Conference Proceedings**, 1996, Hong Kong, China. Chinese University of Hong Kong, China, 1996.
- MARSH, Andrew. Computer-Optimised Shading design. Building Simulation 2003. In: **Eighth International IBPSA Conference**, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda, 2003.
- MARSH, Andrew; CARRUTHERS, Derek. A selection of interactive design tools. In: **ANZAScA Conference Proceedings**, The University of Camberra, Australia, 1995.
- ROBERTS, A.; MARSH, A.J. ECOTECH: Environmental Prediction in Architectural Evaluation. In: **Proc. of 19th ECAADE**, Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, Finlandia, 2001.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la dirección de investigaciones de la Universidad de San Buenaventura, Medellín por el apoyo económico para la realización de este proyecto.