



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

FACHADA CINÉTICA: PARAMETRIZACIÓN PARA OPTIMIZAR EL CONFORT  
LUMÍNICO.

**AUTOR:** ARQ. IVÁN RENATO COELLAR ALVEAR  
CÉDULA DE INDETIDAD #0103350690

**DIRECTOR:** ARQ. MGTR. BORIS ADRIAN ORELLANA ALVEAR.  
CÉDULA DE INDETIDAD #0103558748

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
“MAGISTER EN CONSTRUCCIONES”

CUENCA - ECUADOR  
2018



## RESUMEN

El objetivo de esta investigación está enfocado en desarrollar conceptos para realizar una fachada cinética basada en la parametrización, que optimice el confort lumínico de un espacio arquitectónico con pobre iluminación interior; esto, mediante una adecuada distribución de la luz diurna. Este concepto de investigación se sustenta por la necesidad de investigar tipologías constructivas arquitectónicas que respondan de mejor manera a la relación entre la arquitectura y medio ambiente, ya que, a diferencia de una fachada estática, la fachada cinética explora la posibilidad de convertirse en un elemento que interactúa de manera activa con el medio ambiente, adaptándose a las necesidades según sea la demanda de las condiciones exteriores e interiores. Se plantea entonces, un enfoque de investigación experimental, en el cual se analizarán dos casos de estudio: el primero sobre una fachada con ventana común, para analizar mediante varios software la forma y distribución de la luz diurna hacia el interior; y para el segundo caso, se investigan los procesos para la generación de una fachada cinética que mediante el movimiento de sus partes o células constructivas, mejore la distribución de la luz diurna y optimice el confort lumínico del espacio interior antes analizado para la fachada con ventana común. Estos análisis para la fachada cinética se los realizarán mediante una técnica de simulación paramétrica, para finalmente obtener los resultados y compararlos en valores de iluminancia hacia el interior de ambos casos de estudio.

**Palabras clave:** Fachada, cinética, paramétrica, confort lumínico.



## ABSTRACT

The objective of this research is focused on developing concepts to produce a kinetic facade based on parameterization, which optimizes the luminous comfort of an architectural space with poor interior lighting; this, through an adequate distribution of daylight. This research concept is supported by the need to investigate architectural typologies that respond better to the relationship between architecture and the environment, because unlike a static façade, the kinetic facade explores the possibility of becoming an element that interacts actively with the environment, adapting to the needs according to the demand of external and internal conditions. An experimental research approach was then devised, in which two case studies will be analyzed: the first on a façade with a common window, to analyze, through various software, the form and distribution of daylight to the interior; and for the second case, the processes for the generation of a kinetic facade that by means of the movement of its parts or constructive cells, improve the distribution of daylight and optimize the light comfort of the interior space previously analyzed for the facade with common window. These analyzes for the kinetic façade will be performed using a parametric simulation technique, to finally obtain the results and compare them in illuminance values to the interior of both case studies.

**Keywords: Façade, kinetic, parametric, luminic comfort.**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>CAPÍTULO 1: LINEAMIENTOS GENERALES</b> .....	<b>1</b>
<b>2.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>2.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>2.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>3</b>
2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 LA FACHADA EN ARQUITECTURA</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 INTRODUCCIÓN.....	4
2.1.2 TIPOLOGÍAS EN LAS FACHADAS (FACHADA LIGERA).....	7
2.1.3 FACHADAS INTELIGENTES (PCM's y TIM's).....	10
.....	17
<b>2.2 SISTEMAS CINÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 SISTEMAS CINÉTICOS AVANZADOS EN ARQUITECTURA</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 SISTEMAS CINÉTICOS INCRUSTADOS.....	26
2.3.2 SISTEMAS CINÉTICOS DESPLEGABLES.....	27
2.3.3 SISTEMAS CINÉTICOS DINÁMICOS.....	27
<b>2.4 PRECEDENTES (CASOS REFERENCIADOS)</b> .....	<b>28</b>
2.4.1 CASO REFERENCIADO #1 (Al Bahar Towers).....	28
INTRODUCCIÓN.....	28
SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA.....	29
2.4.2 CASO REFERENCIADO #2 (Instituto del Mundo Árabe).....	32
INTRODUCCIÓN.....	32
SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA.....	33
2.4.3 CASO REFERENCIADO #3 (One Ocean Thematic Pavilion).....	35
INTRODUCCIÓN.....	35
SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA.....	36
2.4.4 CASO REFERENCIADO #4 (Kiefer Technic Showroom).....	38
INTRODUCCIÓN.....	38
SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA.....	39
2.4.5 CASOS REFERENCIADOS #5 (ICD / ITKE Research Pavilions).....	41
INTRODUCCIÓN.....	41
PABELLÓN AÑO 2013-14.....	42
PABELLÓN AÑO 2010.....	45
2.4.6 CASOS REFERENCIADOS #6 (proyectos en fase constructiva).....	47
INTRODUCCIÓN.....	47
MEDIA TOWERS.....	47
SEOUL TOWER.....	50
<b>2.5 CONFORT LUMÍNICO</b> .....	<b>53</b>
2.5.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TERMINOLOGÍA.....	53
CONFORT VISUAL.....	53
2.5.1.1.1 CANTIDAD.....	54
2.5.1.1.2 DISTRIBUCIÓN.....	55
2.5.1.1.3 CALIDAD (prevención de trastornos mediante la arquitectura).....	55



2.5.1.1.4	CONDICIONES NECESARIAS.....	55
	ILUMINANCIA (lux).....	55
	LUMINANCIA (vista humana).....	56
	DESLUMBRAMIENTO.....	56
	FACTOR DE LUZ DIURNA.....	56
2.5.2	NORMATIVA.....	57
	ILUMINACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS (INEN 1-150, INEN 1-151, INEN 1-152).....	59
2.5.3	MATERIALIDAD.....	59
	MATERIALES PARA FAVORECER GANANCIA LUMÍNICA.....	59
	VIDRIOS FOTOCROMÁTICOS.....	61
	VIDRIOS INTELIGENTES (vidrio electrocrómico).....	61
<b>2.6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO 3: APLICACIÓN (CONSTRUCCIÓN PARAMÉTRICA).....</b>		<b>65</b>
<b>3.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>65</b>
3.1.1	TIPO DE SISTEMA CINÉTICO.....	65
3.1.2	MOVIMIENTOS CINÉTICOS BÁSICOS.....	65
3.1.3	HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CINÉTICO.....	67
<b>3.2</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>68</b>
3.2.1	MODELO BASE PARA ANÁLISIS Y SIMULACIONES.....	70
3.2.2	SIMULACIONES DE LUZ DEL DÍA.....	71
3.2.3	ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE FACHADA CON VENTANA COMÚN.....	73
3.2.3.1	RESULTADOS PARA EQUINOCCIOS.....	74
	MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21.....	74
3.2.3.2	RESULTADOS PARA SOLSTICIOS.....	77
	JUNIO 21.....	77
	DICIEMBRE 21.....	80
3.2.3.3	CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS RESPECTO A LA APLICACIÓN SOBRE LA FACHADA CON VENTANA COMÚN.....	83
3.2.4	ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA FACHADA CINÉTICA.....	87
3.2.4.1	PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA FACHADA.....	87
3.2.4.2	ANÁLISIS DE DISTRIBUCION DE LUZ DIURNA.....	90
3.2.4.3	RESULTADOS PARA EQUINOCCIOS.....	91
	MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21.....	91
3.2.4.4	RESULTADOS PARA SOLSTICIOS.....	94
	JUNIO 21.....	94
	DICIEMBRE 21.....	97
3.2.4.5	CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS RESPECTO A LA APLICACIÓN DE LA FACHADA CINÉTICA.....	100
<b>3.3</b>	<b>COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DOS CASOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>107</b>
3.3.1	COMPARACIÓN PARA EQUINOCCIOS.....	108
	MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21.....	108
3.3.2	COMPARACIÓN PARA SOLSTICIOS.....	109
	JUNIO 21.....	109
	DICIEMBRE 21.....	111
<b>3.4</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>115</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES, DIAGRAMAS Y TABLAS.....</b>		<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>121</b>



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Iván Renato Coellar Alvear, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Fachada Cinética: parametrización para optimizar el confort lumínico.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, a 4 de mayo de 2018

Iván Renato Coellar Alvear

C.I: 0103350690



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Iván Renato Coellar Alvear, autor/a del trabajo de titulación "Fachada Cinética: parametrización para optimizar el confort lumínico.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, a 4 de mayo de 2018



Iván Renato Coellar Alvear

C.I: 0103350690



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, el supremo ser de luz; por su infinita generosidad y por poner siempre en mi camino a las personas apropiadas.

A Leo Tenecela, por su vital soporte y colaboración.





## DEDICATORIA

A Teo y Sebas, ángeles de luz que son mi energía vital.

A Bernardita y Aquiles, por ser el medio para llegar a esta vida y la guía para ser; y por la libertad siempre permitida para elegir mis propios caminos.

A Joha y Caro por el apoyo incondicional.

A Marcela por encontrarme en su camino.

A Mostachín y Borito, los hermanos que la vida me regaló.

A la Dra. Fanny Auquilla, por enseñarme como alivianar la carga.

A Jaime y Abigaíl, por ser fuente de paz, silencio y sabiduría.



# **CAPÍTULO 1: LINEAMIENTOS GENERALES**

## **2.1 INTRODUCCIÓN**

En esta era informática, el gran desarrollo de la información digital también forma parte de la actividad arquitectónica, e invita a los arquitectos a contemplar dichos avances en post de buscar el beneficio del ser humano optimizando su calidad de vida. En la actualidad se hace necesario que los arquitectos generen espacios confortables, que garanticen la salud de sus ocupantes y aumenten su productividad. Aquella condición de la mente, cuya evaluación es subjetiva, que expresa la satisfacción del usuario con el ambiente, en el que confluyen varios factores de carácter psicológico y fisiológico, así podemos definir confort en un espacio arquitectónico, siendo el tema que actualmente está captando la atención de muchos investigadores de todo el mundo (Tapia Chocho, 2017).

Podemos destacar varios elementos constructivos y de diseño que determinarán la búsqueda de una construcción energéticamente eficiente; de entre estos elementos debemos considerar a la fachada como uno de los temas centrales. En términos de fachadas arquitectónicas, establecemos dos grandes grupos: fachadas estáticas, y fachadas dinámicas que se adaptan según las condiciones internas y externas; éstas últimas, mutan su disposición al tener elementos que pueden fluctuar de forma manual o automatizada (fachadas cinéticas). Dichos sistemas de fachadas han experimentado un gran desarrollo en el tiempo; de manual a mecánico y luego a sistemas electrónicos e inteligentes. También aparecen y se desarrollan en diversas formas, siendo partes de sistemas de circulación, elementos de sistemas de servicios o partes de sistemas de pieles o envoltorios para los edificios (Ramzy & Fayed, 2011).

En el caso de esta investigación se pretende generar una fachada cinética, basada en la parametrización de sus elementos y por ende de su totalidad, buscando optimizar el confort lumínico al interior de un espacio arquitectónico mediante una adecuada distribución de la iluminación diurna.

## **2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La fachada, desde su punto de vista constructivo, en muchos de los casos se la concibe únicamente como sólo una elevación neutral que separa el interior y el exterior del edificio, en la cual solamente se generan las perforaciones (ventanas o vanos) necesarias para solventar las necesidades básicas de iluminación hacia un espacio interior. Pero la fachada se convierte en un elemento activo, que hace que el edificio en sí, interactúe con su contexto; y más importante aún, que interactúe con el medio ambiente y con los usuarios del espacio arquitectónico interior (Mahmoud & Elghazi, 2016).



Edificios de todo el mundo requieren una gran cantidad de energía para la refrigeración, calefacción e iluminación. La iluminación en edificios de oficinas por sí sola representa alrededor del 20-40% de la energía total utilizada en los edificios (Freewan, 2014). A esto, si le agregamos el uso inadecuado de las herramientas para diseño y construcción arquitectónica (incorrecta orientación y emplazamiento de las edificaciones), constituye en el desarrollo de los actuales problemas climáticas a los que en la actualidad nos vemos avocados. Para organizar el confort, el grado de contraste que puede permitirse entre distintas partes de un mismo campo visual está sujeto a ciertos límites. El deslumbramiento significa un contraste excesivo, causado normalmente por la introducción de una fuente de luz muy intensa en el campo visual que crea una sensación incómoda y fatigante (Hernández Pezzi, 2012), esto puede controlarse y optimizarse si tomamos conciencia de que la fachada no es nada más un elemento morfológico y decorativo de la edificación, sino es el conector y nexo entre que condiciona la relación usuario – medio ambiente.

“El confort visual interior está estrechamente relacionado con los niveles de iluminación horizontal y cilíndrico; entonces el ajuste del nivel de iluminación es esencial para mejorar el confort visual y la aceptación de los ocupantes” (Quezada, 2015). En la actualidad en atención a la fachada, se están desarrollando varios estudios y aplicaciones de forma empírica del desempeño de iluminación diurna; estos estudios prueban que un ajuste en el tipo de cristal usado para las ventanas y diseños del dispositivo de sombreado, proporcionan una optimización significativa en la cantidad y calidad de iluminación diurna, mejorando entonces la calidad de la luz interior, para el confort visual, problemática que debe ser afrontada desde el punto de vista tecnológico y técnico, a fin de abrir investigaciones que permitan explorar soluciones idóneas (Mahmoud & Elghazi, 2016).

## 2.3 JUSTIFICACIÓN

En términos de experimentación constructiva, las fachadas están siendo investigadas y transformadas para adaptarse de manera digital o análoga, en busca de una sincronía armoniosa con el ser humano y con el ambiente circundante (entorno mediato e inmediato), esto con el fin de optimizar la calidad y el confort lumínico de los ambientes interiores, mediante una adecuada distribución de la iluminación diurna. Estos experimentos mediante estudios e investigaciones que se desarrollan en la actualidad, resaltan el significativo efecto del diseño en fachadas para mejorar la calidad de iluminación interior (Mahmoud & Elghazi, 2016).

La distribución de la luz al interior de un espacio arquitectónico debe ser más importante que la cantidad de luz que recibe dicho espacio; entonces, la fachada se puede considerar ahora como una envoltura continua, de relación directa con el ser humano, de forma tectónica, ambiental y estética; como una piel que fluctúa entre el interior y el exterior de la edificación. Se plantea realizar los casos de estudio en esta investigación, con el objetivo de introducir prácticas que podrían utilizarse para desarrollar una solución arquitectónica que sea sensible entre el contexto de la edificación y sus ocupantes.

Entonces, para el análisis y propuesta de una fachada cinética, debemos enfatizar este concepto: “La luz es el marcador temporal de nuestro reloj biológico; un estímulo que influye en el estado de ánimo... Mediante una adecuada iluminación, las personas son capaces de rendir más y mejor, pueden avivar su estado de alerta, pueden mejorar su sueño y en resumen su bienestar.” (Quezada, 2015).



## **2.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

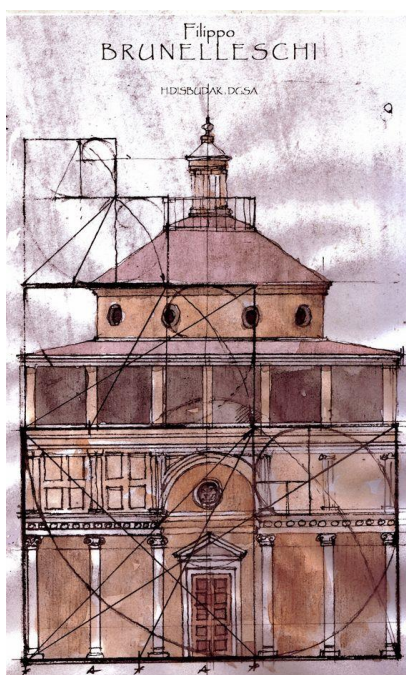
Desarrollar una fachada cinética basada en la parametrización, que optimice el confort lumínico al interior de un espacio arquitectónico, mediante una adecuada distribución de la luz diurna.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

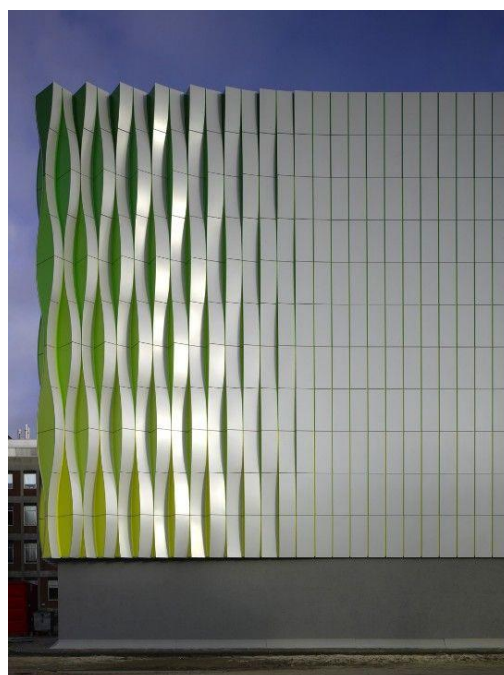
- Conceptuar las técnicas, naturalezas y herramientas de construcción y simulación que se utilizan en la actualidad, para la generación de fachadas que ayuden a optimizar el confort lumínico.
- Analizar iluminación diurna en dos casos de estudio. El primero, en una fachada con ventana común; y el segundo, la determinación de la parametría y los elementos constructivos de una fachada cinética.
- Categorizar y obtener conclusiones respecto a los datos obtenidos en las etapas anteriores. Exponerlos mediante una hoja de cálculo, en comparación de los dos casos de estudio.

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

### 2.1 LA FACHADA EN ARQUITECTURA



(IMAGEN 1)



(IMAGEN 2)

#### 2.1.1 INTRODUCCIÓN

Al igual que lo que piel representa en todos los seres vivos, podemos realizar la analogía de lo que la fachada representa en arquitectura para una edificación. Ésta, es la encargada de proporcionar la relación directa de la edificación con el entorno; es decir, los nexos entre “dentro” y “fuera”. Es la que protege y permite la conexión del edificio con las condiciones ambientales, y entonces por ende, regula la captación o disipación de energía ambiental y los intercambios entre interior y exterior como luz, calor, presión de aire, sonido, etc., (Baixas, 2012).

Fachada, según su etimología, del latín “*facies*” y de italiano “*facciata*”, o del francés “*facade*”, “cara exterior”, es por extensión, cualquier paramento exterior de un edificio. Sustantivo femenino, este vocablo se define a un adorno, ornamento o un decorado externo de cualquier obra edificada ya sea de un edificio o una casa, de manera especial en la parte principal. En uso coloquial, apariencia, talla, aspecto, disposición, traza o figura del cuerpo («Definición, definición y etimología», 2017).



“En realidad, desde una visión antropológica todos los útiles humanos no son sino extensiones de las propias capacidades corporales del hombre, y la arquitectura correspondería, tras el vestido, a una segunda piel capaz de crear una mayor protección climática y un ámbito de privacidad” (Patón, 1996).

Algunos pueblos primitivos interpretan esta necesidad de forma tan literal como para emplear la propia piel de los animales en la creación de habitáculos (los indios americanos en el desierto al usar pelo animal para tejer sus tiendas, los tuaregs en el Sahara). En nuestro país tenemos como ejemplo a los Shuar, con el uso de fibras vegetales como tallos, hojas, ramas que sirven para hacer sus habitáculos, cabañas, sus envolventes de protección contra el exterior (imagen 3).



(IMAGEN 3)

Podríamos decir entonces, que la fachada se convierte en el contenedor del interior, en el límite constructivo de la funcionalidad que internamente desarrolla la edificación; por ello, se le atribuye a la fachada el concepto de piel arquitectónica.

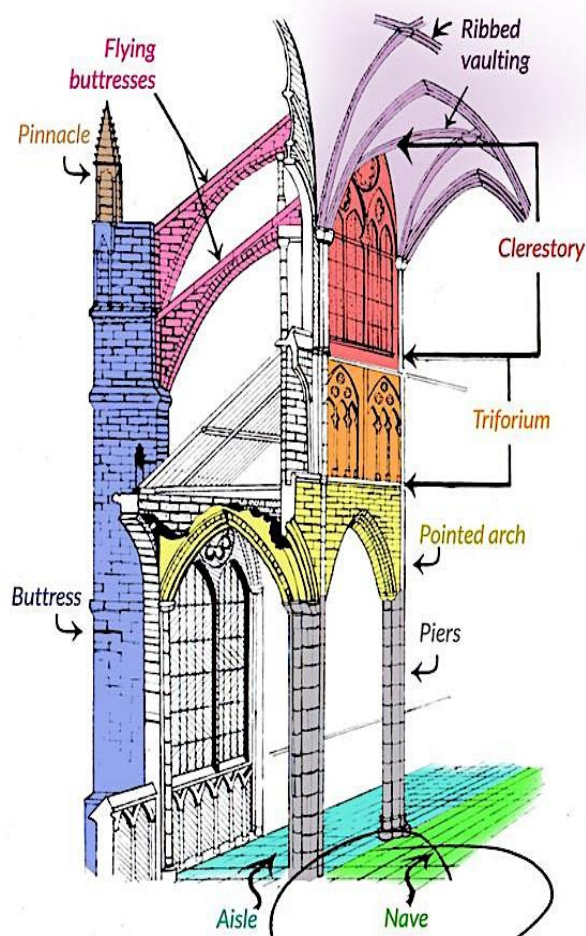
A lo largo del tiempo, estos envolventes (las fachadas) han ido cambiando y adaptándose tecnológicamente a la época, perfeccionándose, para lograr defenderse –aislarse– de condiciones ambientales adversas; también para poder captar energía ambiental o disipar energía en el ambiente (Baixas, 2012). Sin embargo, los cambios más profundos se han suscitado debido a la evolución de las técnicas constructivas; y la relación vano-lleño ha sido un aspecto fundamental que ha condicionado la expresión de la fachada como el lienzo de los diferentes estilos arquitectónicos. La disposición y el tamaño de los vanos en la fachada se ha visto fundamentalmente condicionado por la capacidad de abrir dichos vanos (evolución del muro carga) y la capacidad de protegerlos (evolución del vidrio). En aquel momento, bajo este condicionamiento en la relación vano-lleño, se desarrolló una arquitectura que estaba basada en los muros de carga (con materiales pesados) que a su vez formaban el sistema estructural, y que de esto derivaba el envolvente o la fachada.

Es en la edad media, que la fachada como concepto de envolvente sufre una revolución; se sustituyen los tradicionales muros de carga y se crea un sistema estructural de nervaduras, que dirigen las cargas a los arcos y columnas, para entonces liberar al muro de su función portante y originar ligereza. Esto, se traduce en que los muros logran ser finos y ayudados con una piel transparente, permiten enriquecer el espacio interior con luz natural (Patón, 1996).

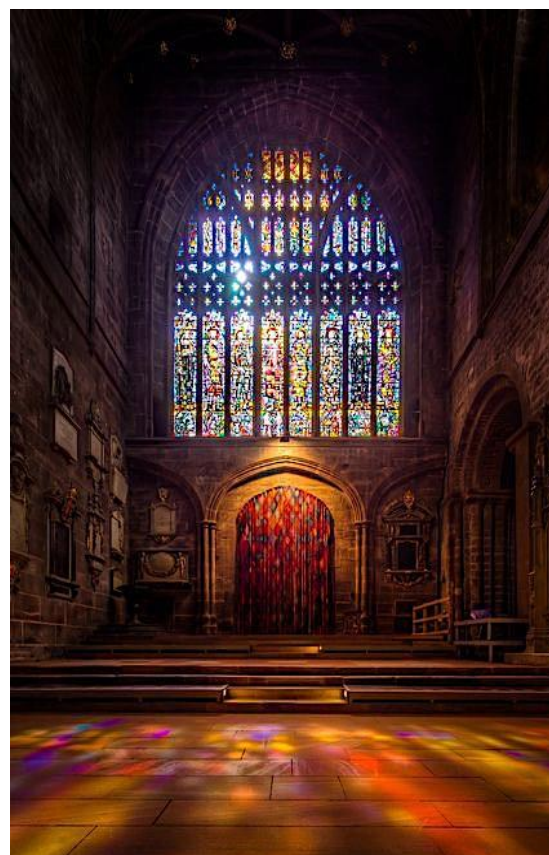
Nos referimos entonces al movimiento de arte, arquitectónico y constructivo: el gótico, que llegó para aportar conocimientos en la concepción del muro como generador de la fachada, y es el arco ojival de las catedrales góticas un gran ejemplo para solucionar el problema de ampliar los huecos en esta relación vano-lleño, al compartir la fachada su función estructural en estos elementos (imagen 4). El gótico, además destaca su virtud en la correspondencia vano-lleño de la fachada, con el uso del vidrio en sus catedrales (imagen 5), convirtiendo a los vanos en majestuosas vidrierías con diseños de figuras hechas con piezas de vidrio tintado; concibiendo así, los rosetones góticos.

*“La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz”* Le Corbusier.

La luz, desarrolla su importancia como el elemento primario en la relación interior-exterior, y que se encuentra intrínseca en esta búsqueda de la proporción vano-lleño en la fachada; y la factibilidad de cubrir los vanos, deben su progreso al desarrollo histórico de la tecnología del vidrio; y aunque se data su existencia desde hace más de 5.000 años, solamente se puede establecer una relación de uso importante de vidrio en la arquitectura y en la construcción mediante la expansión árabe, ya que es a partir de esto que la perspectiva de favorecer al vano en las fachadas comienza a generar un interés renovado.



(IMAGEN 4)



(IMAGEN 5)

El siguiente camino de desarrollo que tomará el muro como generador de la fachada, se da en el siglo XIX de la mano del teórico Viollet Le Duc y su planteamiento del nuevo gótico. Se contó entonces para este planteamiento, con un material que llegó a revolucionar la construcción: el hierro. Con inclusión y empleo del hierro en la construcción, se logra definitivamente liberar a la fachada de su dependencia estructural, ya que este permitió abordar mayores luces, con estructuras extremadamente finas e inconcebibles hasta entonces (Patón, 1996).



## 2.1.2 TIPOLOGÍAS EN LAS FACHADAS (FACHADA LIGERA)

Así entonces, se comienza a desarrollar el concepto de fachada ligera, la idea de la envolvente como piel, que es límite y transición, máscara y a la vez es transparencia; la fachada, como un elemento que se lo puede trabajar independiente y que tiene su propia estructura, propio espesor (Navarro Baldeweg, 1996).



(IMAGEN 6)

La fachada ligera como noción estaba avanzada hasta los finales del siglo XIX, y a comienzos del siglo XX se puede ya apreciar su desarrollo sustentado en el vidrio como concepto; como las grandes superficies acristaladas desarrolladas por el Arq. Walter Gropius (imagen 6). Se plantean también nuevas concepciones (además de la ligereza en la fachada) como de la tipificación sistemática de los elementos que permitirá la industrialización y la fabricación en serie. Para la ahora famosa Weissenhofsiedlung, exposición de 1927 en Stuttgart, Gropius diseña un proyecto con muros exteriores de fibrocemento en 6cm de espesor y estructurados con perfiles metálicos. Años más tarde Le Corbusier profundiza en el concepto de elementos constructivos prefabricados y presenta un proyecto de montaje en seco. El Arq. Jean Prouvé determina a través de la experimentación en sus proyectos, el desarrollo de los nuevos elementos de fachada: 1938, con paneles concebidos como elementos monobloc de chapa plegada y soldada en la Maison du Peuple de Clichy (imagen 7); en los años 40, los paneles de Rousseau de madera para naves prefabricadas; en los años 50, panel despuma plástica y contrachapado baquelizado en la Maison de l'Abbé Pierre (imagen 8), y paneles sándwich de chapa de aluminio con relleno de poliéster expandido e interior de madera de okume e la Maison Dollander (Patón, 1996).



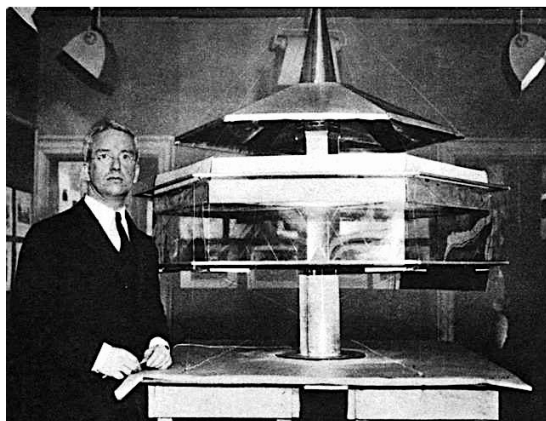
(IMAGEN 7)



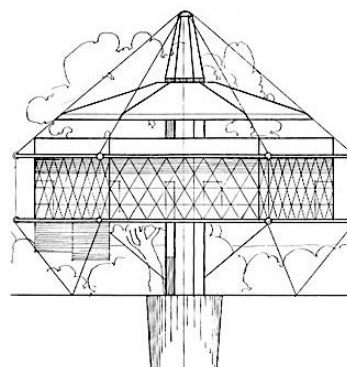
(IMAGEN 8)



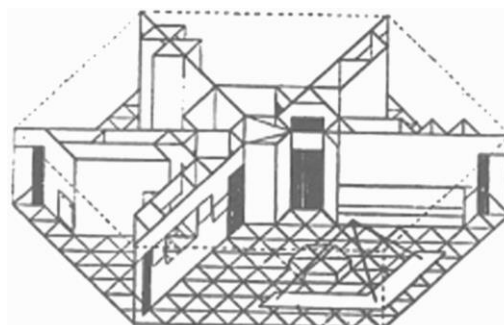
A la par de todos estos avances y estudios en el viejo continente, también se iban desarrollando en Estados Unidos conceptos similares para establecer la fachada ligera e independiente de la estructura; proyectos como los de Richard Buckminster Fuller, con su prototipo de cada “Dymaxion” en el año de 1929, plantea como fachada un envolvente con paneles de vidrio, fragmentando por completo la correspondencia entre la estructura de la edificación y su envolvente (imágenes 9, 10 y 11).



(IMAGEN 9)

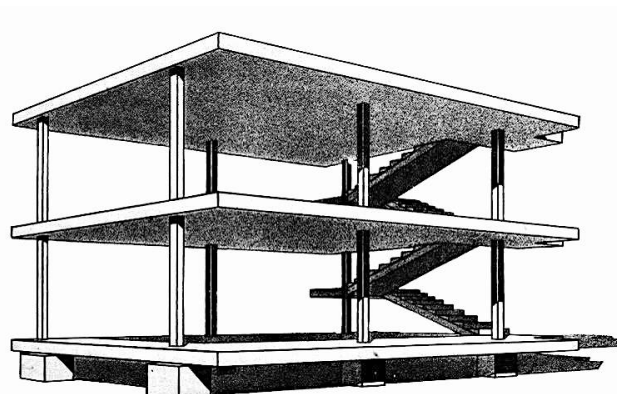


(IMAGEN 10)



(IMAGEN 11)

La arquitectura moderna se vive como ruptura, trajo sin duda un nuevo concepto de la envolvente de las edificaciones; la fachada debía ser montada en seco, ser autoportante y ligera; lo masivo es sustituido por lo liviano, y debía tener una clara diferenciación entre la fachada y la estructura; evidentemente, cumpliendo todas las exigencias de toda fachada cerramiento: aislamiento acústico y térmico, impermeabilidad, estanqueidad, etc. Así lo demuestra Le Corbusier al dibujar la estructura de las casas Dom-ino (imagen 12), y Mies van der Rohe con su Casa Farnsworth (imagen 13); como una ejemplificación de los nuevos ideales buscados en fachada. Estos ideales fueron cambiando y es el propio Le Corbusier que intuye de la necesidad de incluir no tan solo un paño transparente, sino ciertas transiciones que ayuden a mantener el balance térmico de la edificación, entonces introduce los célebres brise-soleil, para luego pasar al concepto de cerramiento en el que se van alternando los paños transparentes y translúcidos con otros ciegos, dando así su lugar de importancia nuevamente, a la tan activa relación vano-lleño para las fachadas en arquitectura.



(IMAGEN 12)



(IMAGEN 13)

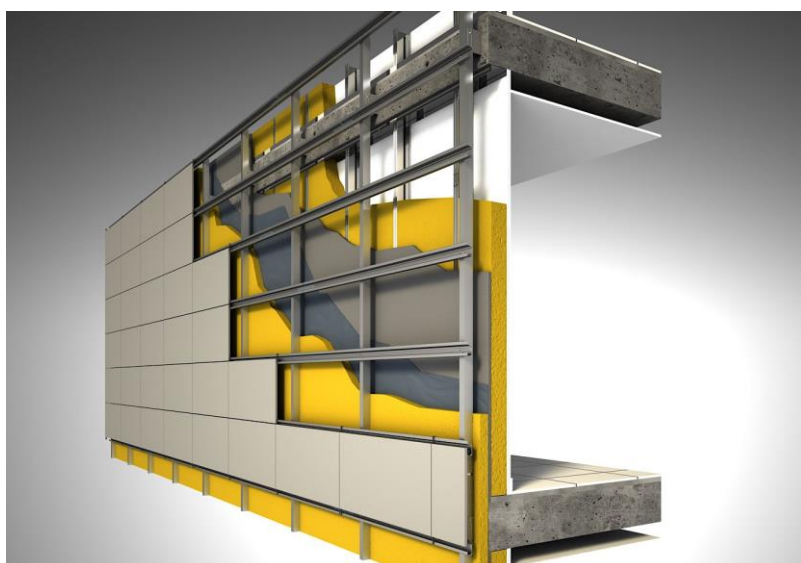
La resolución constructiva de este tipo de fachadas se basa netamente en la clasificación de funciones, ordenando una serie de elementos (que conforman la fachada) encargados de resolver todo en cuanto a lo estético, funcional, etc. Como elementos constructivos de la fachada ligera tenemos la estructura auxiliar, los anclajes, los paneles y sus juntas; siendo el panel (elemento sustentado por la estructura auxiliar) el que definirá el aspecto formal de la edificación, siendo en estos paneles en donde se desarrollan los mayores esfuerzos de investigación y tecnológicos en la industria de la construcción (Rodríguez Cheda & Raya de Blas, 1996).

Si bien la fachada ligera tiene un gran desarrollo dentro del campo de la arquitectura (como se ha descrito anteriormente), debemos además referirnos al concepto de fachada pesada, siendo esta categoría (dentro de las tipologías de fachadas) la que abarca todas las fachadas tradicionales (todas las diferentes mamposterías de ladrillo, piedra, enlucidos, etc.) además de englobar todos los tipos de fachadas trasventiladas y las prefabricadas.

Las fachadas trasventiladas tienen una tipología constructiva similar a las fachadas ligeras o muros cortina, de similar forma, también se estructuran en base a montantes, travesaños y placas de cerramiento, pero la diferencia con la fachada ligera radica en que todos los montantes se anclan a muros de obra gris ya construidos; a más, que las piezas de cerramiento que le dan el carácter a la fachada son pesadas, especialmente placas de cerámica o piedra.

Estos aplacados se montan y anclan con cierta separación en forma mecánica y en seco a la hoja interior del cerramiento (imagen 15), sus juntas se dejan abiertas con separación establecida según el tipo de placa o terminado, para así permitir la ventilación de la cámara a través de ellas. La cámara que se genera entre el muro de obra gris y las placas, posee un aislante térmico adosado al muro interno, y se ventila en forma permanente para que así evitar las condensaciones. Dependiendo del clima al cual esté sometida la fachada, cualquier entrada de agua que pudiera producirse, se evacúa escurriendo por la misma cara interior del aplacado. Como ventajas en este tipo de fachadas podemos destacar varias; prácticamente no existen puentes térmicos y la estructura del edificio queda aislada de las variaciones de temperatura exterior, expresando así una importante aportación al ahorro energético de la edificación, que puede ser hasta de un 20% a 30%, además de optimizar

el aislamiento acústico al convertirse en una nueva capa que envuelve a la edificación. La hoja exterior, por estar conformada por una serie de placas que se fijan en forma independiente, no necesita mucho espesor, ya que no presenta dilataciones excesivas. Como detalles técnicos para la resolución de las relaciones vano-llo en este tipo de fachadas, la unión entre la placa de terminado con la carpintería que generará la ventana se hace mediante juntas abiertas, esto permite la ventilación de la cámara por las jambas, el dintel y el alféizar. Para la resolución de salientes en caso de no ser la fachada plana, se debe considerar detalles específicos para evitar la generación de puentes térmicos, para luces de estructura en voladizo debe aislarse la cara inferior y el canto del forjado; mientras que para la resolución de los aleros se puede realizar una estructura independiente a la estructura de la edificación, la misma que se fija a las guías del aplacado reforzándolas, para luego aplicar las placas de terminado («Construmática», 2017).



(IMAGEN 14)

### 2.1.3 FACHADAS INTELIGENTES (PCM's y TIM's)

La "fachada inteligente" es una parte intrínseca de un edificio inteligente, refiriéndose a ese elemento que desempeña la función de envolver el interior habitado. Y si lo comparamos con las metáforas biológicas, parece más apropiado describir este elemento como la "piel inteligente", enfatizando su afinidad con la epidermis humana (Wigginton Michael & Harris Jude, 2002).

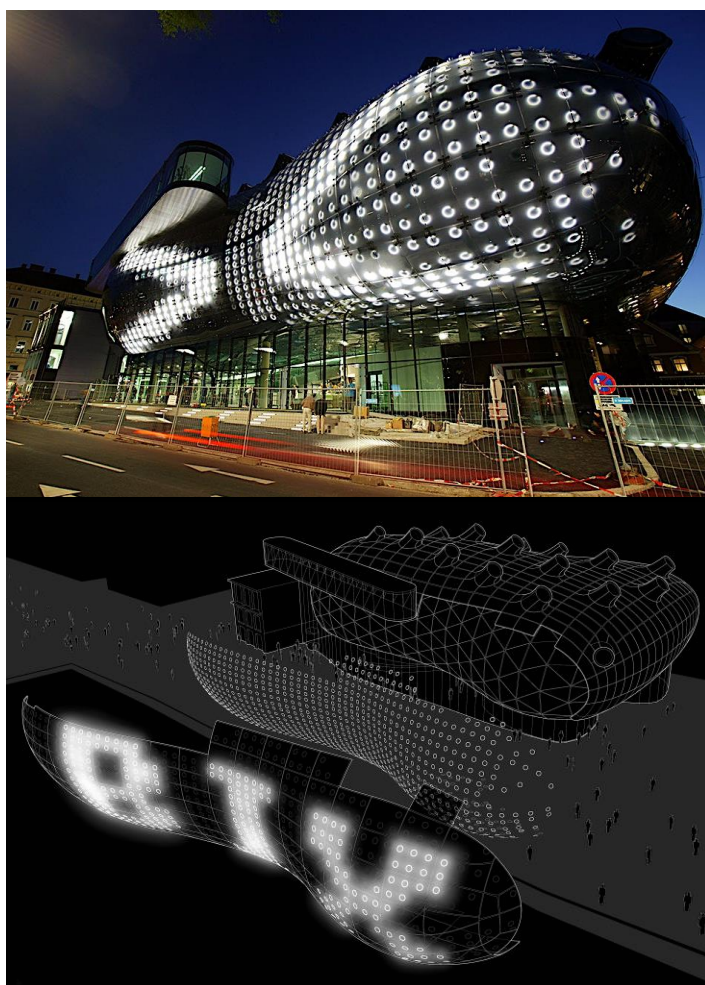
Durante los años 90, arquitectos como Herzog de Meuron, Bernard Tschumi y Jean Nouvel exploraron a la fachada como modo de comunicación, como expresadoras de significados, mediante superficies transparentes y pinturas impresas; y en su libro "La iconografía y la electrónica sobre una arquitectura genérica: una vista desde la sala de redacción" (1998), Venturi examina ejemplos de la cultura popular de la cartelera electrónica gigante, explicando el uso de la tecnología de la comunicación como elemento simbólico en la arquitectura, sin



(IMAGEN 15)

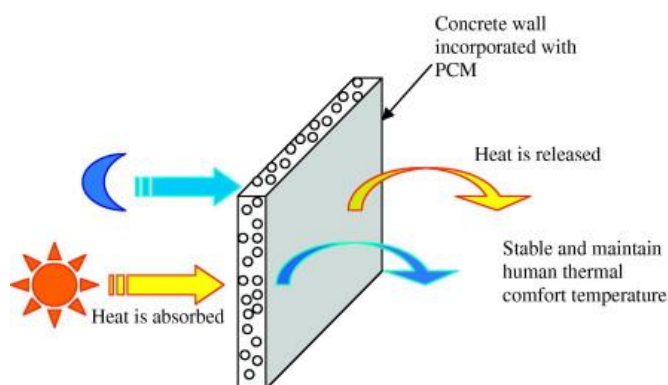
modificar el espacio como tal, ni su estructura o su programa; es decir, lo mantiene genérico y lo usa como comunicador; evocando este enfoque en los antiguos jeroglíficos egipcios, promoviendo el uso de la tecnología digital en la creación de fachada visual, dando así luces de que la fachada puede comenzar a concebirse y entenderse como un elemento cambiante y dinámico. Uno de los ejemplos iniciales y contemporáneos que encontramos en la aplicación de tecnologías computacionales en fachadas, lo identificamos el Museo de Arte de Peter Cook en Graz (imagen 16), que está cubierto con iluminación fluorescente controlada por una interfaz digital. Las luces en este caso, están completamente integradas en la piel curvilínea no genérica, y pueden usarse para mostrar patrones de baja resolución. Exploraciones de la interacción entre la imagen digital y el espacio se pueden encontrar en muchas instalaciones de arte reciente, en otros ejemplos encontramos de forma dinámica pantallas que se mueven a lo largo de la piel del edificio, mientras que también experimenta con el contenido (arte digital de la pantalla), combinando vistas que fluctúan entre tiempo real y ficción (Ron, 2012).

A la par de todo estas exploraciones y aproximaciones para visualizar la fachada como un elemento cambiante de estático a dinámico, y debido a los avances en la aplicación de fachadas ventiladas como la envolvente del edificio, se siguen desarrollando paneles que ayuden a mejorar aún más la relación de la edificación con el entorno. Para el caso de fachadas que no cuentan con cámara de aire, encontramos estructuras formadas por paneles tipo PCM (phase change material o placa con material de cambio de fase), siendo estos capaces de almacenar



(IMAGEN 16)

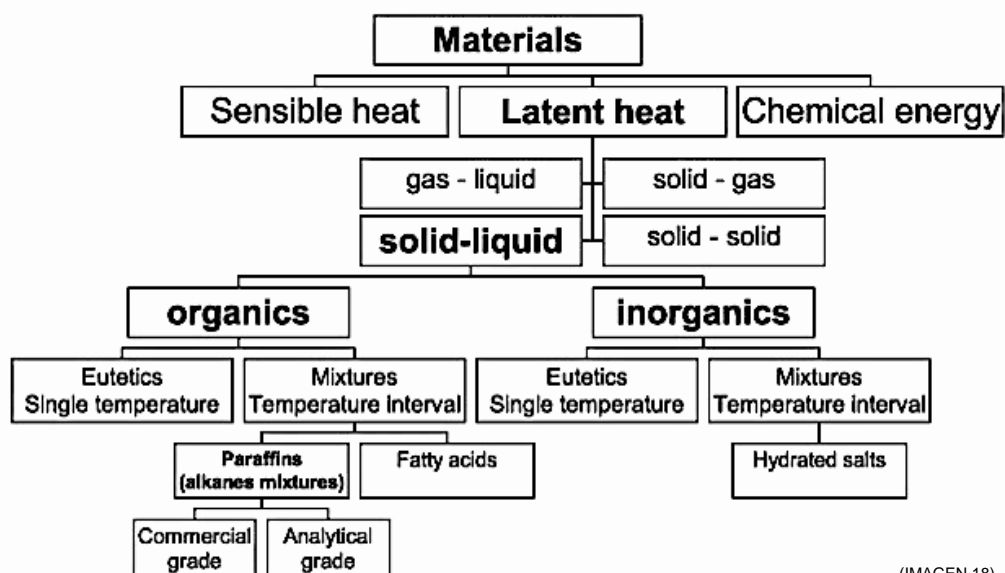
energía térmica y al ser combinados con estrategias pasivas (soleamiento, ventilación natural, etc.) pueden generar un ahorro energético del 40%. Los PCM se suelen incorporar como aditivos en materiales de construcción como por ejemplo yesos, yesos proyectables, morteros, placas de yeso, cartón-yeso, etc. El producto permite controlar la temperatura del interior de los edificios, proporcionando un equilibrio térmico tanto en invierno como en verano. Durante los cambios de fase, la temperatura de la habitación se mantiene constante, reduciendo o eliminando la necesidad de sistemas de aire acondicionado o calefacción. Los PCMs se caracterizan por ser sustancias que almacenan o liberan energía térmica en forma de calor latente; durante el día los “excedentes energéticos” (procedentes de la radiación solar, electrodomésticos, usuarios en el entorno de la edificación) favorecen su licuado, evitando el sobrecalentamiento del local y, durante la noche cuando la temperatura exterior baja, se solidifican liberando la energía acumulada al ambiente.



(IMAGEN 17)

El efecto es el de un muro grueso y pesado de gran inercia térmica, con la diferencia de que de su espesor (el del panel PCM) es no mayor a 2,5 cm. Los PCMs se han desarrollado para su uso en una amplia gama de temperaturas, de  $-40^{\circ}\text{C}$  a más de  $150^{\circ}\text{C}$ . Normalmente almacenan de 5 a 14 veces más calor por unidad de volumen que los materiales tradicionales usados para la construcción de fachadas de mampostería común. Entre las diversas opciones de almacenamiento de calor, los PCM son particularmente atractivos porque ofrecen

almacenamiento de energía de alta densidad y almacenan calor dentro de un rango de temperatura estrecho. Hay dos clases de energía calorífica: sensible y latente. Los sistemas de almacenamiento de calor más comunes, como un calentador de agua convencional, utilizan calor sensible, la energía necesaria para alterar la temperatura de una sustancia sin cambio de fase. El calor latente, que puede ser 100 veces el calor sensible, es la cantidad de energía necesaria para cambiar la materia de un estado a otro, líquido a sólido o viceversa. El calor sensible y el calor latente trabajan juntos en materiales de almacenamiento térmico como los PCM; esto da como resultado la capacidad de mantener temperaturas específicas durante periodos prolongados de tiempo. Según (Zalba, Marín, Cabeza, & Mehling, 2003), tenemos la clasificación de los PCMs (imagen 18) según el calor latente de sólido-líquido en materiales inorgánicos y orgánicos, aunque se destaca que muchos materiales están siendo estudiados pero no son de tipo de uso comercial.



(IMAGEN 18)

Los PCM también están siendo aplicados en la relación vano-lleño de la fachada como envolvente, para las ventanas como muestra (Ismail & Henríquez, 2002) en el que el sencillo concepto es explicado mediante la formación con una ventana de vidrio doble, separada por un espacio de cierto ancho, rellena con un PCM de cierta temperatura de fusión. Siendo el modo de funcionamiento como el antes explicado para los PCM en el que el vidrio externo recibe la radiación solar, donde parte de ella es absorbida, otra parte se refleja y el resto, aproximadamente el 80%,



se transmite a la región PCM (inicialmente en fase sólida), que absorbe parte de la energía recibida y refleja el resto, mientras que la temperatura interna permanece sin cambios. En la interface entre la lámina de vidrio externa y el PCM, la radiación absorbida por el PCM y el calor conducido por la superficie del vidrio elevan la temperatura PCM, convirtiendo una capa del PCM en un líquido. Este proceso continúa hasta que todo el PCM cambia a líquido, y consecuentemente, al interior de la edificación la temperatura comienza a cambiar.

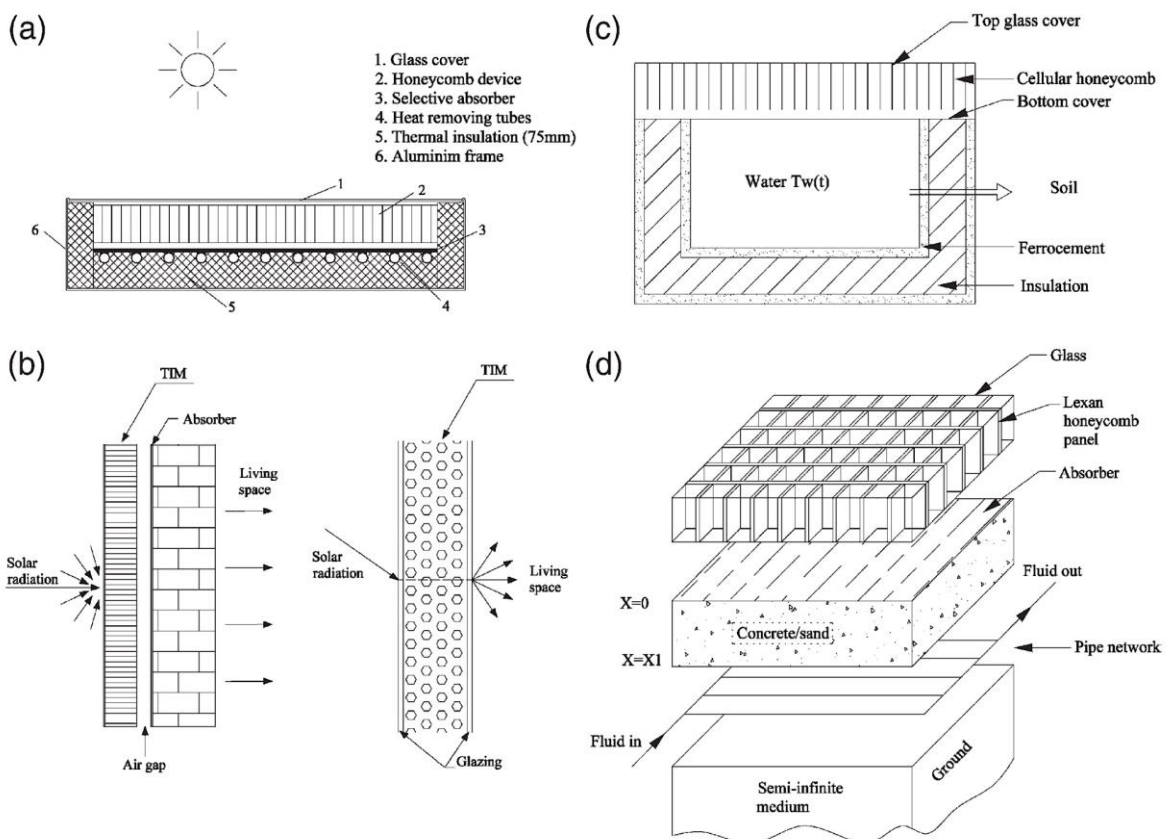


(IMAGEN 19)

Otro tipo material usado en paneles para la generación de envolventes como fachada, son los TIM (Transparent Insulation Materials) (imagen 19); que desempeñan una función similar al aislamiento opaco, pero tienen la capacidad de transmitir la luz solar y la energía solar, reduciendo la necesidad de luz artificial y calefacción, transmiten el calor, principalmente a través de la conducción y la radiación. Los materiales aislantes convencionales son a menudo opacos y porosos, y pueden clasificarse en tipos fibrosos, celulares, granulares y reflectantes. La característica térmica de estos materiales aislantes se especifica en términos de conductividad térmica. El aire estancado es un buen material aislante, ya que tiene una

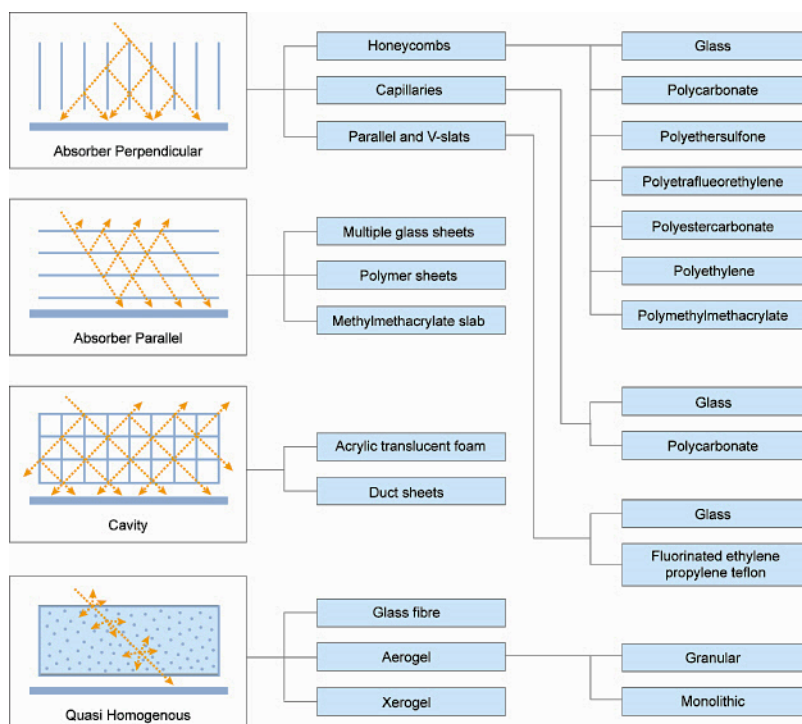
conductividad térmica de  $0,026 \text{ W / m-K}$ , los primitivos usaron el principio subyacente del aislamiento del aire al forrar sus prendas de vestir con pieles para protegerlas del clima invernal severo. Algunos materiales de aislamiento térmico de uso común, como fibra de vidrio ( $0,0225$ ), silicato de alúmina ( $0,035$ ), la lana mineral ( $0,0407$ ) y el silicato de calcio ( $0,057$ ) tienen baja conductividad térmica, lo cual depende del número de células de aire empacadas en los núcleos de los medios sólidos. El diámetro de las células de aire es aproximadamente  $0.09 \text{ }\mu\text{m}$ . El calor se transfiere a través de la aislación por conducción en medios sólidos, convección y radiación a través de células de aire. Los aislantes transparentes (TIM) representan una nueva clase de aislamiento térmico en el que se utilizan espacios de aire y espacios evacuados para reducir las pérdidas de calor no deseadas. Se compone de una matriz celular transparente (panal de abejas) sumergido en una capa de aire. Las capas de aire son similares a los materiales aislantes convencionales con respecto a la colocación de aberturas de aire en los medios sólidos transparentes. TIM son transparentes, sin embargo, proporcionan un buen aislamiento térmico. Son muy prometedores para la aplicación en el aumento de la ganancia solar de los sistemas de energía térmica al aire libre. La transmitancia solar y el coeficiente de disipación térmica son los dos parámetros utilizados para su caracterización. El principio físico fundamental utilizado en TIM es la diferencia de longitud de onda entre la radiación solar que es recibida por el elemento que absorbe y la radiación IR que es emitida por el dicho elemento (Kaushika & Sumathy, 2003).

En la imagen 20 observamos según (Kaushika & Sumathy, 2003) las aplicaciones constructivas de los TIM (Transparent Insulation Materials). Varios tipos de TIM son ahora conocidos, ellos pueden clasificarse acorde a varias consideraciones, tales como el proceso de manufacturación, el material, y la geometría celular que en ellos se dispone. En las fachadas, el uso y clasificación se da mayoritariamente según su geometría celular y existen estas variables (imagen 21): absorbedor paralelo, absorbedor perpendicular, configuración mixta, estructura con cavidades y los homogéneos. Las estructuras absorbedor-paralelas implican múltiples cubiertas de láminas de vidrio / plástico, que están colocadas paralelas al absorbedor. El principal problema asociado con esta estructura es que el número de cubiertas paralelas debe aumentarse para reducir la pérdida de calor, lo que reduce la transmitancia solar y limita la ganancia solar. En las estructuras perpendiculares del absorbedor, las paredes celulares se colocan perpendiculares al plano del absorbedor. La ventaja de esta configuración es la reflexión directa de la radiación solar por paredes verticales, permitiendo que una porción principal de la radiación incidente alcance el absorbedor. Las pérdidas de calor por convección y radiación pueden ser suprimidas significativamente por el diseño apropiado de las dimensiones de la celda. Las estructuras mixtas y de cavidad son la



(IMAGEN 20)

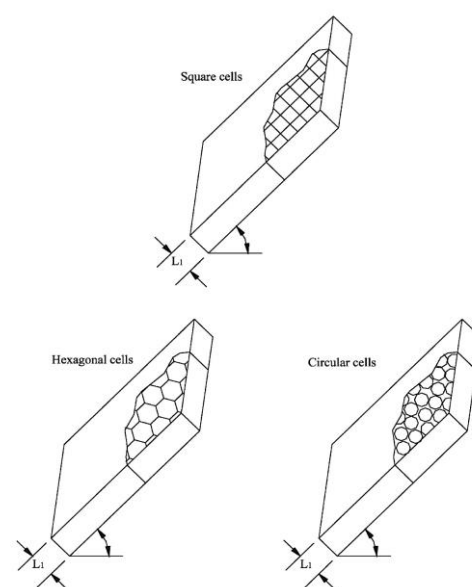
combinación de estructuras absorbentes paralelas y absorbentes verticales, que incluyen placas de conducto y múltiples hojas de plástico de pared. El problema asociado con esta estructura en la disminución de la transmitancia solar, pero las pérdidas de calor también se reducen significativamente. El material homogéneo incluye el TIM de fibras de vidrio y aero geles, estos materiales se pueden utilizar para temperaturas más altas. La transferencia de calor en los aero geles consta de tres componentes: conducción sólida, conducción de gas poroso y transferencias de calor irradiativo. La conductividad térmica del aero gel de sílice transparente aumenta



(IMAGEN 21)

bruscamente en la región de alta temperatura. Sin embargo, el aumento es bastante pequeño para la muestra de carbono opacificado. La dispersión de radiación y la absorción son poco más en estos materiales en comparación con otros TIM. La configuración más documentada es el tipo de absorbedor perpendicular, utilizando matrices celulares de panel, estas matrices celulares Honeycomb (tipo panel o hexagonales) tienen una larga historia tanto en aplicaciones naturales como en aplicaciones hechas por el hombre; otras distribuciones celulares para de los TIM como circulares o cuadradas también se desarrollan, estando igualmente encapsuladas entre dos capas o cobertores como (imagen 22). Hojas de vidrio y materiales poliméricos también se han utilizado en múltiples acristalamientos (imagen 23). General Electric Plastic Industries, Ltd., ha comercializado las láminas de plástico multiwalled (usadas como placa de fachada), que también se puede utilizar como absorbente paralelo TIM. Polygal Plastic Industries, Ltd., ha comercializado láminas de policarbonato estructurado con selectividad espectral (Kaushika & Sumathy, 2003).

El análisis presentado por (Čekon & Slávik, 2017) con TIM, centra en una fachada experimental no ventilada, expuesta a la radiación solar tanto en el laboratorio como en pruebas al aire libre. Debido al alto nivel de absorbancia solar de la fachada, se analizaron principalmente las contribuciones de alta y baja emisividad. Se realizó un análisis de los procedimientos termodinámicos y de estado estacionario que afectan al



(IMAGEN 22)





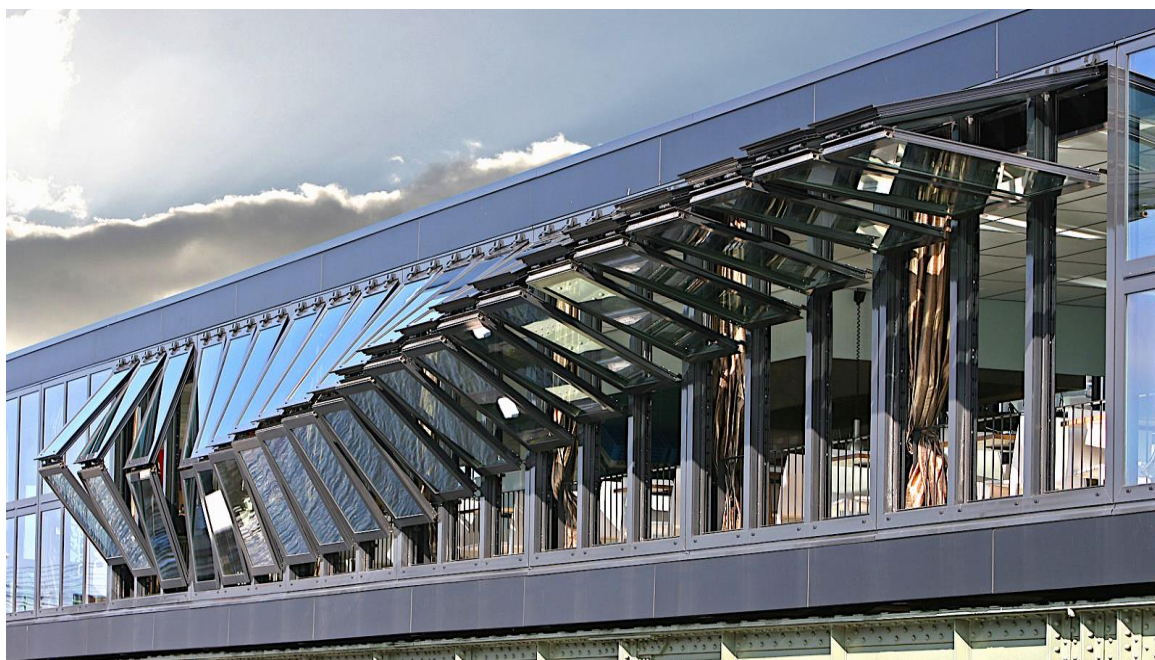
(IMAGEN 23)

concepto de fachada solar propuesto. Además, se analiza adicionalmente la transmitancia solar total de TIM aplicada en ensayos de pequeña y gran escala para demostrar su efecto sobre el ángulo de incidencia y otros aspectos específicos. Un indicador de la respuesta a la temperatura generada por la exposición a la radiación solar demuestra que el rendimiento al aire libre de la fachada está estrechamente relacionado con los fenómenos de sobrecalentamiento. Desde el punto de vista térmico, el concepto de aislamiento transparente y de amortiguador selectivo propuestos en este mencionado estudio, corresponde al rendimiento del aislamiento térmico convencional de idéntico grosor de material; sin embargo, el prototipo no selectivo sólo proporciona un 50% de rendimiento térmico. Se demuestra que este tipo de fachadas puede contribuir activamente al rendimiento térmico de los componentes del edificio durante los períodos de calentamiento.



(IMAGEN 24)

Aplicaciones arquitectónicas variadas, con este tipo de fachadas que utilizan materiales que combinan la tecnología TIM y los PCM (imagen 24) se están desarrollando a pequeña y gran escala inclusive debido al alto costo que esto demanda, siempre en busca de mejorar la relación del edificio/entorno y edificio/comfort de usuario, en términos de responsabilidad energética. En pequeña escala para los PCM encontramos ejemplos en colectores solares, calentadores y tanques de almacenamiento de agua, etc., y desde hace varios años se viene ocupando los TIMs en ventanas, paredes, tragaluces, cubiertas (Kaushika & Sumathy, 2003). Tomando en cuenta estos avances tecnológicos para aplicarlo en el campo de la generación de envolventes arquitectónicos, se podrá generar una optimización en el rendimiento térmico y energético de los edificios. Nuevas ideas y los últimos avances en la investigación de diversos materiales innovadores, como por ejemplo materiales con aspectos de cambio de fase (PCM), materiales aislantes transparentes (TIM), paneles de aislamiento al vacío (VIPs) y materiales específicamente basados en nuevas nano-tecnologías tales como aislamiento de aerogel, etc., se están convirtiendo en la base para una variedad de combinaciones potenciales en componentes de construcción futuros (Čekon & Slávik, 2017).



(IMAGEN 25)

Al hablar de fachadas inteligentes, no solo nos referimos (como en los párrafos anteriores) a todos los nuevos materiales que se encuentran en desarrollo en la actualidad; sino además, a todos los mecanismos y soluciones tecnológicas para hacer de la fachada un elemento que al ser envolvente sea integrador e independiente; que aporte bienestar y favorezca en términos de ahorro energético al funcionamiento interior de la edificación, dando prioridad y buscando como objetivo primario el bienestar para el ser humano y su entorno. Esto entonces, invita a los arquitectos y profesionales de la construcción a beneficiarse del gran desarrollo de la información digital, para aplicarlo dentro del diseño y construcción de los envolventes arquitectónicos, como pueden ser los sistemas de control electrónico para desarrollar sistemas arquitectónicos innovadores conocidos como sistemas cinéticos.

## 2.2 SISTEMAS CINÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Analizado desde el punto de vista tecnológico, la cinética o los sistemas cinéticos no son un concepto nuevo en arquitectura (lo serán pues, en el caso de la tecnología aplicada en fachadas); puertas tradicionales y las ventanas, son en realidad elementos cinéticos primitivos que representaban esta idea en las primeras construcciones. Desde entonces, estos sistemas han experimentado un gran desarrollo, de manual a mecánico y luego a sistemas electrónicos e inteligentes. También aparecieron en diversas formas, siendo partes de sistemas de circulación, elementos de sistemas de servicios o partes de sistemas de envolvimiento de edificios. El concepto de arquitectura cinética comienza tomar fuerza últimas tres décadas y empezó a atraer la atención tanto en el ámbito profesional como en el académico, siendo acogida por algunos arquitectos y grupos arquitectónicos importantes, esto se puede observar en la obras de Santiago Calatrava, Chuck Hoberman y el Instituto MIT (Ramzy & Fayed, 2011).

Para la explicación de los sistemas cinéticos en la construcción, debemos comenzar abordando toda la historia previa a la revolución industrial, ya que esta (como se explica antes al exponer las tipologías en fachadas), actúa como punto de ruptura histórico en el quehacer humano y por ende en la forma de generar arquitectura. Entonces los sistemas cinéticos se pueden identificar desde los comienzos de la arquitectura misma, ya que las puertas y ventanas tradicionales son un claro ejemplo de estos tempranos sistemas.

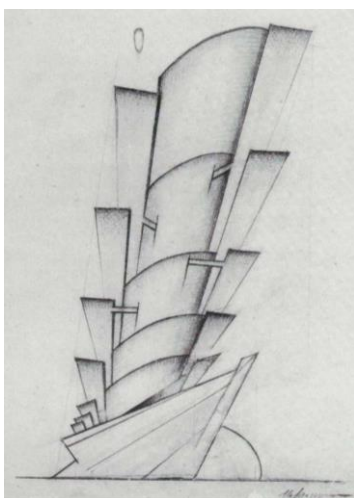


(IMAGEN 26)

Retomamos el concepto antes abordado en fachadas y su relación vano lleno, ya que los vanos o aperturas inamovibles siempre han estado presentes en las edificaciones, pero las aperturas deslizantes y pivotantes (sistemas cinéticos primitivos) fue un paso notable hacia la comodidad humana y el control ambiental de las edificaciones. Otros sistemas de cinética temprana también están ejemplificados en los puentes levadizos de madera (imagen 26), o los ascensores; para luego evolucionar o formar parte de sistemas mecánicos o hidráulicos. Al igual que para las tipológicas arquitectónicas en fachadas, podemos a la revolución industrial tomarla como punto de partida y promotora eficaz para la evolución de los sistemas cinéticos, ya que las maquinarias de vapor y luego los motores eléctricos representaron un desarrollo revolucionario en este sentido e inspiraron a los arquitectos para generar ideas nuevas como las edificaciones de gran altura. Con la aparición de nuevos conceptos inspirados por la revolución industrial, se comenzaron a desarrollar los ideales de una ciudad utópica; esto se puede observar en los dibujos de la “nueva ciudad”, plasmados por Antonio Sont’Elia (imagen 27) en donde la escala arquitectónica de los edificios intenta magnificar y simular a las máquinas (Ramzy & Fayed, 2011). Otras circunstancias y elementos claves que potenciaron estas nuevas utopías en arquitectura, aunque muchos de estos bocetos ideas nunca fueron construidos, fueron las ideas plasmadas en los dibujos de la arquitectura constructivista Rusa (imágenes 28 y 29) (Cooke Catherine, 1990).



(IMAGEN 27)



(IMAGEN 28)



(IMAGEN 29)

Una vez dados todos estos procesos mediante la revolución industrial, las técnicas que apoyaron el desarrollo de los sistemas cinéticos, fueron en gran medida desarrollados en la segunda mitad del siglo XX, todo esto de la mano del acelerado desarrollo de los sistemas electrónicos y digitales aprovechado por los arquitectos de la época para introducir toda esta nueva corriente tecnológica, a sus diseños y construcciones. En la post-guerra la corriente arquitectónica japonesa denominada Movimiento Metabolista, realiza progresos y trabajos notables en dirección del avance cinético en arquitectura, fusionando conceptos entre las mega estructuras arquitectónicas y el crecimiento biológico orgánico, sus principales representantes Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa, Fumihiko Maki y Kenzō Tange, manifiestan conceptos extensamente teóricos en sus planteamientos y ensayos titulados Material y hombre, Ciudad del Espacio, Ciudades del Océano y Hacia la Forma del Grupo. A la par y en la misma época de los japoneses, otra corriente que aportó con trabajos notables denominada Archigram se generó en la Asociación de Arquitectura de Londres, de la mano de Peter Cook, Ron Herron, Michael Webb, profesaban que la arquitectura debía reflejar vivacidad y energía, como entre las criaturas vivientes, además creían que a diferencia de los estilos y formas clásicas y tradicionales de hacer arquitectura, un edificio no debería durar cientos de años, sino más bien mutar y poder ser fácilmente demolido y reemplazado siendo capaz de utilizar sistemas como unidades de cápsulas distribuidas y colgadas de una mega estructura (imagen 30). Años posteriores a estas corrientes, también introdujeron pasos pioneros en esta dirección arquitectos como Frei Otto y Santiago Calatrava. Richard Buckminster Fuller se ocupó principalmente del desarrollo de nuevos sistemas estructurales, en los que se utilizan materiales ligeros; pero su logro más trascendente en la arquitectura cinética fue la unidad móvil prefabricada de Dilation House Deployable. Por otra parte, Frei Otto se distinguió por sus investigaciones en estructuras ligeras tensadas y



(IMAGEN 30)

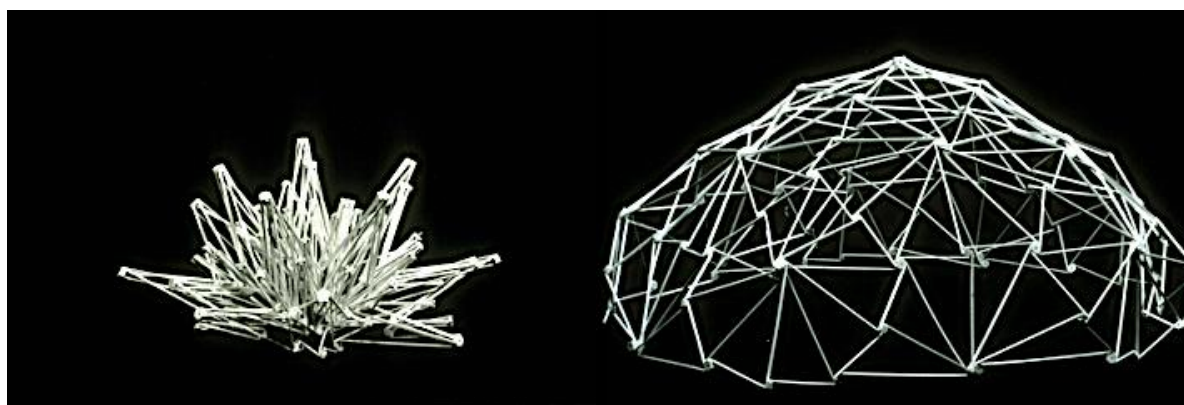


(IMAGEN 31)

suspendidas (imagen 31), desarrollando un programa informático para apoyar el diseño de tales sistemas y los amplió para incluirlos en estructuras de techos plegables (Ramzy & Fayed, 2011).

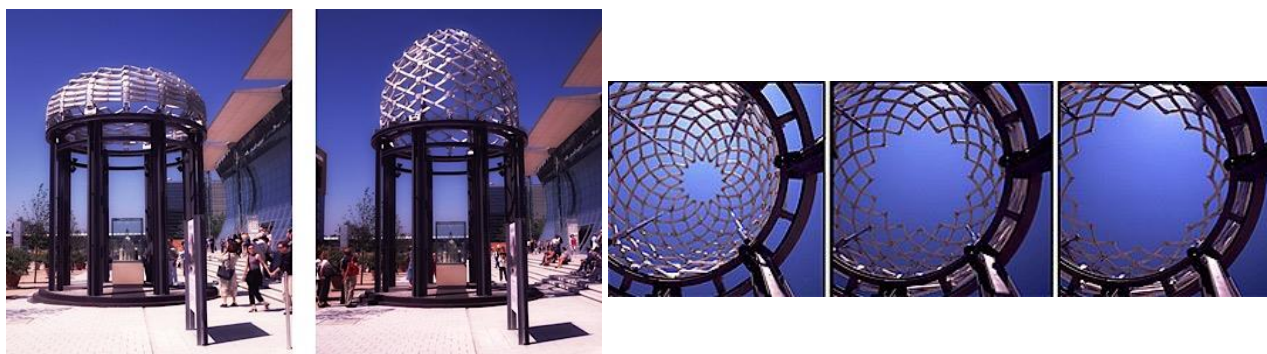
Referente a la obra y aporte de Santiago Calatrava para la cinética en arquitectura e ingeniería, ha diseñado y construido edificios, estaciones, estadios deportivos, auditorios, torres, puentes, etc., en todo el

mundo, y teniendo ellos luego de creados una alta calidad y entregando valor añadido al lugar, hasta el punto de convertirse en algunos casos en hitos del sitio de emplazamiento; todo esto de la mano de avanzada tecnología aplicada, generando inclusive el estudio de modelos 3d para transformaciones en compresión (imagen 32). Por lo tanto, fue sólo cuestión de poco tiempo antes de que los diseñadores interesados en la belleza y la apariencia (predominantemente arquitectos) y la mayoría de ellos con baja formación técnica pero con poca restricción técnica a su libertad creativa, empezaron a colaborar con los ingenieros estructurales, desempeñando un papel cada vez más importante en diseños que en la actualidad son interdisciplinarios, principalmente en puentes de corto y mediano alcance situados en ambientes urbanos, donde la calidad estética puede ser un objetivo deseado, o incluso primario (Jorquera Lucerga, 2013).



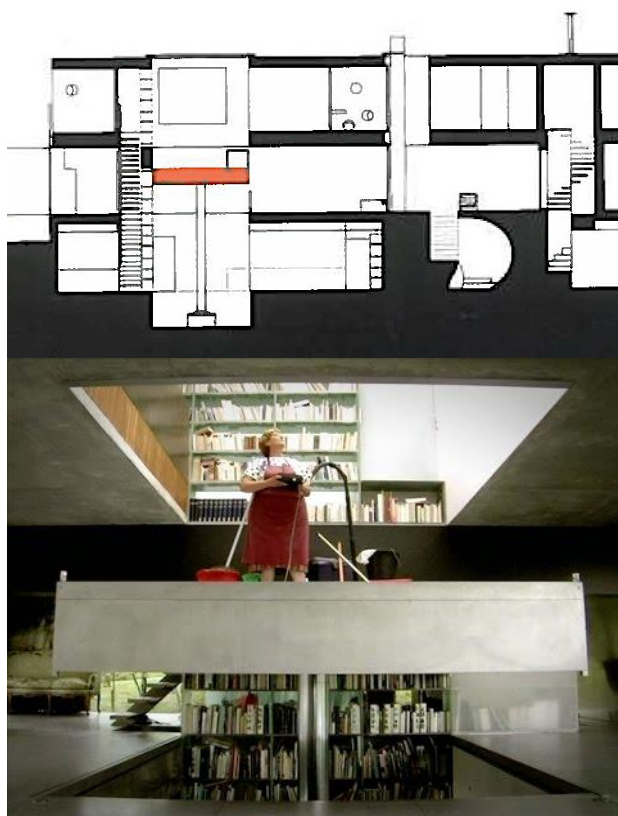
(IMAGEN 32)

Sin embargo, de todo lo referente a la cinética en arquitectura a lo largo del siglo XX, son los aportes de Chuck Hoberman los más importantes, ya que desarrolló un sistema estructural mecánico, ligero y flexible utilizando un grupo de unidades articuladas, sobre todo de aluminio, para formar diseños móviles. El domo iris (imagen 33) que es una estructura desplegable de diafragma, conformado por espirales entrelazadas que se cierran tal cual el iris de un ojo, desplazando el material de cubierta en su perímetro fue plasmado en el año 2000 en Alemania. También colaboró con la adición de sistemas cinéticos a algunos de los diseños de Norman Foster (Ramzy & Fayed, 2011).



(IMAGEN 33)

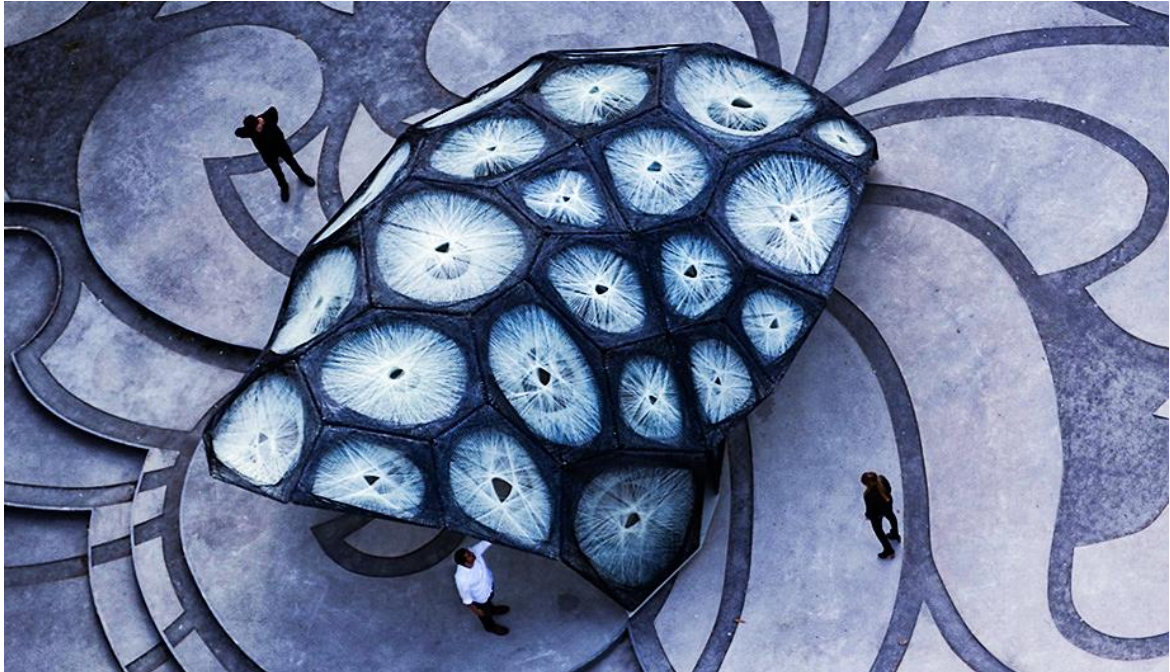
Según (Ron, 2012), se puede instaurar una clasificación por categorías en lo referente a algunos antecedentes de sistemas cinéticos en la construcción, sintetizándolas en estructuras cinéticas introducidas (las que son incorporadas a la edificación), cubiertas operables, pisos móviles y, aberturas móviles en fachadas de edificaciones. Las estructuras incorporadas a la edificación se realizan mediante una integración de una estructura cinética nueva a la estructura genérica de la edificación, su función principal radica en comportarse en su conjunto como un todo, integrándose para responder a las necesidades antes requeridas según el diseño; siendo estos sistemas principalmente desarrollados y encontrados en los trabajos de los antes mencionados Calatrava y Hoberman. Las cubiertas operables son esencialmente encontradas en edificaciones que cuentan con techos que se abren o cierran generando eficacia en control lumínico y energético, mediante su adaptación a las necesidades de iluminación y ventilación. Los pisos móviles, se han aplicado en plataformas con un sentido más comercial, aplicadas en restaurantes y miradores han buscado ser de uso más turístico comercial, y no tanto residencial; pero un ejemplo residencial de



(IMAGEN 34)

esta aplicación cinética (a pesar del alto costo para generarla), la encontramos en la Maison Lemoine (imagen 34), proyecto desarrollado por Rem Koolhaas en Francia, en el que vemos como parte del programa funcional de la vivienda, un piso móvil (elevator en plataforma) en sentido ascendente y descendente, para abarcar los 3 niveles de desarrollo en altura de la edificación. Las aberturas móviles en las fachadas las encontramos en algunos proyectos del antes mencionado Hoberman, en los que se generaron superficies hechas de paneles móviles, para aplicarlas en las fachadas buscando que estas permitan controlar la transparencia visual y privacidad, ventilación y niveles de incidencia solar hacia el interior (Ron, 2012). Esta clasificación, resulta de manera muy general, y sobre todo basada en ejemplos de aplicación encontrados por el autor, pero debido al gran desarrollo de estos sistemas aplicados en arquitectura deberá profundizarse hasta llegar a categorizarlas según su contribución y tipología.

## 2.3 SISTEMAS CINÉTICOS AVANZADOS EN ARQUITECTURA



(IMAGEN 35)

*“Any serious rethinking of architecture at the start of this century cannot be undertaken without upsetting the structure and emphases of the traditional profession, of traditional typologies, and of traditional modes of envisaging the architectural subject (...)” (Hazmy, 2012)*

El término cinético se origina de la palabra griega "κίνησις", indicando movimiento o el acto de movimiento. La arquitectura cinética implica entonces la integración de un determinado grado de movimiento ya sea una parte o del conjunto de partes de una edificación (Ron, 2012). Además, se define a la arquitectura cinética como una edificación o componentes de esta, que tienen ubicación, movilidad y/o geometría variable; mientras que los sistemas informáticos interpretarán las circunstancias funcionales y administrarán todos los movimientos controlados por el generador de energía o motor para adaptarse en respuesta a la mejor opción según las necesidades cambiantes y según las premisas de diseño con las que se hayan considerado la utilización de sistema cinético. La cinemática en cambio, es el estudio del movimiento sin consideración de las fuerzas, se encarga de diseñar los movimientos deseados de los elementos mecánicos considerados y luego calcular matemáticamente las posiciones velocidades y aceleraciones que tales movimientos generan sobre dichos elementos, mientras que la cinética el estudio de las fuerzas que producen sistemas en movimiento (Fox & Yeh, 2000).



(IMAGEN 36)

Es entonces a finales del siglo XX que el término "inteligencia artificial" comenzó a estar presente en varios ámbitos del quehacer humano, y es que este término hace referencia a tratar de crear máquinas basadas en sistemas informáticos o computarizados, que tienen la capacidad de realizar actividades y trabajos similares a los que puede realizar el ser humano, de toda esta nueva corriente diferente al percibir la relación del ser humano con su entorno, se derivan los sistemas robóticos y los sistemas de control remoto. En las últimas décadas, esta tendencia comenzó a tener lugar también en algunas aplicaciones arquitectónicas y especialmente en el desarrollo de sistemas cinéticos inteligentes que incluyen todas las aplicaciones, avances y experimentos anteriores que se habían desarrollado a lo largo del siglo XX, además de nuevas aplicaciones como sistemas inteligentes de ascensor, sistemas automáticos de aparcamiento y sistemas cinéticos biomecánicos inteligentes ( que aún se encuentran en etapas iniciales de desarrollo y experimentación) (Ramzy & Fayed, 2011).

Los sistemas cinéticos inteligentes se pueden llegar a desarrollar en el ámbito de la arquitectura debido a la aproximación y conexión de tres elementos clave: innovación estructural y avance de materiales (imagen 38), mecanismos de control (tecnología de sensores) (imagen 37) y arquitectura adaptable (tipologías cinéticas en arquitectura) (imagen 36). En la confluencia y coordinación de diseño entre sí, de estas áreas antes mencionadas, encontramos la posibilidad de desarrollar e iniciar experimentación sobre una arquitectura inexplorada, que deberá ser perfeccionada para responder a las necesidades dinámicas, flexibles y en constante cambio de hoy en día. Hasta hoy, en estas primeras aplicaciones de sistemas cinéticos inteligentes en arquitectura, podemos puntualizar que son únicos ya que abordan en diseño objetos que habitualmente en arquitectura son interpretados y materializados como elementos estáticos. La innovación estructural y avance de materiales (el primero de los elementos que deben convergir entre sí), se aborda para explicar la función cinética como una estrategia de diseño tecnológico para generar arquitectura en construcciones que sean eficientes desde el punto de vista morfológico, y flexibles con respecto a diversos contextos y una diversidad de propósitos según las características del entorno en el que se emplacen, todo esto para proveer al elemento de la edificación o a la edificación como tal, de adaptabilidad, transportabilidad, despliegue, conectividad y productividad. En la actualidad



podemos palpar claramente en el ámbito de la construcción que las tecnologías de fabricación han evolucionado hasta el grado en que la creación de soluciones cinéticas puede ser efectiva y factible. Todo esto no se genera directamente en el campo de la construcción, sino más bien es un tema que está siendo explorado paulatinamente, aprovechando y tomando mano de las soluciones cinéticas que explotan el potencial de avance tecnológico de otros campos no necesariamente referentes al sector de la arquitectura o de la construcción, como pueden ser como el automotor, el marítimo y la aviación; y son especialmente desarrolladas para aprovechar de estos otros campos, la tecnología, los materiales y sus técnicas. Los mecanismos de control (tecnología de sensores) (el segundo de los elementos que debe converger), hace referencia al mecanismo de control mediante software y computadores, para responder y adaptarse a las necesidades cambiantes; mientras el último elemento a converger será la arquitectura adaptable (tipologías cinéticas en arquitectura), se refiere a la flexibilidad que un espacio tiene para acomodarse a las necesidades y requerimientos de las actividades que en este desarrollen los usuarios; esta armonía que podría tener el espacio arquitectónico, abarca desde la reorganización del interior de múltiples usos, o la transformación completa de la estructura, y hasta la adaptación de los programas de diseño y uso. Esta búsqueda de una arquitectura adaptable, toma en cuenta toda la responsabilidad social y ambiental que debe estar intrínseca en el ámbito de la construcción, a más de entender los rápidos cambios que se pueden dar en la relación del ser humano con el entorno construido (Fox & Yeh, 2000).

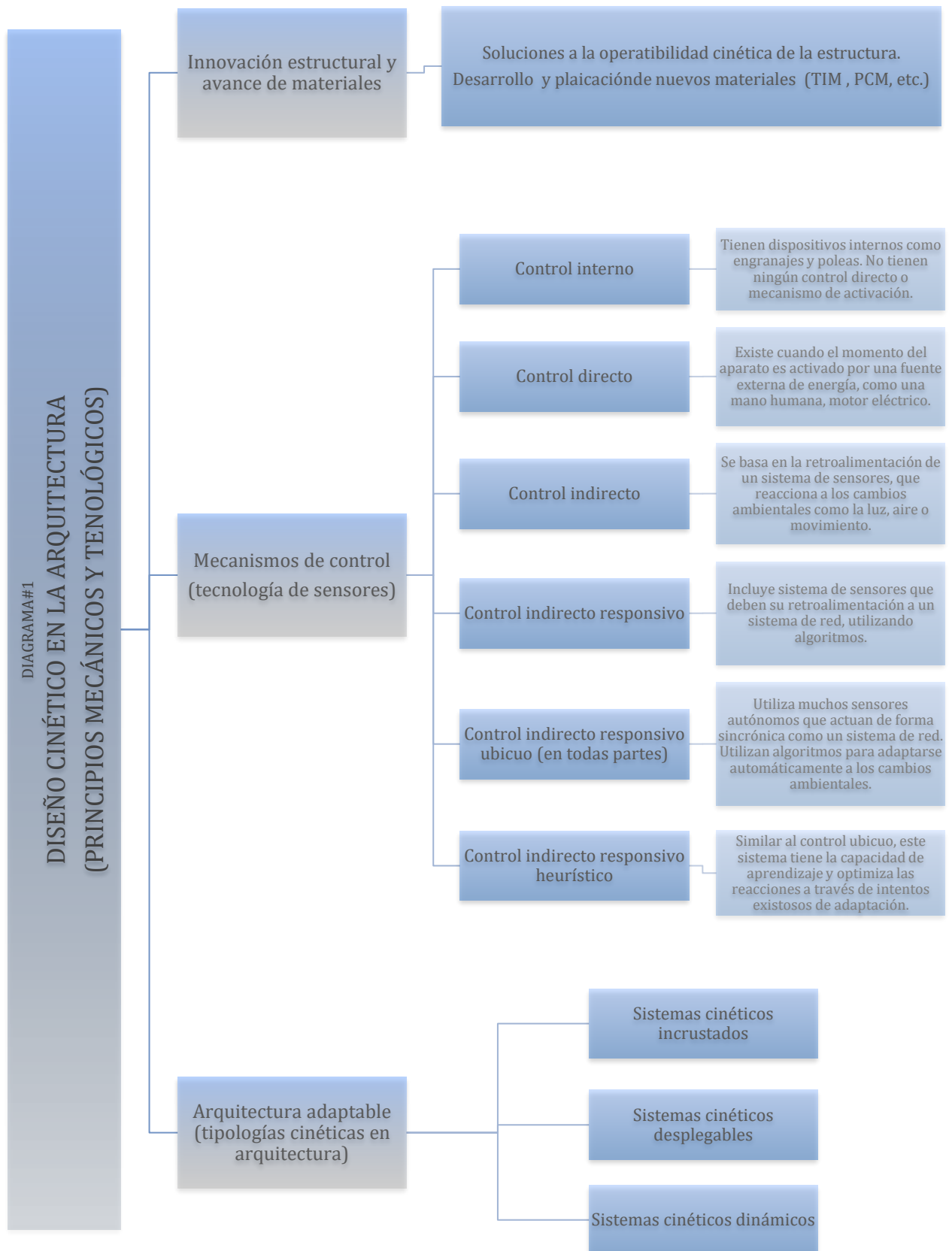
A continuación, se presenta un diagrama (DIAGRAMA #1) explicativo de lo antes descrito y de algunos principios generales mecánicos y tecnológicos relevantes, que resuelven inteligentemente el diseño cinético en la arquitectura.



(IMAGEN 37)



(IMAGEN 38)





El desarrollo de esta investigación está centrado en concebir una arquitectura adaptable, no obstante, la innovación estructural y los mecanismos de control deberán ser abordados posteriormente. Entonces, podemos desarrollar tres clases generales de tipologías cinéticas en arquitectura (arquitectura adaptable); no identificándolas por tipo de sistema con nombre propio (como el de “cubiertas operables”) sino más bien agrupándolas en categorías, según su diferente interacción en términos de escala y uso, que están usualmente determinados por cómo el sistema actúa arquitectónicamente por su cuenta, o como actúa siendo parte sub conjunta de un todo. Estos tres grupos de categorías son: sistemas cinéticos incrustados, sistemas cinéticos despleguables y, sistemas cinéticos dinámicos (Adler, 2013).

### 2.3.1 SISTEMAS CINÉTICOS INCRUSTADOS



(IMAGEN 39)

Son parte integrante de la construcción de un edificio, destaca su importancia dentro del todo en la estructura en la cual interviene; es decir, que no se puede prescindir de este sistema para la generación de la edificación; o lo que es lo mismo, la edificación no podía haber sido construida sin este sistema, ya que el sistema está presente desde la concepción original e idea de diseño. Controla elementos arquitectónicos más grandes y responde a los cambios (según las premisas de diseño), generalmente está caracterizado por un sistema cinético general más grande o mayor, que consta de elementos más pequeños, es el tipo de sistema cinético más común con respecto a fachadas cinéticas (Adler, 2013).

De estos sistemas cinéticos incrustados, identificamos varios ejemplos; uno de interés mundial debido al estar vinculado con el deporte más popular del mundo, el fútbol; lo encontramos en el proyecto Allianz Arena ubicado en Munich, Alemania (imágenes 39 y 40), en el año 2005. Realizado por la firma Herzog & de Meuron, en este proyecto la fachada es el elemento cinético incrustado, ya que actúa como un “display” de exhibición para los colores de los equipos dueños propietarios del estadio, ya que el revestimiento (la piel que forma la fachada) está formado por una matriz de 2,874 cojines individuales en forma de diamante del material ETFE (Ethylene Tetrafluoroethylene Copolymer), que son flexibles y están anclados a un

sistema de aluminio mediante clips. Estos cojines de ETFE mantienen una presión de aire constante, gracias a 12 estaciones de bombeo, controlando además que esta presión sea variable y fluctúe para adaptarse a las condiciones del medio ambiente, según la estación del año. El sistema de iluminación LED, está anclado en los bordes al interior de los cojines de ETFE, y es distribuido por un sistema gradiente de puntos impresos alrededor de toda la fachada.



### 2.3.2 SISTEMAS CINÉTICOS DESPLEGABLES

Estos sistemas cinéticos desplegables, permiten la deconstrucción y reconstrucción, el montaje y desmontaje de la arquitectura en varios lugares. El sistema se desarrolla dentro de una estructura, que actúa como límite y marco para su desenvolvimiento. Este tipo de sistema cinético es de fácil movilidad y transporte, se lo despliega en locaciones temporales, el sistema general es a menudo modular y reorganizable (Adler, 2013). Entre los ejemplos que encontramos están exposiciones itinerantes, escenarios de concierto y estructuras de carpas. Una aplicación manifiesta de este sistema, la hallamos en el año 2005, en un prototipo de residencia que podría ubicarse y adaptarse a varios entornos, Horden Cherry Lee desarrolló la Micro-Compact Village (imagen 41), proyecto que es una casa prototipo modular, con estructura y compactación ligera, transportable, cuyo diseño está principalmente inspirado en las tipologías de la arquitectura japonesa (casa del té). El proyecto es una serie de viviendas desarrolladas en sentido de un eje vertical, que incluye la circulación y las zonas comunes. Cada unidad de vivienda está conformada por dos niveles, con flexibilidad en el programa arquitectónico para albergar más ocupantes. El sistema estructural de este conjunto está basado en aleaciones entre metal (aluminio) y madera.



(IMAGEN 40)

### 2.3.3 SISTEMAS CINÉTICOS DINÁMICOS

En la actualidad, referente a aplicaciones en arquitectura cinética, estos sistemas dinámicos, son la forma más común que existen en la práctica, ya que son usualmente componentes que se puede operar y cambiar, pero no son parte integral de la arquitectura, forman parte de una arquitectura efímera, son movibles de una ubicación a otra dentro de un espacio determinado, pueden transformarse según su dinámica en varias configuraciones (a pequeña escala), son del tipo de configuración en el que pueden interactuar para adicionar o prescindir de elementos (que son las partes del todo), pero no forman parte de la totalidad de la estructura de ninguna construcción, pudiendo existir independientemente de cualquier edificación.



(IMAGEN 41)



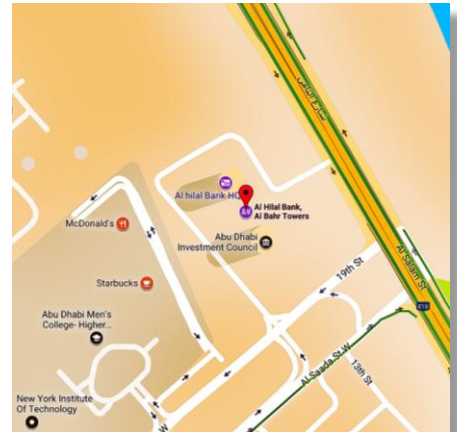
## 2.4 PRECEDENTES (CASOS REFERENCIADOS)

*"We must admit that there is something in the order of being which evidently exceeds all our competence."- Vaclav Havel*

Esquematizamos algunos casos de estudio, los referenciamos principalmente para ilustrar la arquitectura cinética aplicada en fachadas y el desarrollo aplicativo del estado del arte en lo referente a los procesos paramétricos de los sistemas cinéticos incrustados, y dinámicos.

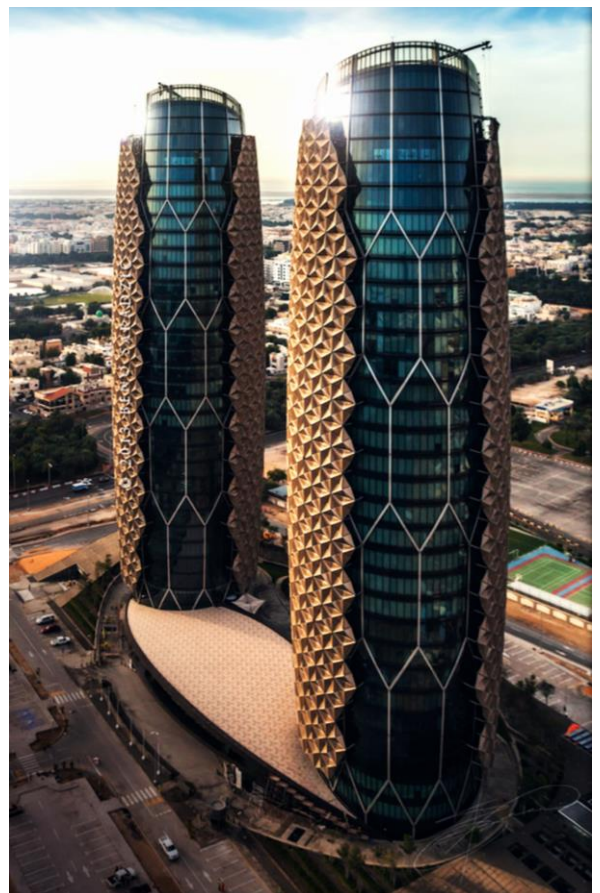
### 2.4.1 CASO REFERENCIADO #1 (Al Bahar Towers)

- **PROYECTO:** Al Bahar Towers
- **UBICACIÓN:** Abu Dhabi
- **PROYECTISTA:** Aedas Architects.
- **AÑO:** 2012



#### INTRODUCCIÓN

Este proyecto es hasta la fecha, el más grande exponente de arquitectura cinética en el campo de la construcción. Se trata de dos torres de rascacielos ubicadas en Abu Dhabi, con un programa funcional destinado para oficinas corporativas que se desenvuelve en 25 niveles por cada torre, con coeficiente de utilización de alrededor mil empleados por torre. Proyecto ganador del premio a la innovación CTBUH (Council in tall Buildings and Urban Habitat) en el año 2012 el estudio Aedas Architects fue el encargado de diseñar estas torres que funcionan albergando la nueva sede del Consejo de Inversiones de Abu Dhabi, proyecto que se enmarca dentro del plan de desarrollo hasta el año 2030 diseñado para esta ciudad; cumpliendo de manera dinámica su adaptación al contexto cultural y respondiendo de manera integral a las necesidades climatológicas de la zona de emplazamiento. Estas torres son una ejemplificación perfecta de la conexión entre los tres elementos clave antes mencionados para conseguir una arquitectura cinética: innovación estructural y avance de materiales, mecanismos de control (tecnología de sensores) y arquitectura adaptable.

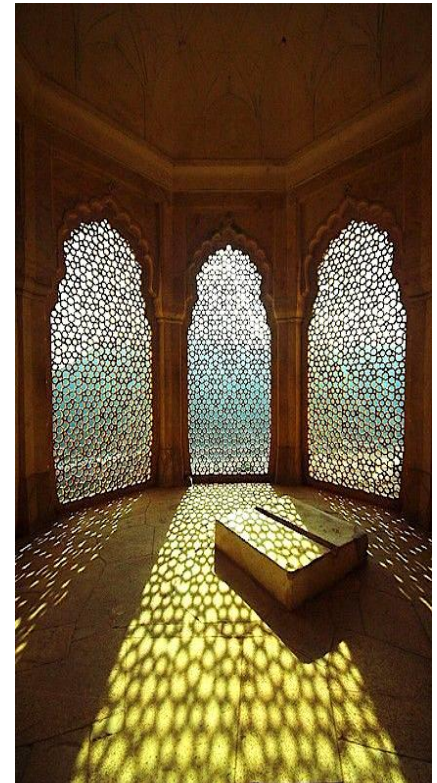


(IMAGEN 42)

## SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA

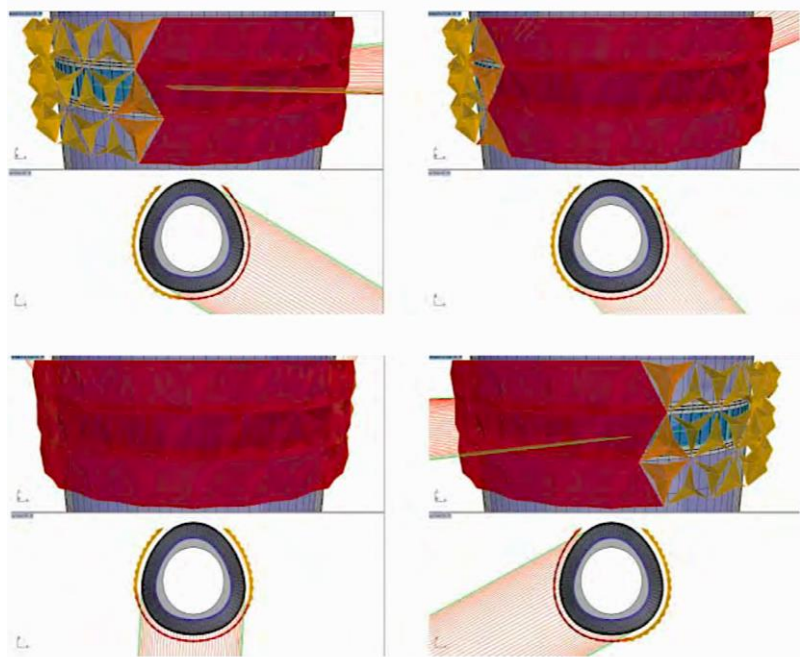
*“Many believe that the façade is the real battleground in the fight for better building sustainability. Al Bahar could thus be considered the advanced guard in that fight.” Antony Wood, Juror, CTBUH.*

Debido a su delicada implantación por la localización del proyecto, la firma proyectista ha basado el diseño cinético en la generación de una fachada inteligente que responde y se adapta a las necesidades cambiantes climatológicas de la zona, ya que el clima promedio está determinado en 37° C, vientos arenosos, y 0% de probabilidad de lluvia. Esto resulta una premisa importante dentro de las consideraciones para el diseño ya que con el diseño equivocado este tipo de torres tiene una alta posibilidad de fracasar en cuanto a un confort interno idóneo. Las torres están ubicadas en la ciudad de Abu Dhabi, capital de los Emiratos Árabes Unidos, en la entrada oriental de la ciudad, entre las vías Al Saada y Al Salam.



(IMAGEN 43)

El sistema cinético de la fachada está basado conceptualmente en la arquitectura tradicional árabe, y toma como referente los denominados "masharabiya" (imagen 43) que son las celosías tradicionales islámicas para proporcionar sombras hacia el interior de las edificaciones, ganar privacidad y reducir la incidencia del sol. Para la implantación de las torres, se dejaron “descubiertas” de la protección del sistema cinético las caras con orientación hacia la cara norte del conjunto (imagen 42 e imagen 44 que ilustra la planta tipo de las torres y su fachada, con el recorrido solar sureste – suroeste incidiendo sobre el sistema cinético). Esta pantalla cinética se estructura como una nueva piel adherida desde el exterior a la fachada de muro cortina, y está diseñada paramétricamente para adaptarse durante el día al recorrido del sol. Cada una de las torres (imagen 45 que ilustra el

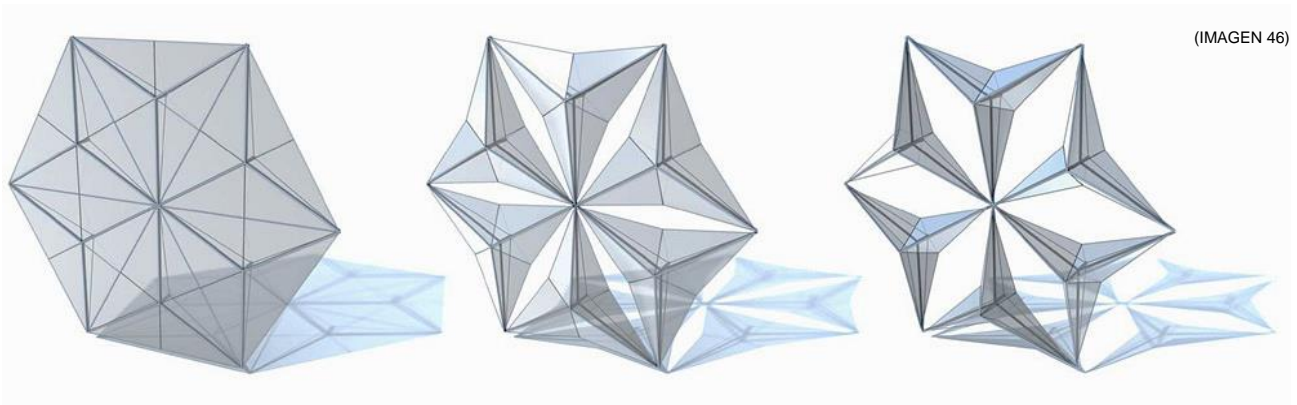


(IMAGEN 44)



(IMAGEN 45)

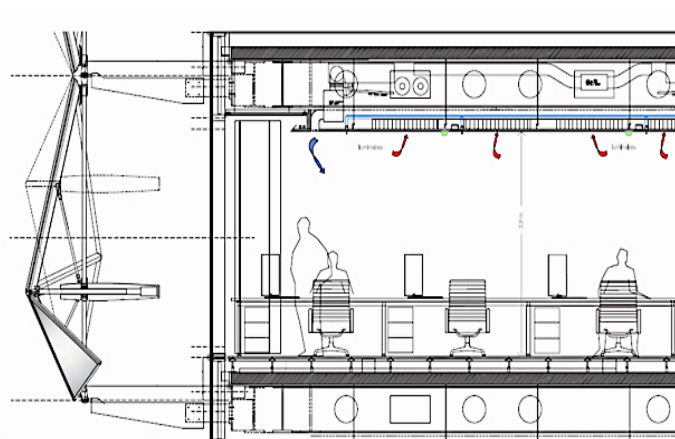
sistema cinético en cada torre, en contraposición de una torre vecina que gastará alrededor del 50% más de energía para conseguir un interior confortable) está equipada con la fachada cinética que tiene alrededor de mil partes o componentes de sombra que conforman la totalidad del sistema, todos ellos controlados por un sistema computarizado. Cada pieza o panel (imagen 46) que conforma el total de la fachada está formada por paneles de PTFE (polytetrafluoroethylene), y está dirigida por un controlador que progresivamente abre o cierra individualmente cada panel en respuesta a la incidencia del sol, esto está pre configurado para que la incidencia solar está limitada a un máximo de 400w por cada metro lineal; adicionalmente, toda la estructura está conformada por sensores que operan los paneles y protegen a las torres de las condiciones extremas del exterior



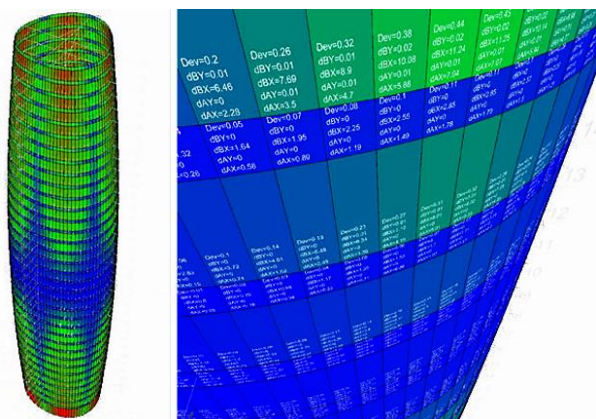
(IMAGEN 46)



(IMAGEN 47)

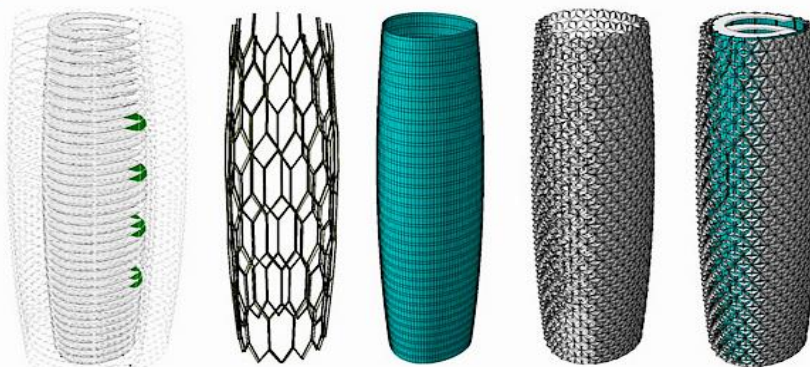


o los problemas de vientos excesivamente fuertes como nubes de polvo; en la noche todos los paneles se cierran. La pantalla cinética, actúa en una estructura independiente y está anclada a dos metros de distancia del muro cortina interior (imagen 47 e imagen 49 que ilustran el anclaje del sistema con estructura independiente), esto permitió a los arquitectos proyectistas trabajar con el muro cortina aplicando un vidrio menos tintado, y así ganar iluminación natural al interior y reducir el uso de energía para la iluminación artificial. En el sistema de cubiertas, está también pensado un diseño sustentable, ya que cada torre en las cubiertas orientadas hacia el sur incorpora células fotovoltaicas, que son utilizadas para generar energía para el calentamiento del agua en las torres. Podemos entonces resumir como beneficios de este sistema cinético:



(IMAGEN 48)

hacia el interior de la edificación, optimiza la penetración de la luz del día hacia el interior (imagen 48, ya que el sistema cinético permite ocupar vidrios menos tintados), reduce consumo de energía por luz artificial, reduce entre el 45% y el 55% de la incidencia solar sobre la edificación, lo cual se traduce en una reducción de aproximadamente 1,700 toneladas de CO2 anualmente, reduce las necesidades del uso de A/C (Dhabi, 2012).



(IMAGEN 49)





## 2.4.2 CASO REFERENCIADO #2 (Instituto del Mundo Árabe)

- **PROYECTO:** Instituto del Mundo Árabe
- **UBICACIÓN:** París, Francia
- **PROYECTISTA:** Jean Nouvel.
- **AÑO:** 1987

### INTRODUCCIÓN

Proyectado en la ciudad de París, con la finalidad de reconocer la representación secular del mundo árabe en Francia, esta edificación representa una de las tempranas expresiones de la arquitectura cinética (imagen 50). La concepción de este proyecto en el año de 1987 fue la principal propulsora del renombre que luego adquiriría el arquitecto Jean Nouvel. En el año de 1980 Francia juntamente con miembros de la Liga de los Estados Árabes, acordaron un proyecto conjunto para construir un instituto que cubra el desconocimiento de todo lo que implica la cultura árabe-musulmán dentro de suelo francés; ya que, en el aspecto religioso, la capital francesa cuenta con la Gran Mezquita de París construida en 1926. Una vez asignado el proyecto, su construcción comenzó en el año de 1984, para realizar su inauguración y apertura de puertas en el año de 1987. Este proyecto forma parte del plan general de urbanismo entre los años 80 y 90, llevado a cabo por el gobernador de turno. Al plasmar este edificio se consigue difundir la cultura árabe y entablar una fuerte relación con la cultura francesa, ya que se desarrolla en un área geográfica que siglos atrás estaba ocupada por musulmanes.

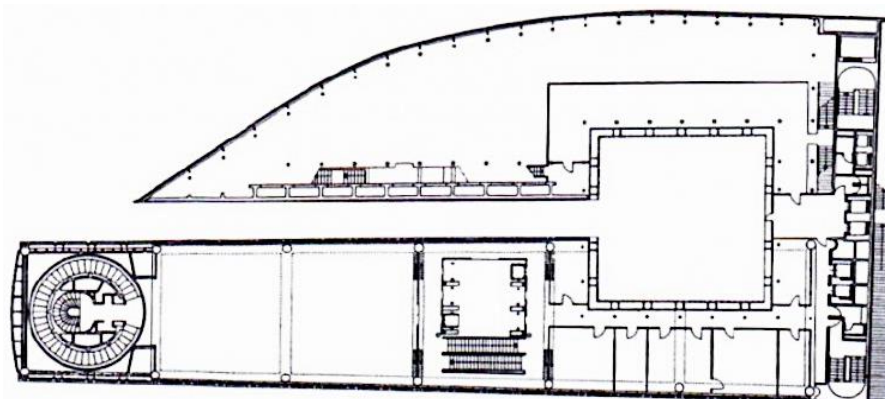


(IMAGEN 50)

## SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA

Este proyecto, el Instituto del Mundo Árabe (IMA), está emplazado en la confluencia del Boulevard Saint-Germain con el río Sena, cerca de este se encuentra el puente que conduce a la isla de San Luís y a un embarcadero. La edificación tiene como contexto inmediato dos grandes estructuras arquitectónicas existentes; por su lado sur está el complejo de la Facultad de Ciencias, y sobre la línea del río Sena se encuentra el proyecto edificado de la Facultad de Literatura y Humanidades.

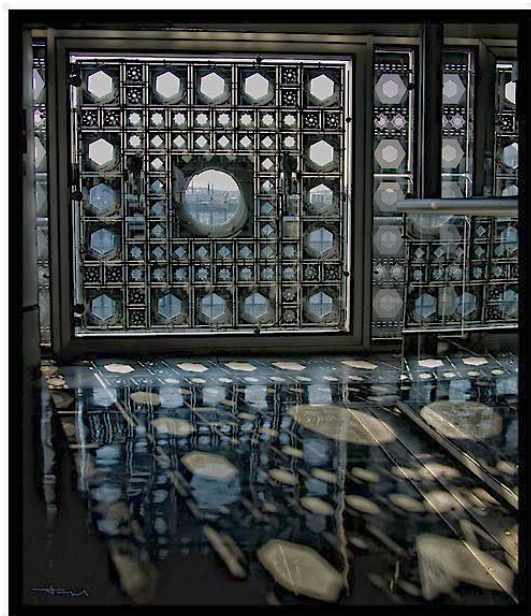
El programa del Instituto incluye un museo, auditorio, restaurante, oficinas y biblioteca; y al igual que el anterior caso de estudio, este proyecto también basa su concepto arquitectónico de diseño y constructivo, en la representación de la tradicional arquitectura árabe-musulmana ya que la fachada cinética está diseñada para controlar la luz natural. Proyecto característico de la arquitectura moderna, la propuesta de Jean Nouvel (según las directrices del área de emplazamiento) fue la de generar dos fachadas que se alinean a estas directrices. Una fachada curva que sigue la alineación con el río Sena, y la otra fachada cinemática rectangular que destaca sobre una plaza de acceso orientada hacia el sur; y como vínculo de estas dos fachadas se propuso un patio central que también hace referencia a la arquitectura árabe (imagen 51); en cuestión de escala el proyecto respeta alturas y dimensiones tradicionales. El proyecto destaca acentúa elementos arquetípicos de la arquitectura árabe-musulmana tradicional: el espacio interior, el control, tamizado y tratamiento de la luz natural mediante bastidores y filtros y la superposición de tramas. La fachada cinética reinterpreta varias de las figuras geométricas continuamente utilizadas en la arquitectura árabe, dándoles una forma contemporánea en forma de paneles cinéticos. En total son catorce niveles



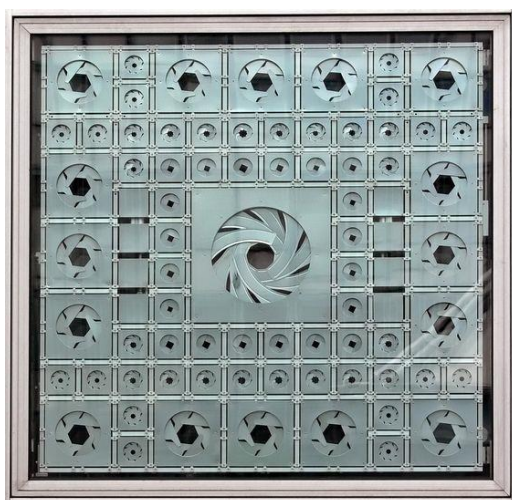
(IMAGEN 51)



(IMAGEN 52)



(IMAGEN 53)



(IMAGEN 54)

en los que se desenvuelve la edificación, once de ellos están sobre el nivel del suelo y tres son subterráneo. Al analizar la fachada cinética (orientada hacia la cara sur) vemos que desempeña una especie de recibimiento de la gran plaza que hace de transición visual entre las estructuras construidas en el entorno inmediato de la obra (imagen 52). El tamaño y disposición de los cristales de esta fachada cinética es igual al de la fachada curva norte, con la diferencia de que al interior de cada uno de estos cristales cuadrados se ha diseñado una serie de células fotoeléctricas, el cual podríamos relacionar con el diafragma del lente de una cámara fotográfica (imagen 53 e imagen 54). Un total de 240 paneles cuadrados conforman esta fachada cinética, en cada ventana hay una célula fotoeléctrica central más grande y otras más pequeñas de dos distintos tamaños que están dispuestas de manera geométrica en el vidrio, estos paneles principales agrupan 30,000 diafragmas más pequeños, que son mecánicos y están conectados a sensores fotosensibles, entonces reaccionan de acuerdo a la intensidad lumínica del exterior, y se abren o cierran permitiendo hacia el interior de la edificación un espectacular juego de y manejo de la luz natural. La geometría de las figuras antes descritas en la fachada, tienen similitud a la de las edificaciones en la arquitectura árabe; dicha similitud, fue muy bien acogida por los propietarios del proyecto, esta similitud está en relación a los denominados “moucharabiehs”, ocupados y conceptualizados de la arquitectura árabe. («Plataforma Arquitectura», 2017).



(IMAGEN 55)



### 2.4.3 CASO REFERENCIADO #3 (One Ocean Thematic Pavilion)

- **PROYECTO:** One Ocean Thematic Pavilion
- **UBICACIÓN:** Yeosu, South Korea.
- **PROYECTISTA:** Soma.
- **AÑO:** 2012

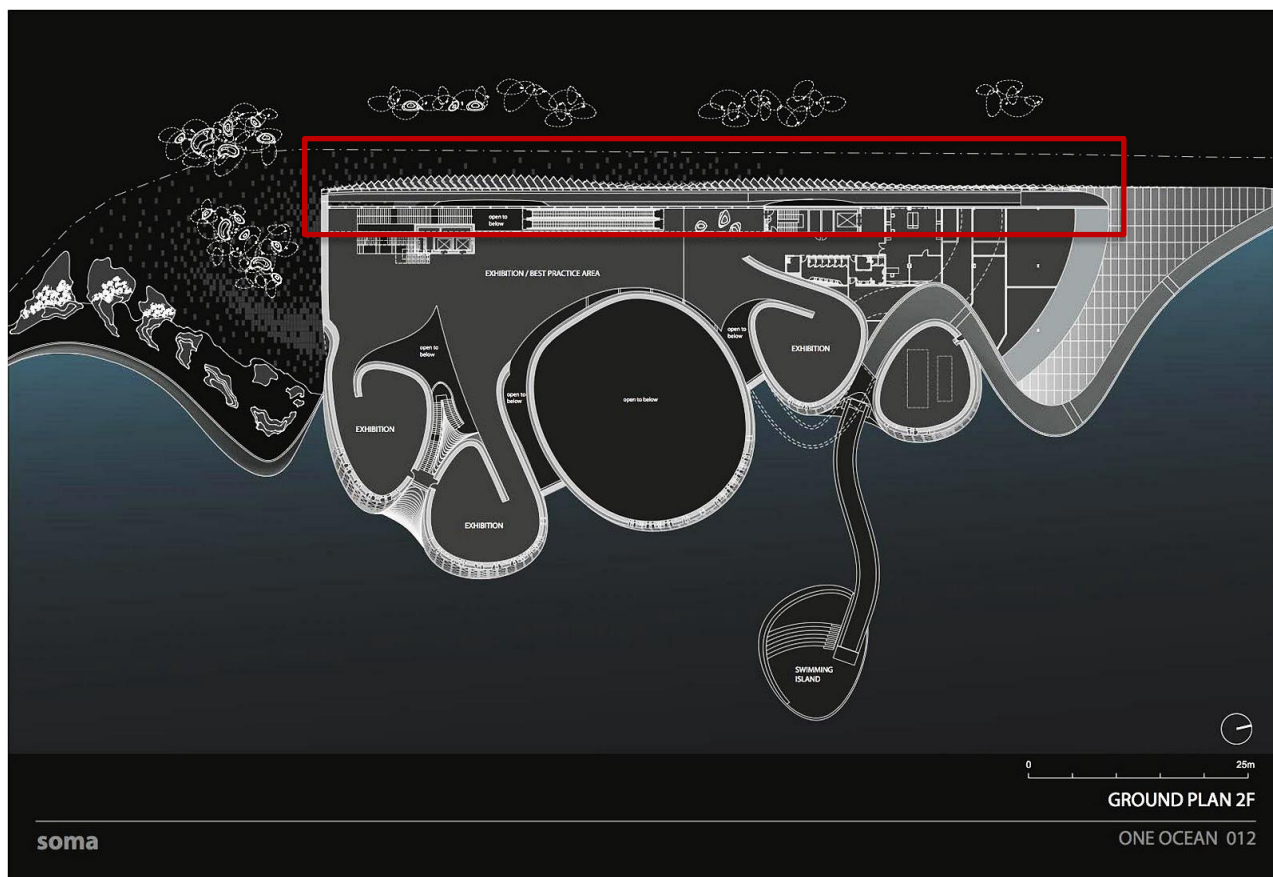


(IMAGEN 56)

### INTRODUCCIÓN

Este pabellón temático fue diseñado en Yeosu, Corea del Sur, para incorporar a la Expo 2012 el tema de “El océano viviente y la costa”. Parte de los objetivos colectivos y urbanos de esta exposición fueron concienciar y mejorar la calidad del agua, mediante el diseño de espacios que puedan ofrecer actividades de ocio y aprendizaje. Soma, la firma ganadora del concurso para el diseño en la Expo, adapta los requerimientos y premisas de diseño con la inclusión de materiales naturales, buscando expresar y mostrar la relación entre el agua y la tierra. El diseño orgánico buscado, toma la forma de un pez que se extiende a lo largo de la zona de emplazamiento. Como concepto base para la proyección del edificio se explica que todos experimentamos el océano principalmente de dos maneras: como una superficie sin fin y en una perspectiva inmersa como profundidad. Esta dualidad traducida en conceptos espaciales arquitectónicos motiva el concepto espacial y organizativo del edificio.

## SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA



(IMAGEN 57)

La calle que bordea a la edificación actúa como plaza de acceso, generando un área de sombra al aire libre; mientras que la edificación que se asemeja a una forma de pez se emplaza a lo largo de la Ocean Plaza. El sitio designado para este del nuevo pabellón y todo el conjunto de expo, se encuentra en un antiguo puerto industrial (imagen 57 ilustra el conjunto emplazado en el muelle, con el recuadro rojo que indica la ubicación de la fachada cinética). El programa funcional del conjunto se divide está diseñado en tres grandes áreas: pre-show, show principal y show posterior. La primera área el pre-show se define por dos pequeños conos con una altura de seis metros que actúan de vestíbulo de ingreso. A continuación, se recibe a los espectadores en un espacio con escala de 20m de altura y alrededor de 1000 m<sup>2</sup>. Luego de la presentación y el show, se continua el recorrido recibiendo a los espectadores en un área de post-show cuyo flujo direcciona hacia la cafetería y la isla de natación para la práctica en aguas abiertas. La planta alta está designada para desarrollar oficinas de investigación sobre tecnologías renovables; mientras que la terraza del conjunto está coronada por un jardín para que los ocupantes puedan utilizarla de mirados hacia el mar y hacia todas las áreas de la Expo. La fachada cinética desde su punto de vista morfológico vincula a la edificación con su contexto, por la antes mencionada forma de pez y las suaves curvas que generan la vista principal del pabellón (imagen 56). Esta fachada cinemática, tiene un largo total de 140m con alturas variables entre los 3m y los 13m, generando mediante sus curvas de diseño paramétrico, un atrio de acceso frontal (imagen 58). El sistema cinético está conformado por 108 láminas delgadas (imagen 59, que componen la superficie y se anclan en el marco superior e inferior de la fachada. El material utilizado para formar estas láminas de la fachada

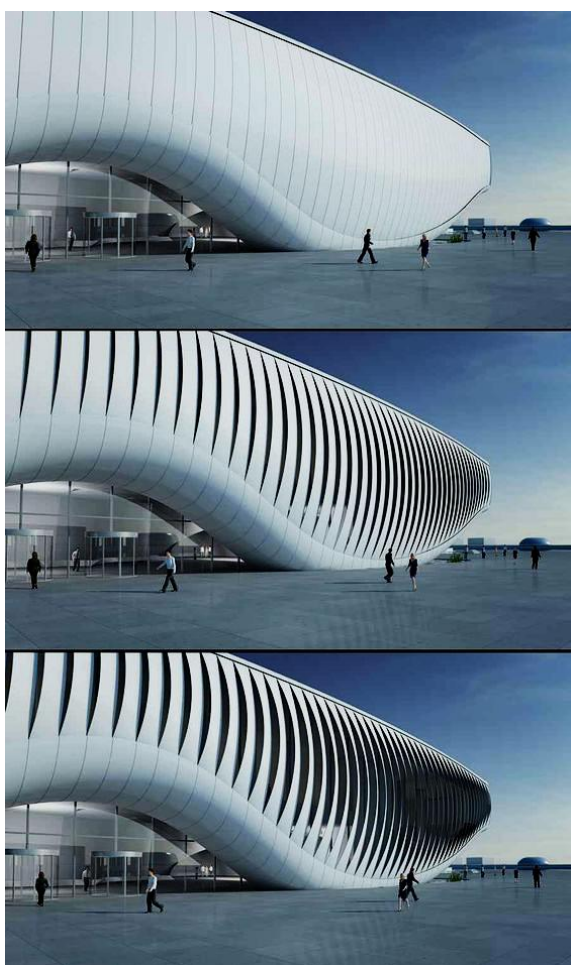


(IMAGEN 58)

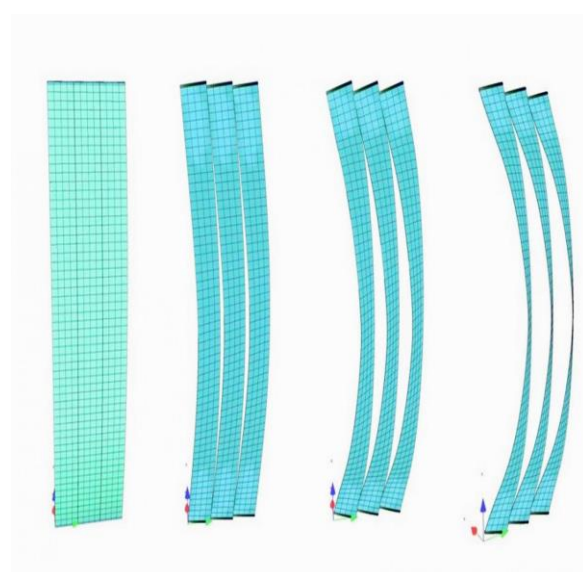
cinética permite grandes deformaciones elásticas reversibles, ya que están compuestas de polímeros reforzados con fibra de vidrio, lo que les confiere una resistencia a la tracción, la rigidez y de flexión. Para conseguir esta arquitectura cinética adaptable el diseño de la fachada fue desarrollado juntamente con Knippers Helbig Ingenieros, logrando lo que se buscó desde la

idea inicial de diseño que era crear para la fachada principal una piel perfectamente integrada y continua, con un movimiento cinético suave para lo cual se trabajó con un enfoque biomimético (que hace referencia a la innovación sustentable inspirada en la naturaleza). Durante el día, estas láminas cinéticas se utilizan para controlar la cantidad de luz hacia el interior, mientras que el rendimiento energético de todo el conjunto al igual que la fachada cinética, han sido analizados

mediante simulaciones detalladas para reducir al máximo el consumo de energía y aumentar la eficiencia del pabellón y su relación con el entorno. A fin de reducir el consumo de energía el edificio, este está diseñado para ser ventilado naturalmente, y los



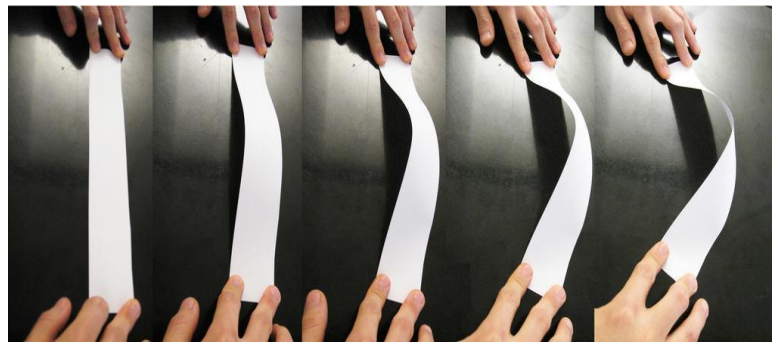
(IMAGEN 61)



(IMAGEN 59)



(IMAGEN 60)



(IMAGEN 62)

conos que están emplazados en el lado opuesto de la fachada cinética, se orientan hacia la dirección predominante del viento, con esto se logra en los grandes espacios de exposición generar ventilación natural cruzada. Para accionar los delgados paneles de la fachada cinética, se utiliza un eje accionado por un servomotor; mientras que el sistema controlado mediante un ordenador permite la sincronización de los accionadores. Cada lámina de la fachada está diseñada para de ser necesario, ser dirigida individualmente, y así poder conformar en una lógica específica de movimientos para mostrar diferentes coreografías y modos de operación, lo que además convierte a la fachada en un posible “display” multicolor (imágenes 59,60,61,62, ilustran el diseño cinético paramétrico de la fachada) («Experimenta magazine», 2017).

#### 2.4.4 CASO REFERENCIADO #4 (Kiefer Technic Showroom)

- **PROYECTO:** Kiefer Technic Showroom
- **UBICACIÓN:** Bad Gleichenberg, Austria
- **PROYECTISTA:** Ernst Giselbrecht + Partner ZT GmbH
- **AÑO:** 2007



#### INTRODUCCIÓN

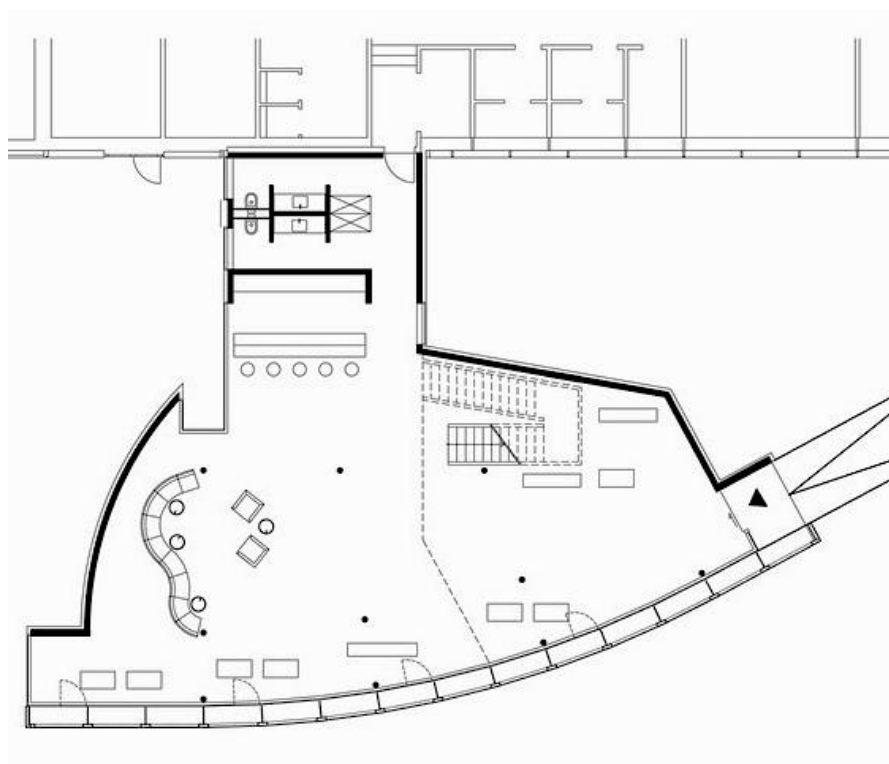
Esta edificación se ha proyectado con su programa funcional diseñado para uso de oficinas corporativas y showroom de la empresa de metalurgia Austrian metal Company. Citamos textualmente la explicación de la firma proyectista, en lo referente a las decisiones de diseño que generaron esta edificación: “In earlier times, façades were characterised by window arrangements and axes. They often featured surface relief with architectural elements from the relevant period or style. The structure of the façade also determined the ground plan; the greater the number of window axes in a room, the more important the function of the user.”

## SITUACIÓN Y ARQUITECTURA CINÉTICA



(IMAGEN 63)

Este showroom corporativo, constituye también uno de los primeros ejemplos exitosos de arquitectura cinética en fachadas. Desarrollado en Austria, se emplaza en un terreno con topografía casi plana, y sin accidentes geográficos importantes. Su entorno inmediato también pasa inadvertido en cuanto a edificaciones importantes, esto entonces permite que la edificación destaque arquitectónicamente. Como parte del programa arquitectónico, tenemos las oficinas corporativas que se encuentran protegidas de la incidencia solar mediante una fachada plana



(IMAGEN 64)

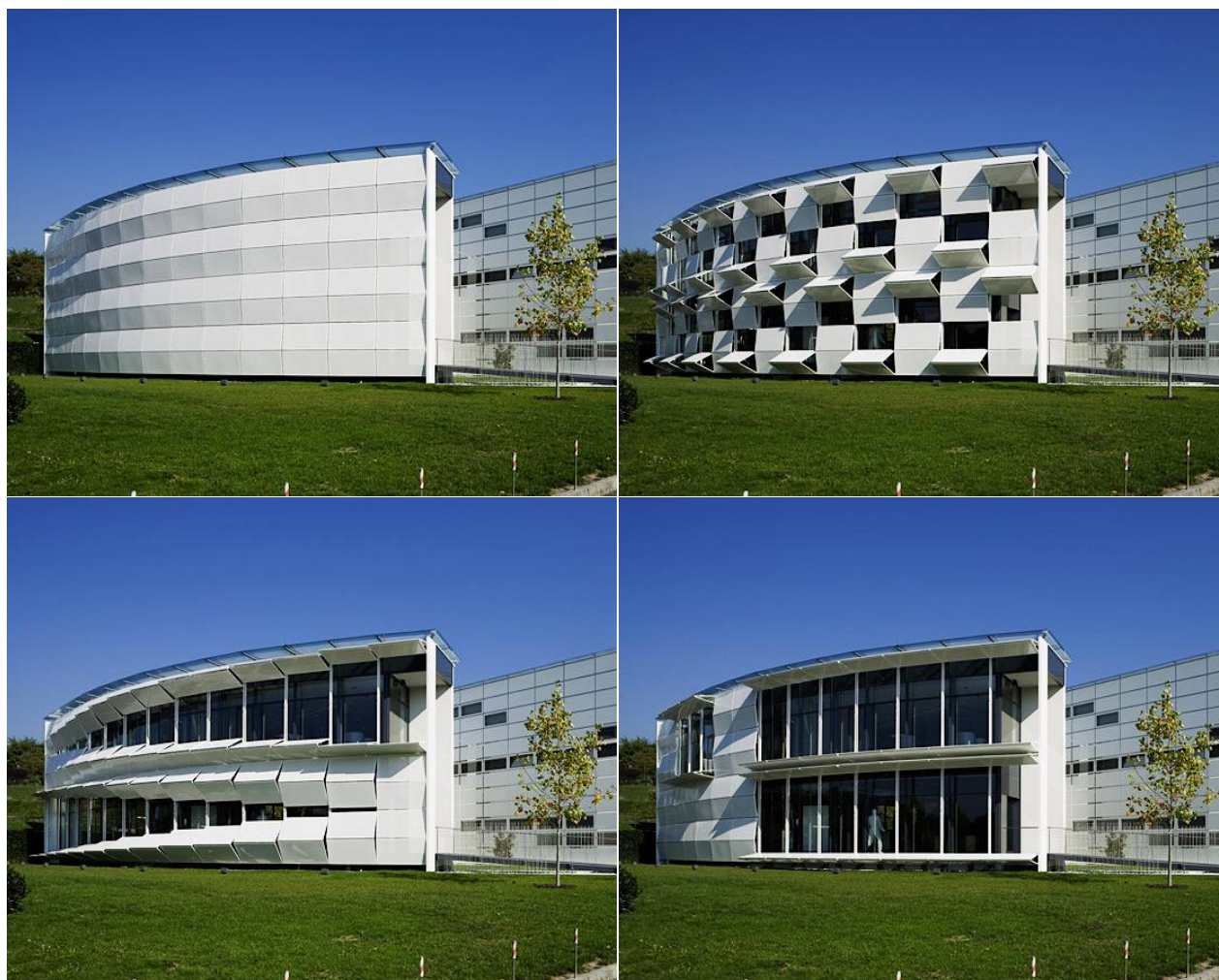
tradicional de paneles y vidrios tintados. La fachada curva (imagen 63) se determina como una fachada cinética, que será la encargada de dar protección al showroom (imagen 64 ilustra la planta de la fachada curva y el showroom). Esta fachada cinemática, desafía la tradicional solución de ventanas con alta protección de la incidencia del sol, e incorpora los paneles inteligentes que ofrece ventajas respecto al control de iluminación interior y la incidencia de radiación solar directa sobre la edificación. Este sistema automatizado está accionado mediante un sistema eléctrico, los paneles están montados





sobre las guías de acero inoxidable verticales, con motorreductores eléctricos que se mueven mediante rodamientos especiales, todos están controlados mediante 56 motores conectados a un único sistema de control. A diferencia de los casos de estudio antes citados, esta fachada resulta ser más mecánica cinética que inteligente, ya que no responde a estímulos externos directos, sino más bien permite ir adaptando la fachada en función de las necesidades que se presenten por la incidencia solar, pero en ningún momento ocupa la cinética para accionarse sola y dar respuestas antes programadas.

Esta fachada cinética, resulta ser una segunda piel para la fachada curva, ya que la fachada interna está formada por una estructura de aluminio con paneles de vidrios tintados, lo que permite proteger al showroom de la incidencia de agentes externos climáticos como viento y lluvia (en la imagen 65 se ilustra la cinética de la fachada y sus diferentes posibilidades compositivas).



(IMAGEN 65)



## 2.4.5 CASOS REFERENCIADOS #5 (ICD / ITKE Research Pavilions)

- **PROYECTOS:** Research Pavilions
- **UBICACIÓN:** University of Stuttgart, Alemania
- **PROYECTISTA:** ICD / ITKE
- **AÑOS:** 2013 – 2014/ 2010



### INTRODUCCIÓN

El Instituto de Diseño Computacional (ICD) y el Instituto de Estructuras de Edificación y Diseño Estructural (ITKE) de la Universidad de Stuttgart, tienen como meta anual, la exploración de arquitectura paramétrica con investigaciones biométricas, que pueden ser aplicadas en arquitectura. Desde hace varios años y anualmente, se emplaza a escala real dentro del campus de la Universidad de Stuttgart, una serie de estudios con estructuras arquitectónicas que se pueden catalogar dentro de la categoría de cinéticas dinámicas. En cada una de estas estructuras dinámicas, estas dos entidades el ICD y el ITKE, ejemplifican de manera exitosa la conexión de los tres elementos antes explicados que deben confluir para generar este tipo de arquitectura: la innovación estructural y avance de materiales; mecanismos de control, el avance de tecnología de sensores y robótica; y arquitectura adaptable que rompe los paradigmas en la forma tradicional de concebir arquitectura.

Al ser varios los ejemplos ya desarrollados por el ICD y el ITKE, y emplazados en el campus universitario, se abordarán únicamente dos; que tienen relación con el tema de esta investigación acerca de arquitectura cinética, ya que compiten con la forma en la que se generaron estas estructuras y la materialidad que podría ser también parte de fachadas y pieles responsivas. Estos proyectos forman parte de una exitosa serie de pabellones de investigación que muestran el potencial de los nuevos procedimientos de diseño, simulación y fabricación en la arquitectura. Los proyectos son usualmente diseñados y construidos dentro de un año y medio de trabajo, en el que intervienen estudiantes e investigadores dentro de un equipo multidisciplinar de arquitectos, ingenieros, biólogos y paleontólogos; lo que demuestra que esta nueva época de generar

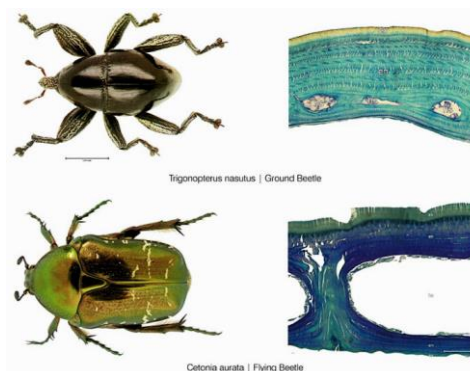


(IMAGEN 66)

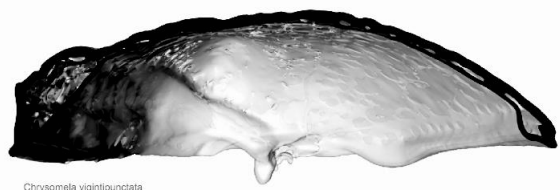
arquitectura es clave el desarrollo e investigación dentro de campos experimentales fuera de la propia arquitectura.

## PABELLÓN AÑO 2013-14

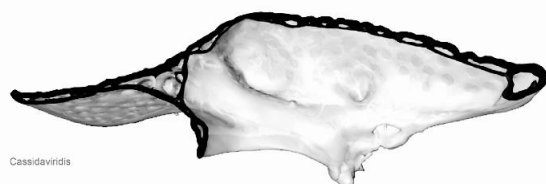
El enfoque de este proyecto (imagen 66) es una investigación paralela a una estrategia de diseño biométrico, para desarrollar una arquitectura cinética compuesta de fibras naturales y el avance de nuevos métodos de fabricación robóticos con estructuras de polímero de fibras reforzadas. El objetivo para este pabellón fue desarrollar una trama de entretejido con fibras de doble capa, buscando reducir al máximo la dependencia estructural propia como cofre y mantener al máximo la libertad geométrica para generación de formas en el pabellón. Para esto, se analizaron los principios funcionales de estructuras ligeras naturales, obteniendo información en lo referente a la dinámica y conformación molecular de estas estructuras naturales (como el de un escarabajo), todo esto apoyado en un trabajo interdisciplinario con el Instituto de Evolución y Ecología, y el departamento de Paleobiología de la Universidad de Tübingen.



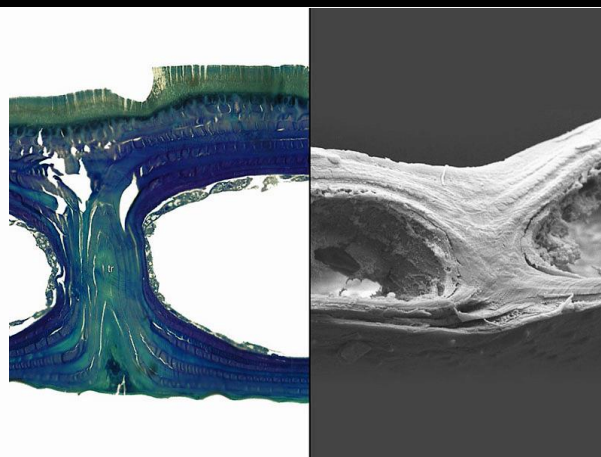
(IMAGEN 67)



Chrysomela vigintipunctata



Cassidaviridis

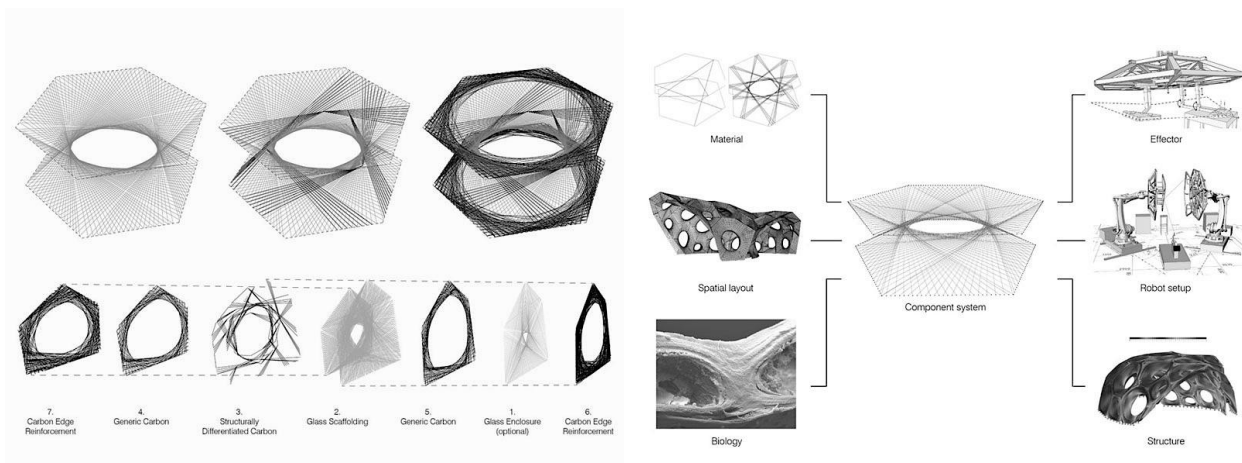


(IMAGEN 68)



(IMAGEN 69)

Todo este análisis de estructuras naturales (imagen 67), sus formas y su ingeniería, se aplican paramétricamente en el pabellón, ampliando así el concepto, el desarrollo y la concepción de una arquitectura cinética dinámica. Para el desarrollo de esta investigación, se analizó la capa protectora para las alas y el abdomen en los escarabajos, llamada Elytron (imagen 68), obteniendo como resultado ser un material altamente eficiente para la construcción. También se concluyó que el alto rendimiento de estas estructuras naturales ligeras se basa en su morfología geométrica de un sistema de doble capa y propiedades mecánicas de la composición de las fibras naturales. La característica anisotrópica de este material analizado, que consiste en fibras de quitina embebidas en una matriz de proteínas, permitió localizar las diferentes propiedades y cualidades de este material. Todos estos análisis de la estructura en los escarabajos se realizaron con tomografías micro computarizadas, estableciendo así que la morfología del Elytron se basa en una estructura de doble capa que está conectado por elementos de soporte doblemente curvadas en forma de columna hallando entonces los principios estructurales subyacentes para traducirlas en normas de diseño para morfologías estructurales (imagen 69). Basado en lo antes explicado referente a la doble capa de fibras y el entendimiento estructural que da forma al Elytron, se comenzó a desarrollar el modelo prototipo (imagen 70), mediante el desarrollo paramétrico en el que están implícitas herramientas de simulación digital, la fabricación robótica y los elementos biométricos abstractos

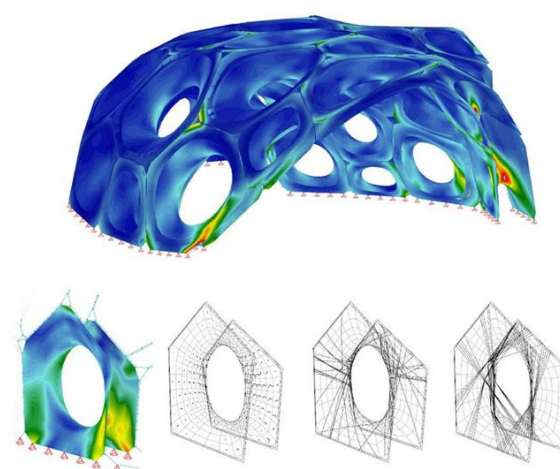


(IMAGEN 70)

(Elytron) pudieron ser simultáneamente integradas y trabajadas en el proceso de diseño y construcción (imagen 71). Los materiales elegidos para generar la doble capa fueron vidrio y fibras de carbono reforzadas, esto debido a su alto rendimiento, calidad y resistencia; además por el potencial de manipulación variada que ofrece la fibra de carbono facilita su configuración en estructuras complejas como la analizada en el Elytron (imagen 72). Junto con su moldeabilidad sin restricciones, los polímeros reforzados con fibras son adecuados para aplicar las geometrías complejas. El modelo paramétrico para el pabellón dio resultados para estructurarlo con 36 piezas o elementos individuales que al conectarlos entre sí generarían la estructura completa. Las geometrías de cada uno de los 36 elementos se basan en los principios estructurales obtenidos al estudiar los escarabajos y sus recubrimientos. Cada elemento por separado tiene un diseño y entretrejo de fibra individual, que se traduce en un sistema de carga entre piezas para estructurar todo el pabellón, estos elementos tienen diferentes dimensiones (según su parametría) siendo el elemento más grande de un diámetro de 260cm y un peso de 24kg, dando como resultado que el pabellón cubra un área de 50m<sup>2</sup> con un peso de alrededor de 600kg. Este sistema de arquitectura cinética demuestra su adaptabilidad al entorno en el que se quiera emplazarlo y su flexibilidad para generar estructuras autoportantes que pueden servir de fachada o cubierta para edificaciones (imagen 73). Como puntos de beneficio más altos de este pabellón, fueron el demostrar el diseño computacional paramétrico, en relación y estudio con los principios estructurales biológicos, y las complejas reciprocidades entre el material, la forma y la fabricación robótica, llegan a producir nuevos procesos y resultados arquitectónicos; de la misma forma el enfoque interdisciplinario para la investigación y desarrollo del pabellón no sólo da lugar a construcciones ligeras eficientes, sino que también examina nuevas cualidades espaciales y amplía las posibilidades tectónicas de la arquitectura y sus sistemas cinéticos dinámicos (University of Stuttgart, 2017).



(IMAGEN 72)



(IMAGEN 71)



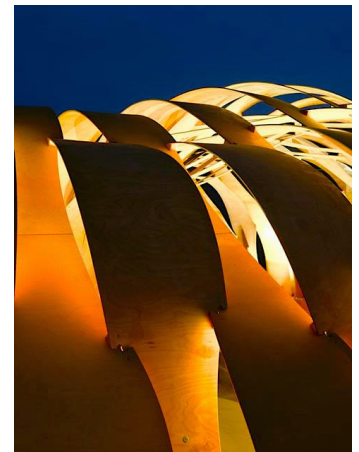
(IMAGEN 72)



(IMAGEN 73)

## PABELLÓN AÑO 2010

Este pabellón temporal de investigación tuvo su desarrollo en el año 2010; la finalidad fue exponer esta innovadora estructura para dar a conocer los avances hasta esa época de los estudios en relación a el diseño computacional orientado en relación a los materiales de construcción, dando como resultado esta arquitectura cinética dinámica estructurada por completo en madera plywood con piezas delgadas y extremadamente flexibles (imagen 74). Los investigadores explican el desarrollo de este proyecto, apoyados en la teoría de que cualquier material de construcción responde y es el resultado de un sistema de restricciones, presiones y agentes internos y externos; no siempre siendo la arquitectura digital capaz de demostrar mediante sus procesos este resultado, mientras que en la aplicación demostrativa de la arquitectura, es decir en las obras construidas, los materiales y sus formas están siempre conectados inseparablemente a fuerzas externas (tensión, tracción, compresión, dilatación, etc.), en los procesos de diseño paramétrico o diseño computacional la morfología arquitectónica, la forma y las fuerzas son tratadas en ámbitos separados o en procesos diferenciados, primero buscando la forma y luego apoyado en un simulador digital, el profesional relaciona, analiza y aplica la forma antes conseguida con el material a emplear, tomando en cuenta las especificaciones técnicas y cualidades del material. Entonces, ICD y ITKE mediante este



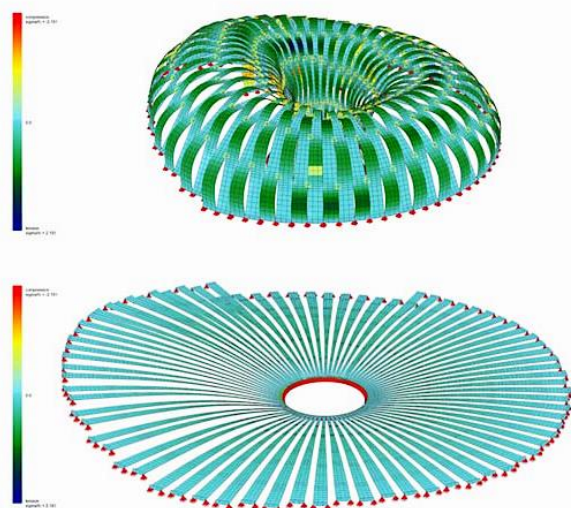
(IMAGEN 74)



(IMAGEN 75)



(IMAGEN 76)



(IMAGEN 77)



(IMAGEN 78)

pabellón, exploran un enfoque diferente y alternativo en la relación entre el diseño y la forma de producir arquitectura, ya que el concepto basa su premisa en el que el material es el conductor e informador directo de la forma, mediante los comportamientos físicos y características del material, ya que la morfología es encontrada totalmente basada en el comportamiento físico (flexibilidad) y mecánico de las tiras de plywood (imagen 75). Para la obtención de las tiras se trabaja mediante la robótica (imagen 76), estas son trabajadas y cortadas de manera plana, para luego ser conectadas de tal forma que son dobladas mediante su elasticidad y tensionadas en ciertas regiones alternadas a través de su longitud. La capacidad estructural de este sistema que va dando forma al pabellón, se va drásticamente favorecida y aumentada por la fuerza que se almacena en cada pieza de plywood doblada y es mantenida por la correspondiente región tensada de la pieza contigua, y así sucesivamente en busca de la morfología del pabellón. Debido a las consideraciones estructurales, los puntos de conexión entre cada tira deben ir cambiando, esto da como resultado 80 diferentes patrones y conjuntos de tiras, ensamblados y estructurados por más de 500 piezas diferentes. Esta combinación entre la flexibilidad de las piezas que almacena energía en cada una, más la diferencia y conexión

entre cada una, permite obtener una estructura muy ligera, abarcando una gran luz en diámetro de 12m, siendo cada pieza de plywood ultraligera con 7mm de espesor. Principios paramétricos están implícitos durante todo el diseño, sobre todo en la incorporación de las características del material, para así concebir la morfología del pabellón. Estas condicionantes paramétricas para el diseño están siempre sometidas a un sin número de pruebas heurísticas (acierto-error), mientras que los cálculos estructurales detallados se basan en una topología paramétrica de malla (imagen 77 y 78), esto además conforma la comprensión de los esfuerzos y tensiones internas a las que está sometida el pabellón, y que se producen a causa de la flexión del material y su relación con las fuerzas externas, ya sean estas cargas vivas o no, como agentes climatológicos; esto abrió campo al entendimiento desde una perspectiva muy diferente en cuanto al cálculo de estructuras ligeras mediante la arquitectura cinética (University of Stuttgart, 2017).

## 2.4.6 CASOS REFERENCIADOS #6 (proyectos en fase constructiva)

- **PROYECTOS:** Media Towers – Seoul Tower
- **UBICACIÓN:** Arabia Saudita - Seúl
- **PROYECTISTAS:** REX - UNStudio
- **AÑO:** 2014 hasta la actualidad (2017)

### INTRODUCCIÓN

En esta referencia de arquitectura cinética, se exponen de manera breve dos proyectos que se han producido en el año 2014. Estos ejemplos abordan la cinética como fachada o piel, buscando tener una mejor relación (en términos climáticos) entre los usuarios, el entorno y la edificación. A pesar de ser proyectos que se encuentran en proceso de desarrollo constructivo, se puede observar cómo un desarrollo sobresaliente en cuanto a la aplicación de la cinética como medio para solucionar de mejor forma premisas de diseño que están implícitas según el lugar de emplazamiento de la edificación.



(IMAGEN 79)

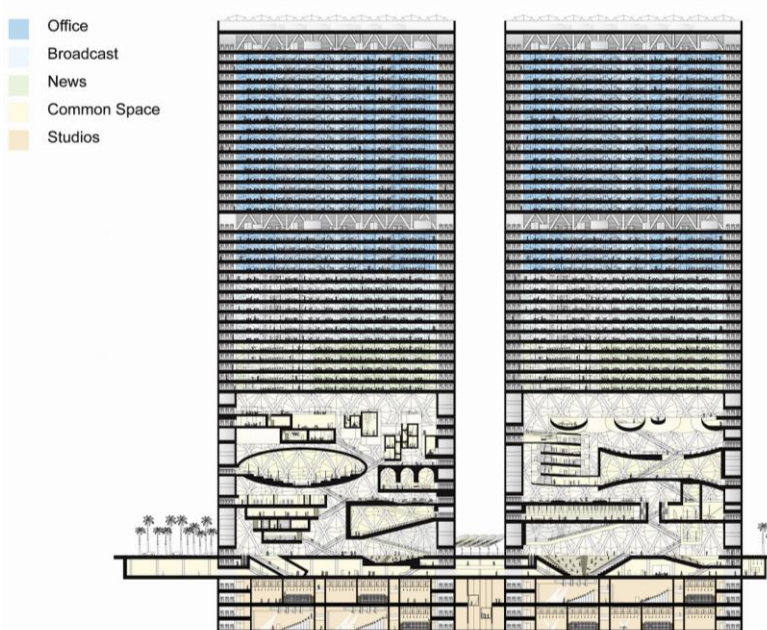
### MEDIA TOWERS

La firma arquitectónica REX en concurso realizado en el año 2014, fue encargada de proyectar estas dos torres que se emplazan en Arabia Saudita (imagen 79). Pensadas para abarcar la sede de dos compañías de medios, en el programa arquitectónico se incluye oficinas, estudios y áreas comunales como un anfiteatro, un ágora, auditorios, club de salud, un teatro, galerías, lounge



para empleados, etc.; siendo el área proyectual de 240.000 m<sup>2</sup>, mientras que el costo referencial de obra y la referencia exacta de los clientes, se mantienen de forma confidencial.

Según explican los autores (REX, 2014), el concepto proyectual se basa en aprovechar al máximo la iluminación natural y las vistas que van a generar las delgadas torres, dejando un amplio atrio de acceso que sirve de ingreso para concentrar y unir todas las zonas comunes que se desarrollan en los primeros niveles (imagen 80); esto mediante la aplicación de una estructura y fachada en forma de rayos “X”, que permite la máxima permeabilidad visual desde los primeros niveles de las torres (imagen 81). Este concepto de aprovechar el máximo la permeabilidad visual a lo largo de los

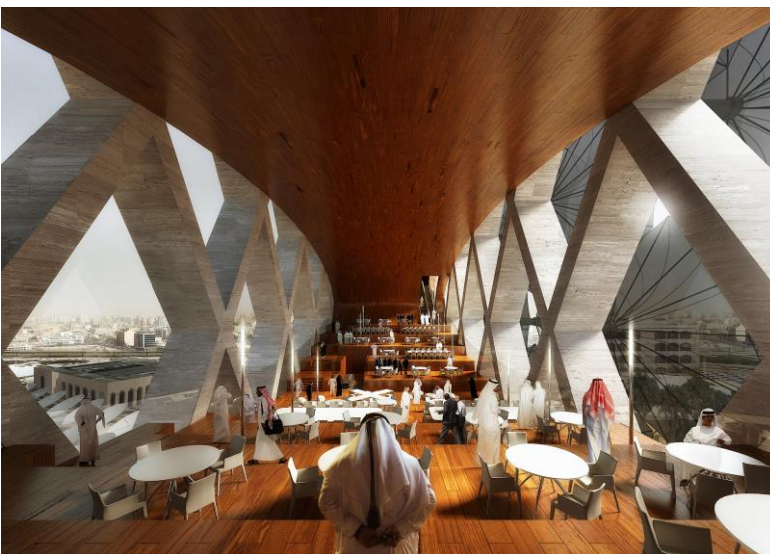


(IMAGEN 80)

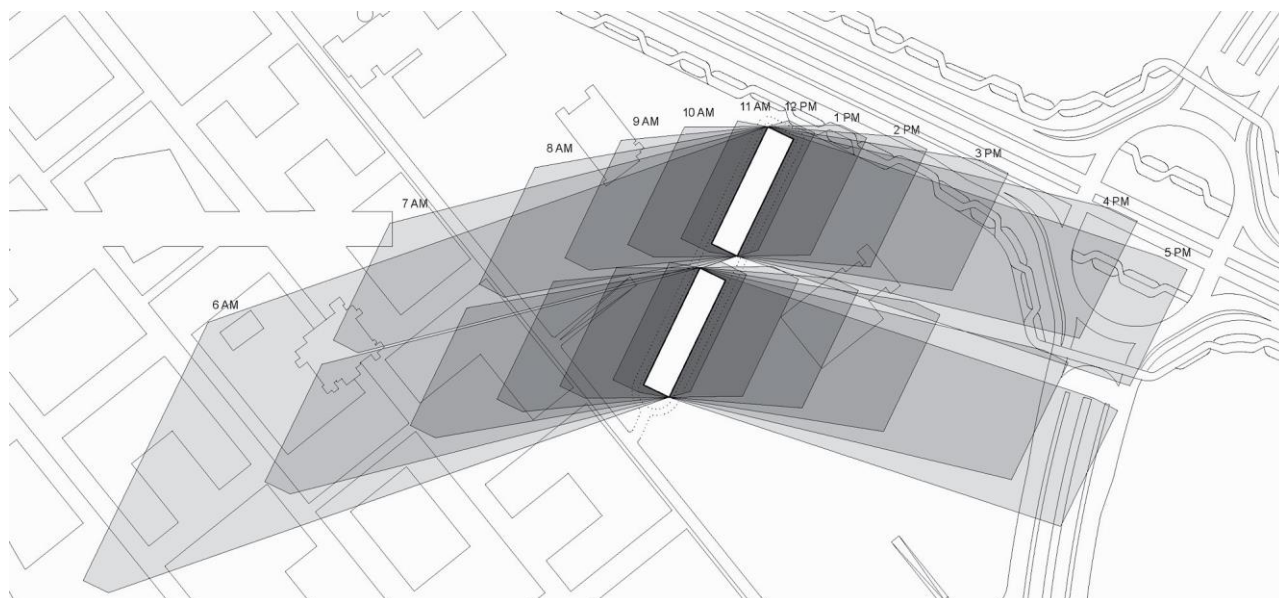
primeros niveles en altura de las torres se transmite también en todos los niveles restantes altos, dejando grandes paños acristalados que están entre la estructura que soporta todo el conjunto, formando así unas enormes fachadas de vidrio para ambos lados la torre, en cada una de las torres.

Las áreas de servicio y las zonas de circulación vertical se ubican a los extremos de cada torre, cerrando así el conjunto y destacando aún más la esbeltez y las fachadas acristalada. La imagen 82 ilustra en las diferentes horas del día, el comportamiento de las torres en relación a las sombras que generan según su orientación y emplazamiento; esto con la finalidad de estudiar la forma en la que se deberá generar la fachada cinética para controlar los fuertes asoleamientos a las que estarán sometidos los grandes paños acristalados antes mencionados.

Entonces, la fachada cinética (imagen 79) se ha resuelto mediante unas estructuras retractables de alrededor de 15m de diámetro que tienen forma de unos parasoles gigantes que pueden desplegarse en minutos para generar sombra a ambos lados de las fachadas de cada torre y dependiendo del asoleamiento según la hora del día (imagen 83). La geometría de los parasoles (como en ejemplos antes ilustrados en este capítulo) está basada y referenciada en los tradicionales Mashrabiya, generando una edificación contemporánea, pero con referencia



(IMAGEN 81)

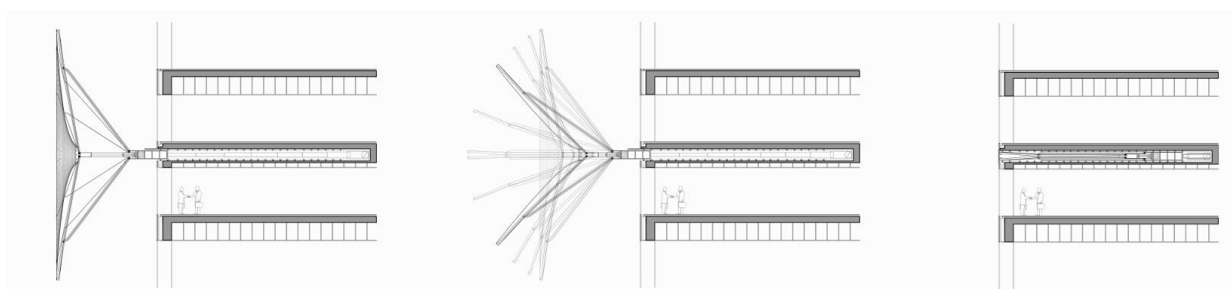


(IMAGEN 82)

de la iconografía local. Estos parasoles forman parte de una arquitectura cinética dinámica; y se encuentran completamente embebidos entre la estructura de los niveles de la torre, y son estructuras mecánicas completamente retráctiles, que estuvieron sometidas a estudios de impacto al viento y las corrientes arenosas que se generan en la zona (imagen 84).



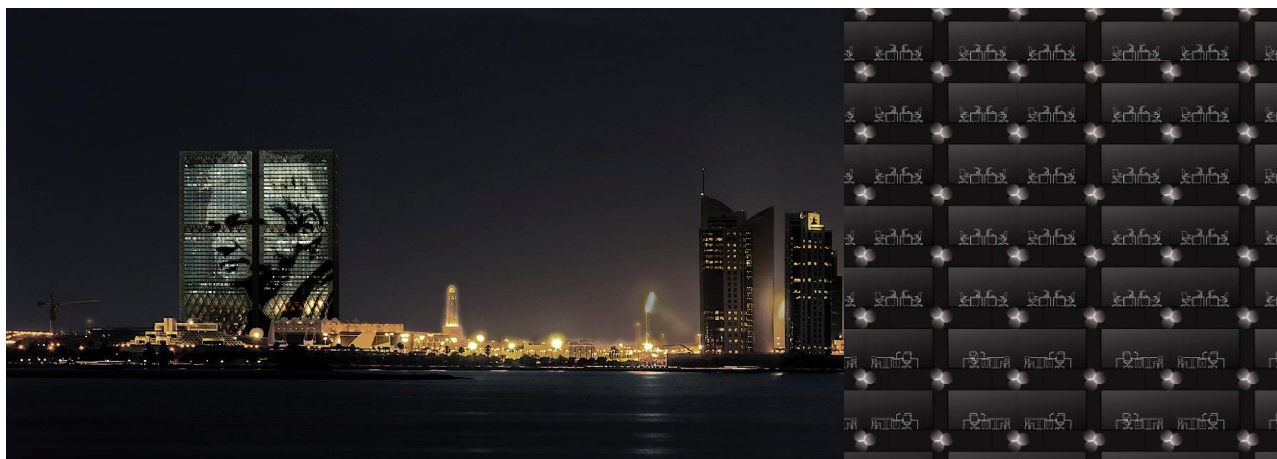
(IMAGEN 83)



(IMAGEN 84)



En la noche, cuando estos parasoles están sin uso y alojados en la fachada, todo el paño frontal de vidrio está diseñado para albergar potentes luces con tecnología LED, que se encuentran integradas a las tapas de las sombrillas, en las fachadas orientales de las dos torres; esto crea una gran pantalla que funciona como display de información, de 220 m x 220 m, a lo largo y ancho de las dos torres (imagen 85 que ilustra la pantalla y la ubicación de cada punto LED en la fachada) (REX, 2014).



(IMAGEN 85)

## SEOUL TOWER

El potencial alcance de la arquitectura cinética es cada vez más creciente dentro del campo de la construcción. Este ejemplo que se trabaja desde al año 2014 hasta la actualidad (2017) se referencia (a pesar de ser similar a los casos anteriores, en el que se trabaja en una fachada cinética) ya que conlleva una potencial diferencia en cuanto a lo constructivo, y es que se plantea implementar una nueva fachada en una torre de rascacielos ya existente en Seúl, el cliente es Hanwha Life. A la fachada original de esta torre, se la va a reemplazar por esta superficie responsiva para poder controlar el clima interior, y por la noche poder transformarla (a la fachada) en una pantalla led con increíble show de luces. A más de remodelar la fachada, el programa funcional va a ser remodelado también, en el que se intervendrán áreas como los espacios comunes interior, lobbies, auditorios, paisaje interior del rascacielos, etc.



(IMAGEN 86)

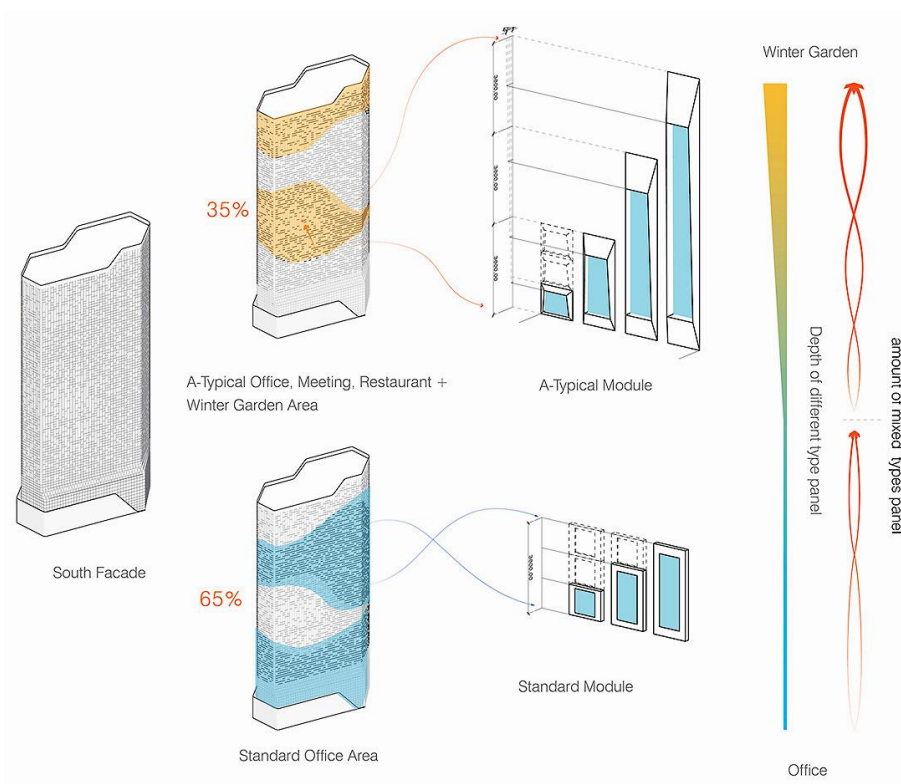


SUNLIGHT EXPOSURE DIAGRAM

- Great amount of direct sunlight
- Small amount of direct sunlight

(IMAGEN 87)

La oficina proyectista (UNStudio, 2017), describe el proyecto dando importancia principal a las variables que se han tomado en cuenta para el rediseño, como esencialmente son la naturaleza y el medio ambiente que hace de entorno inmediato al rascacielos; explica que las tres directrices principales del proyecto son el programa arquitectónico interior y exterior, la climatización interior del rascacielos y las consideraciones medio ambientales. La fachada que va a ser reemplazada estaba diseñada con bandas horizontales de paneles oscuros de vidrio; en contraposición a esto se colocará una nueva estructura y marcos de aluminio con vidrio flotado claro, para así ganar visibilidad y aprovechar la luz natural.



(IMAGEN 88)

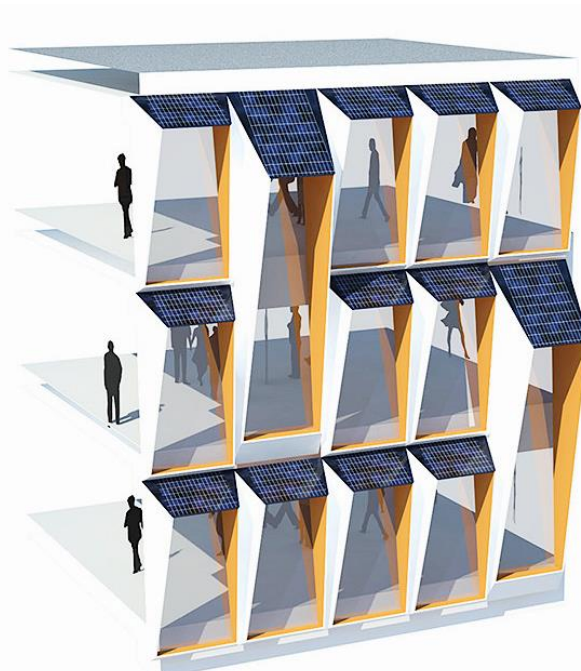
se colocará una nueva estructura y marcos de aluminio con vidrio flotado claro, para así ganar visibilidad y aprovechar la luz natural.

Para la definición de la nueva fachada, se planteó la construcción paramétrica basada en factores de orientación e insolación, para asegurar el confort interior de los usuarios y reducir el consumo de energía. La definición para la expresión morfológica de la fachada está también definida por el programa funcional del nuevo proyecto y para variar la

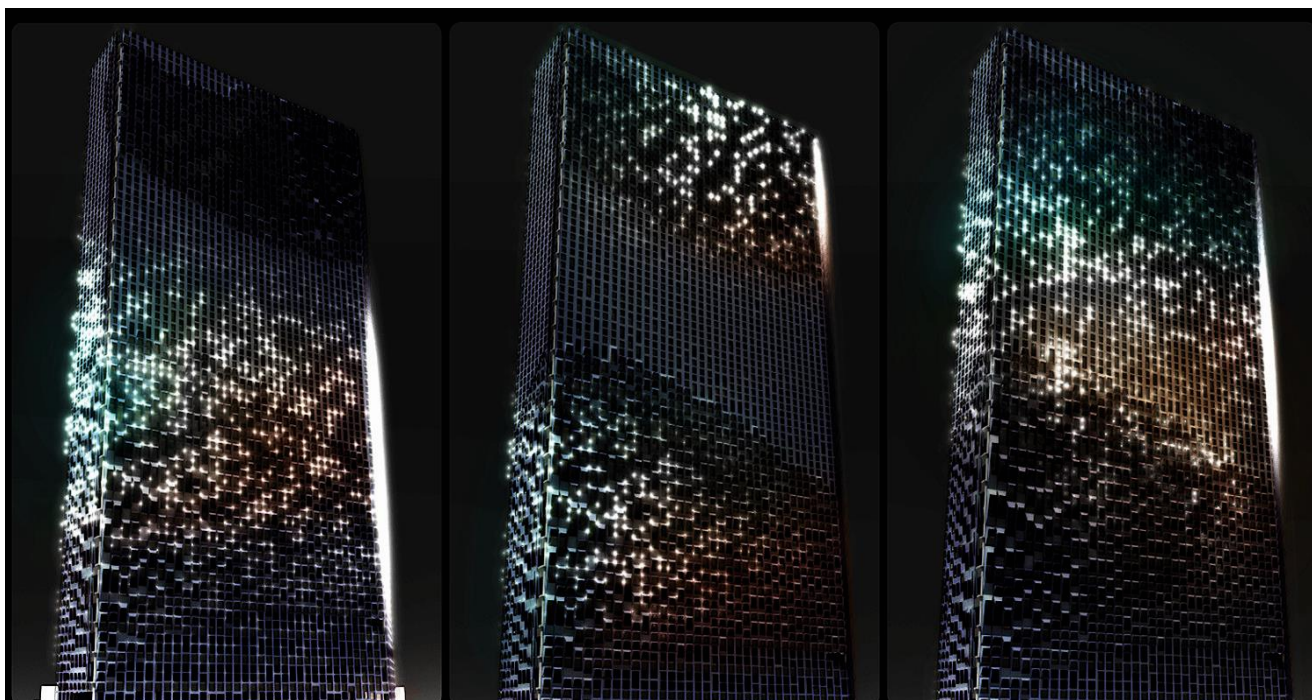


ubicación de los nuevos paneles de fachada, una serie de aberturas programables fueron creadas. La fachada norte está abierta para así permitir el ingreso de la luz natural a través del rascacielos, pero la fachada sur se vuelve más opaca para reducir la insolación en ese lado de la edificación (imagen 87).

En la fachada sur y sureste, se colocan paneles con células fotovoltaicas; estos actúan como generadores de sombra (imagen 88), pero además ayudan a coleccionar la energía recibida esa cara del edificio por la incidencia directa del sol. Además, la parte alta de la fachada sur está girada con ángulo para dar frente directo con respecto a la posición del sol. Cada nuevo panel que conforma la fachada sur (imagen 89), tienen una proporción en relación ancho/altura de 1-1 hasta 1-9 veces, y en la parte superior de cada nuevo panel están ubicados los receptores fotovoltaicos. Finalmente, se considera el uso de tecnología LED, para generar que esta nueva piel de la edificación se convierta además en una pantalla de exhibición de juego de luces para que el edificio cobre vida en las noches, utilizando parte de la energía que se acumulado mediante los paneles fotovoltaicos (UNStudio, 2017).



(IMAGEN 89)



(IMAGEN 90)

## 2.5 CONFORT LUMÍNICO

“La luz es el marcador temporal de nuestro reloj biológico; un estímulo que influye en el estado de ánimo... Mediante una adecuada iluminación, las personas son capaces de rendir más y mejor, pueden avivar su estado de alerta, pueden mejorar su sueño y en resumen su bienestar.”

(Quezada, 2015)

Establecemos como premisa inicial cuando construimos o diseñamos un espacio interior, que este, deba tener buena calidad y cantidad de iluminación natural, sacando el máximo provecho de la que haya disponible; a más de la selección y ubicación de sistemas artificiales para iluminación interior. El confort visual está directamente relacionado con la calidad de iluminación que exista; una mala iluminación puede producir fatiga visual, dolores de cabeza, irritabilidad, baja producción y rendimiento en las labores diarias. La luz natural, siempre ofrecerá ventajas frente a la iluminación artificial, en escuelas, colegios, hospitales y fábricas, la ausencia de ventanas con vistas al exterior pueden tener consecuencias psicológicas negativas; y cuando los espacios interiores necesitan luz artificial, el espectro lumínico de esta luz debe ser lo más parecido al de la luz natural (Hernández Pezzi, 2012).



(IMAGEN 91)

### 2.5.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TERMINOLOGÍA

#### CONFORT VISUAL

El confort es el estado de quien se siente bien, en que los sentidos están satisfechos. Confort o bienestar es la situación en la cual se encuentran satisfechas las necesidades de la vida. En el contexto lumínico está referido a la sensibilización de la luz a través del sentido de la vista. Como indica la Escuela Técnica en Ingeniería (EADIC, 2013), se debe diferenciar dentro de este bienestar, el confort lumínico del confort visual, donde el primero aborda los elementos físicos, fisiológicos y psicológicos entorno a la luz, mientras que el otro se centra en los aspectos psicológicos de la apreciación espacial y de los elementos que envuelven a las personas.



De manera inversa, una mala iluminación, como explica (Hernández Pezzi, 2012), puede generar estados negativos en la salud de los ocupantes. Aspectos como la seguridad, el menor índice de errores y menores accidentes inciden en el estado de bienestar y de la salud en las personas. Desde un aspecto laboral, el confort en la iluminación es parte fundamental en el acondicionamiento ergonómico de los puestos de trabajo (Álvarez Bayona, 2015)

El confort en la iluminación reside en una doble aplicación: sobre la técnica y sobre la estética. La función técnica radica en proporcionar la iluminación justa para un servicio o una exposición adecuada; la función estética reside en que las cosas y las personas tengan una buena visibilidad aportando belleza donde la luz favorece la percepción.

#### 2.5.1.1.1 CANTIDAD

El acondicionamiento de la iluminación de los hábitats tiene como objetivo proporcionar un nivel de iluminación adecuado, según el tipo de uso del espacio interior; pero también se han de considerar otros aspectos importantes como el control de los iluminantes, la uniformidad de la iluminación, el equilibrio de luminancias en el campo visual y sobre todo la integración de las luces naturales.

La búsqueda de generar confort hacia el interior de una edificación, debe ser lograda mediante identificar y aplicar un equilibrio entre la cantidad, la calidad y la estabilidad de la luz, de tal forma que se consiga una ausencia de reflejos y de parpadeo, uniformidad en la iluminación, ausencia de excesivos contrastes, etc. (Istas, 2014)

En este aspecto, (Hernández Pezzi, 2012) ofrece una tabla con los factores de luz diurna o los factores de iluminancia recomendados (TABLA #1):

FACTORES DE LUZ DIURNA / ILUMINANCIA		
ESTANCIA	MEDIO	MÍNIMO
IGLESIA	5%	1%
SALA DE HOSPITAL	5%	1%
OFICINA	5%	2%
AULA	5%	2%
SALA DE ESTAR	1,5%	0,5%
DORMITORIO	1%	0,3%
COCINA	2%	0,6%

(TABLA #1) Niveles de iluminación aconsejados para cada espacio concreto están definidos en la tabla según (Hernández Pezzi, 2012)



### 2.5.1.1.2 DISTRIBUCIÓN

La distribución suele ser más importante que la cantidad (Hernández Pezzi, 2012). Cuando hay un desequilibrio entre la luz natural, los usuarios de las partes más oscurecidas tienden a utilizar luces artificiales. Para conseguir un confort la cantidad de contraste está sujeto a diferentes límites dependiendo del uso que se da al espacio. Teniendo en cuenta además, como explica (Martín Monroy, 2006) que los colores claros en paredes y techos favorecen la distribución de la luz y compensan las áreas.

### 2.5.1.1.3 CALIDAD (prevención de trastornos mediante la arquitectura)

La regulación lumínica a lo largo de toda la jornada ayuda en muchos aspectos a optimizar los resultados de bienestar entre los usuarios. Esta regulación coordina favorablemente con los biorritmos de las personas y crea motivación entre éstas mejorando su rendimiento y calidad de vida. “La iluminación de un espacio de trabajo adaptada a los biorritmos de los empleados puede llegar a mejorar el rendimiento hasta un 10%” (Barrios, 2012).

Diferentes tipos de luz pueden mejorar el ambiente, por ejemplo, la luz fría que es intensa y azulada sirve para activar los sentidos al principio de la jornada y también después de la comida y en las últimas horas de la tarde; de otro modo, una luz cálida y de menor intensidad favorece la relajación y el descanso. “Los diferentes aspectos asociados a la iluminación (luminosidad, brillo y contraste) son relevantes tanto para el rendimiento como para la salud y el bienestar psicológico (Fernández García, 2013).

### 2.5.1.1.4 CONDICIONES NECESARIAS

Como explica (Hernández Pezzi, 2012) una óptima iluminación proporciona una luz adecuada tanto desde un aspecto cualitativo como cuantitativo. Se debe buscar un equilibrio entre las necesidades de luz natural y el confort térmico. Para ello, una orientación y una separación correcta entre edificios favorece la entrada de luz natural; la orientación de las ventanas y la superficie acristalada deben ofrecer luz natural adecuada; el espectro de luz artificial y natural durante el día debe ser igual, entre otros (p. 45).

## ILUMINANCIA (lux)

La medición de la cantidad de luz iluminando y expandiéndose en un lugar concreto, es decir, “el flujo luminoso incidente por unidad de superficie” (Reeves, 1978). Se designa con el símbolo (E). La iluminancia se mide con el instrumento llamado medidor de iluminancia: lux.

$$\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$$





NIVELES DE LUZ COMUNES EN EXTERIOR DE FUENTES NATURALES	
CONDICIÓN	ILUMINANCIA (LUX)
Luz del sol	107,527
Plena luz del día	10,752
Día nublado	1,075
Día obscuro	107
Crepúsculo	10,8
Crepúsculo profundo	1,08
Luna llena	0,108
Luna creciente	0,0108
Luz de las estrellas	0,0011
Noche nublada	0,0001

(TABLA #2) Niveles de luz comunes en exterior de fuentes naturales, definidos en la tabla según (NOAO «national optical astronomy observatory», 2017)

### LUMINANCIA (vista humana)

Está referida a la intensidad de la luz emitida en una dirección concreta por unidad de área de una superficie reflectora. Expresado de otra forma: “expresa el efecto de la luminosidad que una superficie produce sobre el ojo humano, ya sea fuente primaria (lámpara o aparato de iluminación) o secundaria” (Sanjuán Sánchez, 2014). Se expresa con el símbolo (L) y su unidad es la  $cd/m^2$ , expresado en candelas y en expresiones más grandes en  $cm^2$ .

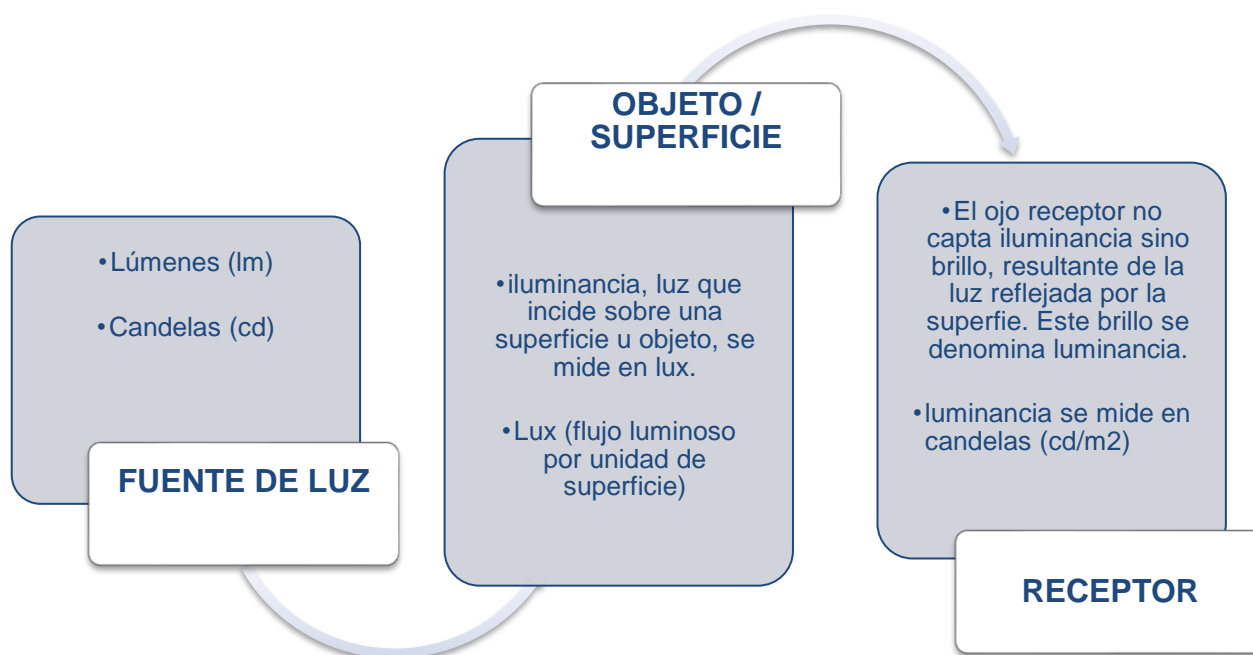
### DESLUMBRAMIENTO

El deslumbramiento y el ambiente cromático tienen que ser los adecuados para conseguir un entorno habitable adecuado. Una inadecuada iluminación puede provocar fatiga visual, dolores de cabeza, mareos, irritabilidad o falta de concentración, incrementando así la posibilidad de errores o accidentes (Gonzales & Pérez, 2017). Se describe entonces al deslumbramiento, como el exceso de brillo o excesiva luminancia que percibe el ojo humano.

### FACTOR DE LUZ DIURNA

La luz natural es aquella luz que percibimos a través de la claridad del día. Adecuada para llevar a cabo distintas actividades, mientras no brille y no incida directamente sobre los ojos. Tiene como inconveniente la radiación ultravioleta y las diferencias en intensidades de iluminación.

“Constituye una alternativa válida para la iluminación de interiores y su aporte es valioso no solo en relación a la cantidad sino también a la calidad de la iluminación” (Pattini, 2012).



(DIAGRAMA #2) ilustra conceptos y diferencia entre luminancia e iluminancia

## 2.5.2 NORMATIVA

La INEN es el organismo técnico nacional, “eje principal del Sistema Ecuatoriano de Calidad en el país, competente en Normalización, Reglamentación Técnica y Metrología, que contribuye a garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad”. De esta manera contribuye a una competitividad del mercado, a la mejora de la salud ciudadana y la seguridad del consumidor, además de ser un elemento conservador del medioambiente y del Buen Vivir (INEN, 2017).

Estas normativas van en correlación a lo dispuesto en el Artículo 52 de la Constitución de Montecristi, donde se especifica lo siguiente: “las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características” (Asamblea Constituyente, 2008).

El artículo 29 inciso primero de la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, dicta: “La reglamentación técnica comprende la elaboración, adopción y aplicación de reglamentos técnicos necesarios para precautelar los objetivos relacionados con la seguridad, la salud de la vida humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente y la protección del consumidor contra prácticas engañosas” (Congreso Nacional, 2007).



A continuación describimos según la NEC (norma Ecuatoriana de Construcción) (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013) tablas con los niveles de iluminación mínimos recomendados para áreas y ambientes específicos:

NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS	
TIPO DE LOCAL	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACIÓN RECOMENDADO (EN LUX)
<b><u>Áreas de trabajo</u></b>	<b><u>300</u></b>
Áreas de circulación (pasillos, corredores, etc.)	50
Escaleras, escaleras mecánicas	100
Áreas de parqueaderos cubiertos	30

(TABLA #3) Niveles de luz comunes de fuentes naturales, definidos en la tabla según (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013)

ILUMINACIÓN MÍNIMA EN AMBIENTES ASINTENCIALES Y EDUCACIONALES	
TIPO DE LOCAL	ILUMINANCIA (EN LUX)
Bibliotecas	400
Cocinas	300
Gimnasios	200
<b><u>Oficinas</u></b>	<b><u>300</u></b>
Pasillos	100
Policlínicos	300
Salas de cirugía	500
Salas de clase	300
Salas de dibujo	600

(TABLA #4) Niveles de luz comunes en exterior de fuentes naturales, definidos en la tabla según (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013)



## **ILUMINACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS (INEN 1-150, INEN 1-151, INEN 1-152)**

El INEN estableció los requisitos para las normas técnicas en relación a la iluminación natural de edificios INEN 1-152 (Acuerdo Ministerial nº 11 446, 2011). Esta norma establece los requisitos y disposiciones de la iluminación natural requerida en viviendas, escuelas oficinas y hospitales, estableciendo los parámetros mínimos de iluminación y su aplicación práctica.

En este reglamento se establecen los métodos de determinación, con los factores que afecta la visión (vista, deslumbramiento, fuentes de luz natural, factores generales, componente del factor de luz natural, componente de cielo, componente de reflexión externa y componente de reflexión interna).

También se establecen los requisitos generales de iluminación natural, con sus disposiciones, niveles, componentes de cielo recomendados y que deben mantenerse en los diferentes locales, tamaño de ventanas, disposición de ventanas para proporcionar una buena iluminación natural, y la situación de edificios.

Para el caso de esta investigación (en la que se busca optimizar el confort mediante una adecuada distribución de la iluminación interior) se han determinado los valores mínimos y máximos para un espacio interior a ser utilizado como una oficina de trabajo; valores que van desde 300 lux (valor mínimo), hasta 700 lux (valor máximo).

### **2.5.3 MATERIALIDAD**

#### **MATERIALES PARA FAVORECER GANANCIA LUMÍNICA**

Favorecido por un esfuerzo en los diseños interiores y arquitectónicos, los materiales luminarios son variados y ofrecen mejoras en las propiedades o características de éstas.

La fundición de aluminio se aplica generalmente en la construcción de armaduras, cierre de equipos auxiliares y cajetines. Como explica (UPC Grup d'Estudis Luminotécnic, 2015) para este tipo de material y su uso se debe realizar con un contenido de cobre menor al 0,1%.

Sus características principales son:

- Costo intermedio
- Manufacturación sencilla
- Gran resistencia mecánica
- Resistente a la corrosión

La chapa de aluminio se utiliza generalmente en la creación de reflectores debido a su liviandad y durabilidad, también, como en el anterior, se utiliza para cajas y armaduras.

Sus características principales son:

- Bajo costo
- Fabricación sencilla
- Resistente a la corrosión



- Poca resistencia mecánica

Fundición de hierro, se utiliza principalmente para la obtención de brazos, soportes o columnas. No tiene un uso directo para las luminarias.

Sus características principales son:

- Coste elevado
- Gran resistencia mecánica
- Excesivo peso
- Gran resistencia térmica

Chapa de acero, se usa por lo general para la confección de piezas de luminaria, como son los soportes, cajas auxiliares, portalámparas, entre otros. Las luminarias específicamente no suelen estar fabricadas de este material. La chapa de acero inoxidable es una variante, su costo es más elevado, pero se evita la oxidación. Se utiliza principalmente para exteriores y zonas de gran exposición a la humedad y ambientes corrosivos como las instalaciones cercanas al mar.

Sus características principales son:

- Material maleable
- Gran resistencia mecánica
- Gran resistencia térmica
- Debe ser tratado con acero para evitar corrosión

Termoplásticos, este componente ha ido ganado posiciones en el mercado gracias a sus propiedades electro-aislantes y por su fácil fabricación. Se aplica generalmente para la fabricación de armaduras, portalámparas, cajas porta equipos, entre otros. Los elementos que lo integran son: policarbonato, metacrilato, polietileno y poliéster con fibra de vidrio entre otros.

Sus características principales son:

- Bajo costo
- Escasa resistencia mecánica
- Escasa resistencia a temperaturas altas
- Resistente a la corrosión

Vidrio, utilizado para sellar departamentos ópticos, para protección de la luminaria y mantener la limpieza de ésta y del reflector. Los vidrios más recurridos son el vidrio cal-soda (vidrio normal) y el vidrio de boro silicato (vidrio duro).

Sus características principales son:

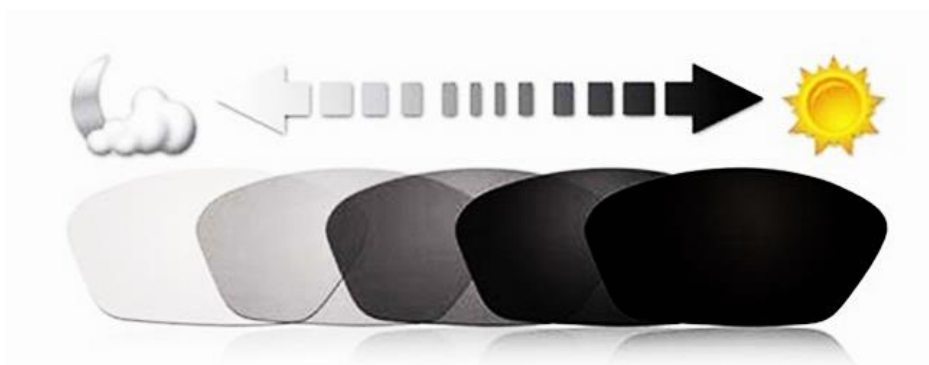
- El precio depende del tipo y calidad
- Poca resistencia a las temperaturas
- Poca resistencia a choque térmico
- Transmitancia elevada

Se establece una pequeña reseña en cuanto a vidrios se trata, sobre todo para el tratamiento en fachadas responsivas, envolventes arquitectónicos y pieles en las edificaciones:

## VIDRIOS FOTOCROMÁTICOS

El efecto fotocromático convierte en más oscuro determinados materiales transparentes como el vidrio para ventanas, cuando recibe la luz directa del sol o de una fuente lumínica artificial. (Villegas, 1994) específica, que su “transmitancia cambia drásticamente en función de su exposición a la radiación electromagnética”.

Es muy utilizado en las gafas de sol evitando la fuerte luz sobre los ojos, o la máscara de soldador para evitar los haces de luz intensa que se producen en los trabajos de soldadura.



(IMAGEN 92)

Se diferencian tres grandes tipos de vidrios fotocromáticos:

- Hackmanita, se oscurece por efecto de la luz ultravioleta y se puede aclarar por blanqueo con una exposición de longitud de onda más larga.
- Vidrios con Ce(III) o de Eu(II), dan una coloración amatista. Con el uso decrece su efecto debido a una fotooxidación del material.
- Vidrios de halogenuro de plata, este tipo tiene las mejores propiedades de claridad, durabilidad y no sufre fatiga por su uso.

Tal como indica (Prado Ruiz, 2016), durante mucho tiempo fueron un problema los rayos del sol para la vista directa. El vidrio fotocromático se oscurece con la exposición a la luz y se recupera su claridad cuando cesa la iluminación, y como explica (Belda, 2010) “este comportamiento se debe a la acción de la luz sobre cristales diminutos de cloruro de plata o bromuro de plata distribuidos por todo el vidrio”.

## VIDRIOS INTELIGENTES (vidrio electrocrómico)

Vidrios inteligentes o vidrios cambiables, también denominados ventanas inteligentes o ventanas cambiables, en aplicaciones por ventanas o rascacielos, se refiere a un vidrio que permite cambiar sus propiedades ópticas mediante la aplicación de un voltaje.

Algunas formas de vidrios inteligentes admiten a los usuarios controlar la cantidad de luz y calor que atraviesa simplemente pulsando un botón, haciendo que cambie de transparente a opaco, bloqueando parcialmente la luz, pero manteniendo una visión clara de lo que hay detrás del vidrio.

Una de sus ventajas es que “su apariencia neutra le hace especialmente indicado para la renovación residencial, ya que no altera el aspecto de la fachada” (Cruz Pérez, 2016). Las tecnologías de vidrios inteligentes son sistemas electrocrómicos, sistemas de partículas suspensas y sistemas de cristal líquido de polímero dispersado.

La utilización de vidrios inteligentes puede reducir gastos por calefacción, aire acondicionado, luz, y el costo de la instalación y mantenimiento de pantallas de luz motorizadas o cortinas. En el estado opaco, el cristal líquido o el electrocrómico, bloquean la mayoría de radiaciones ultravioletas, reduciendo así la atenuación, mientras que en el tipo SPD (suspended particles device), esto se consigue empleando a la vez un recubrimiento con baja emisión.

Los aspectos críticos de los vidrios inteligentes son el costo de instalación, la necesidad de electricidad, la durabilidad, así como problemas funcionales, como la velocidad del control, oscurecimiento y el grado de transparencia del vidrio.

Los sistemas electrocrómicos cambian las propiedades de transmisión de la luz como respuesta a la aplicación de un voltaje, y permiten así el control sobre la cantidad de luz y calor que atraviesa. En ventanas electrocrómicas, el material electrocrómico cambia su opacidad, entre un estado translúcido (normalmente azul) y un estado transparente. Se necesita electricidad para producir este cambio, pero una vez éste ya ha finalizado el cambio, no es





necesario más electricidad para mantener el estado. Como explica (Pérez, 2013) el material se empieza a oscurecer desde los márgenes hacia el interior, y es un proceso lento, que puede ir desde unos segundos hasta algunos minutos, dependiendo de la medida de la ventana. El vidrio electrocrómico permite la visibilidad incluso en el estado opaco, y por lo tanto mantiene el contacto con el exterior. Se ha utilizado en aplicaciones a pequeña escala como en los espejos retrovisores. También se ha utilizado en museos para proteger pinturas u objetos de los efectos de los rayos ultravioletas o de las longitudes de onda de la luz artificial.

Adelantos recientes en materiales electrocrómicos pertenecientes a la transición metálica de los hidruros electrocrómicos han favorecido el desarrollo de hidruros reflectivos, que resultan reflectores en lugar de absorbentes, y por lo tanto cambia entre estados transparentes y de efecto espejo; sin embargo, el costo puede llegar a ser hasta 3 veces el valor de un vidrio comercial común, esto está en desarrollo de investigación para lograr que las técnicas de fabricación se optimicen y así aumente el volumen de demanda y fabricación, esto conllevaría a entregar costos más competitivos en el mercado.

## 2.6 CONCLUSIONES

El paradigma contemporáneo de la arquitectura cinética establece que el panorama en lo referente a la forma de hacer arquitectura está siempre en constante desarrollo y cambio. De la mano de la tecnología estos sistemas buscan principalmente dar soluciones sustentadas en la entorno a la relación entre los humanos y su habitad. De todo el estudio y análisis realizado se concluyen algunos conceptos:

- El desarrollo de la cinética en arquitectura, según el estado del arte analizado, se da principalmente en fachadas cinéticas.
- Los ejemplos analizados revelan que los costos para estas aplicaciones cinéticas en arquitectura aún son extremadamente caros; esto debido al alto costo de manufacturación de la tecnología y al alto costo que demanda el mantenimiento para el óptimo funcionamiento de los sistemas cinéticos.
- Aún se busca establecer con claridad el campo exacto en el que la arquitectura cinética actúa, ya que su principal desarrollo en la actualidad se sustenta y se observa dentro del campo de aplicación académico (ensayos, papers e hipótesis aplicadas); pero aún en la actualidad están en desarrollo variedad de ejemplos aplicados en la realidad, que están siendo construidos y que a futuro ya contarán con la posibilidad de poder ser evaluados en cuanto a desempeño energético e impacto social y ecológico. Por ahora, los ejemplos construidos parecen ser una demanda de tipo individualista para expresar y destacar obras puntuales.





- Al profundizar el estudio de este tipo de arquitectura (buscando especialmente dar soluciones a la ecología actual del planeta), podremos saltar la brecha en la que esta arquitectura podría quedar estancada con el riesgo de convertirse nada más que en una ornamentación de fachadas arquitectónicas.
- El potencial de la arquitectura cinética también debe estar enfocado en dar solución a las rápidas y cambiantes condiciones de relación entre los humanos y su entorno; ya que la parametría ofrece la posibilidad de arquitectura dinámica, cambiante, adaptable, en contraposición de la arquitectura tradicional que es estática y a la finalización de la obra, está casi condenada a ser de esa misma forma y estructura por el resto de su vida útil.
- La arquitectura cinética ofrece también la posibilidad de una retroalimentación constante entre la edificación, los usuarios, los diseñadores (arquitectos, ingenieros, etc.), el entorno inmediato y la tecnología. Esto abre el nuevo paradigma para que los usuarios se transformen en partícipes activos en busca de soluciones colectivas.
- La importancia del confort lumínico al interior de un espacio construido no solo radica en la capacidad de generar bienestar en los usuarios de dicho espacio; sino también juega un rol trascendental en el cuidado de la relación entre la arquitectura y el medio ambiente.



## **CAPÍTULO 3: APLICACIÓN (CONSTRUCCIÓN PARAMÉTRICA)**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

*“Successful simulation of building performance is a challenging task and has been phrased as the art of performing the right type of virtual experiment with the right model and tool...”* (Mahmoud & Elghazi, 2016)

Sustentada en las referencias citadas en el capítulo anterior de precedentes en arquitectura cinética, esta investigación plantea el análisis de una fachada cinética que responda a las necesidades de mejorar la distribución de iluminación diurna, analizándola en comparación con el desempeño de una ventana común. Si bien el estado del arte antes investigado se desarrolla con proyectos arquitectónicos en localizaciones geográficas en las que se busca controlar y mejorar la incidencia directa del sol sobre una fachada, esta investigación plantea (mediante el movimiento cinético de la fachada para captación y distribución de luz diurna) mejorar el confort lumínico en un espacio interior determinado para una actividad referente a una oficina de trabajo (valores mínimos de iluminación en 300 lux y máximo de hasta 700 lux, dados por la INEN 1 152). Se busca entonces optimizar la luz diurna interior, mediante la captación de la misma por medio de la fachada.

#### **3.1.1 TIPO DE SISTEMA CINÉTICO**

De los tres grandes grupos antes descritos dentro de la arquitectura cinética (sistemas cinéticos incrustados, sistemas cinéticos desplegados y sistemas cinéticos dinámicos), esta investigación genera su desarrollo en base a una fachada arquitectónica que se clasifica dentro del grupo de arquitectura cinética incrustada (ver referencia y descripción de este tipo de arquitectura cinética en pg. 26, segundo párrafo).

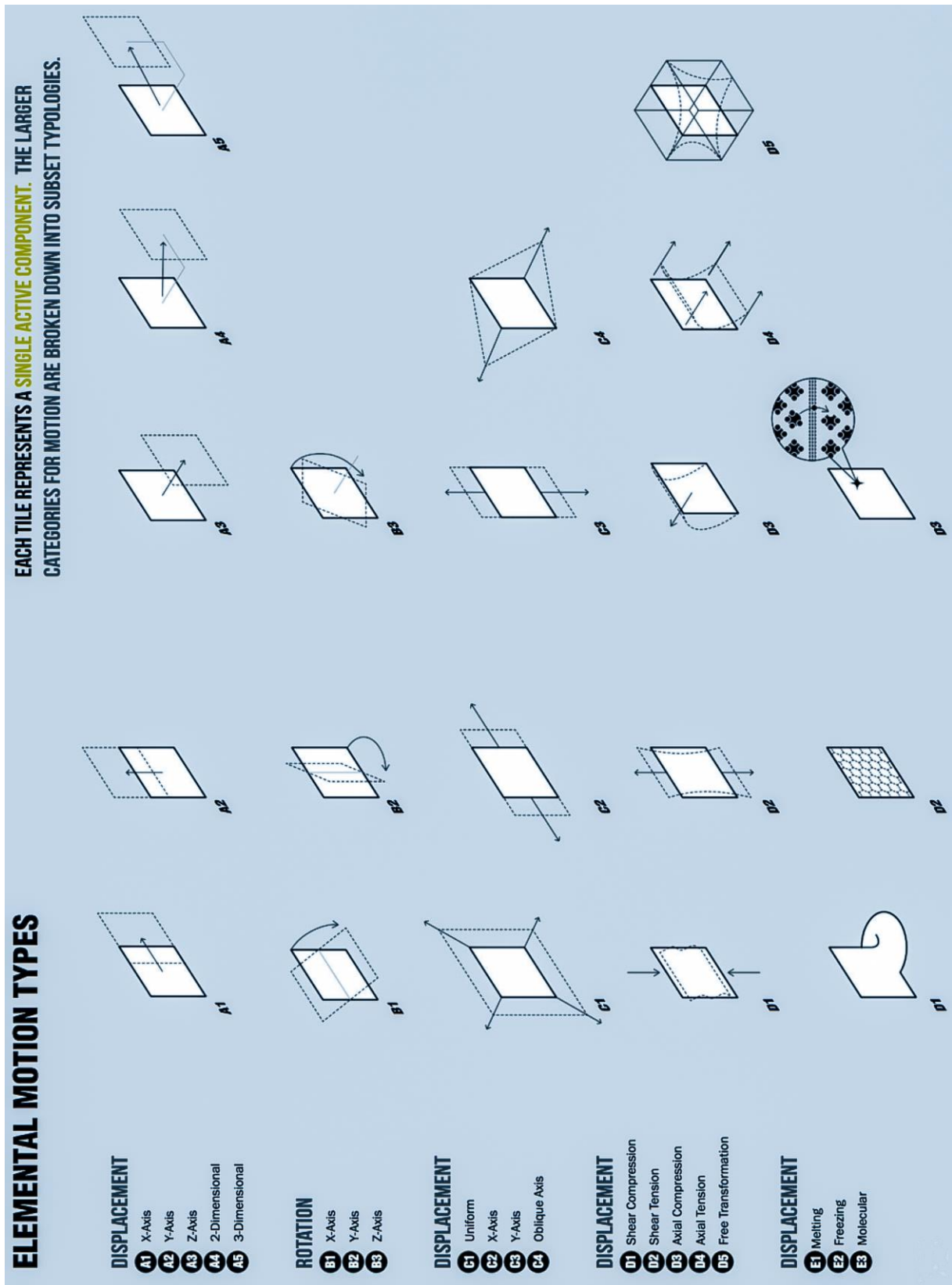
#### **3.1.2 MOVIMIENTOS CINÉTICOS BÁSICOS**

Según (Mahmoud & Elghazi, 2016) los movimientos cinéticos (en el caso de arquitectura) pueden ser explicados en tres clases básicas de tipos de movimiento: rotación, traslación y escala. Siendo esta clasificación obtenida sin tomar en consideración ubicación de las bisagras, juntas o articulaciones del sistema cinético; además, sin tampoco considerar la gravedad a la que está sujeta el sistema cinético debido al peso y movimiento; acentuando por supuesto, que no tomar en cuenta lo antes indicado (articulaciones y gravedad) tiene implicaciones importantes dentro del diseño del sistema. Además, como advierte (Moloney, 2011), en la definición de movimiento cinético se debe incluir la deformación de los materiales como un tipo adicional de movimiento cinético complejo.

Para el caso de esta investigación, la cinética va a ser delimitada y probada en un solo tipo de movimiento básico, que es el de rotación. El objeto (cada célula compositiva de la fachada) cambiará su orientación espacial mediante rotación en los ejes de coordenadas. Para descripción



general, a continuación, citamos un diagrama interpretativo de resumen para los tipos elementales de movimientos (imagen 95), según (Adler, 2013).



(IMAGEN 95)



### 3.1.3 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CINÉTICO

Como explica (Mahmoud & Elghazi, 2016), el éxito de esta construcción digital para la simulación correcta del rendimiento de este tipo de arquitectura cinética, resulta un deber desafiante y se puede describir como el arte de realizar el tipo de experimento correcto, con el modelo y las herramientas apropiadas.

Las herramientas de simulación para este tipo de construcciones arquitectónicas, en la actualidad avanzan de forma notable; pero, aún (como veremos más adelante en el caso de la aplicación de simulación de luz diurna) siguen presentando inconvenientes y limitaciones, ya que están desarrolladas para realizarse con sistemas y elementos estáticos, más habrá que buscar los medios para adaptarlas y que realicen cálculos exactos en este tipo de sistemas cinéticos (no estáticos, cambiantes, con movimiento y para resultados en tiempo real).

Otro punto trascendente que se debe desarrollar es que las herramientas de simulación casi en su totalidad asumen las propiedades de los materiales arquitectónicos como elementos constantes y no como una variable cambiante que posee gran influencia en los resultados de las pruebas que buscan captar la luz diurna para distribuirla de mejor forma.

Las herramientas de construcción digital para esta investigación están basadas en funciones y algoritmos paramétricos, en los cuales se podrá realizar pruebas de movimientos y cálculos lumínicos (a modo de laboratorio de ensayos, prácticas y aplicación) hasta obtener mejor iluminación al interior del espacio arquitectónico. Para esto, se establece como herramienta primordial el programa paramétrico Grasshopper, por medio del cual se realizarán los análisis de movimiento paramétrico de la fachada cinética, mediante la construcción de sus partes individuales y de su totalidad. Rhino, será la plataforma estándar para visualización de los ensayos paramétricos; y mediante Diva para Grasshopper se realizarán los ensayos para los cálculos lumínicos al interior del espacio arquitectónico.

Estas herramientas de simulación se han seleccionado para la construcción del sistema cinético, ya que disponen de una interrelación entre sí, esto permite el análisis con retro alimentación de datos (sobre todo en el caso de la fachada cinética) para buscar la conformación idónea de las partes de la fachada cinética para optimizar la iluminación interior; además con precedentes exitosos, como la investigación realizada por (Mahmoud & Elghazi, 2016), conjuntamente con otros estudio y análisis anteriores citados en dicha investigación.

En base a estas cuatro herramientas de construcción y simulación digital se realizarán los ensayos y aplicación para obtener los resultados y tabularlos en comparación del funcionamiento de luz diurna en el caso de las dos fachadas. Softwares adicionales de apoyo serán también utilizados; Sketchup para ilustraciones del estudio, y otros para entendimiento, tabulación y clasificación de los datos obtenidos.



## 3.2 MÉTODO

*“Remark design as a key force of redirection towards sustainability in order to move from ‘sustainability development’ (and all it stands on) to the ‘development of the Sustainment’”*  
(Hou, 2016)

Para el desarrollo y construcción de un sistema arquitectónico cinético de cualquier tipo; se identifican y proponen los siguientes procesos y etapas de desarrollo descritos en la tabla #5 (en el caso de esta investigación para una fachada cinética, abordaremos los procesos 1 y 2):

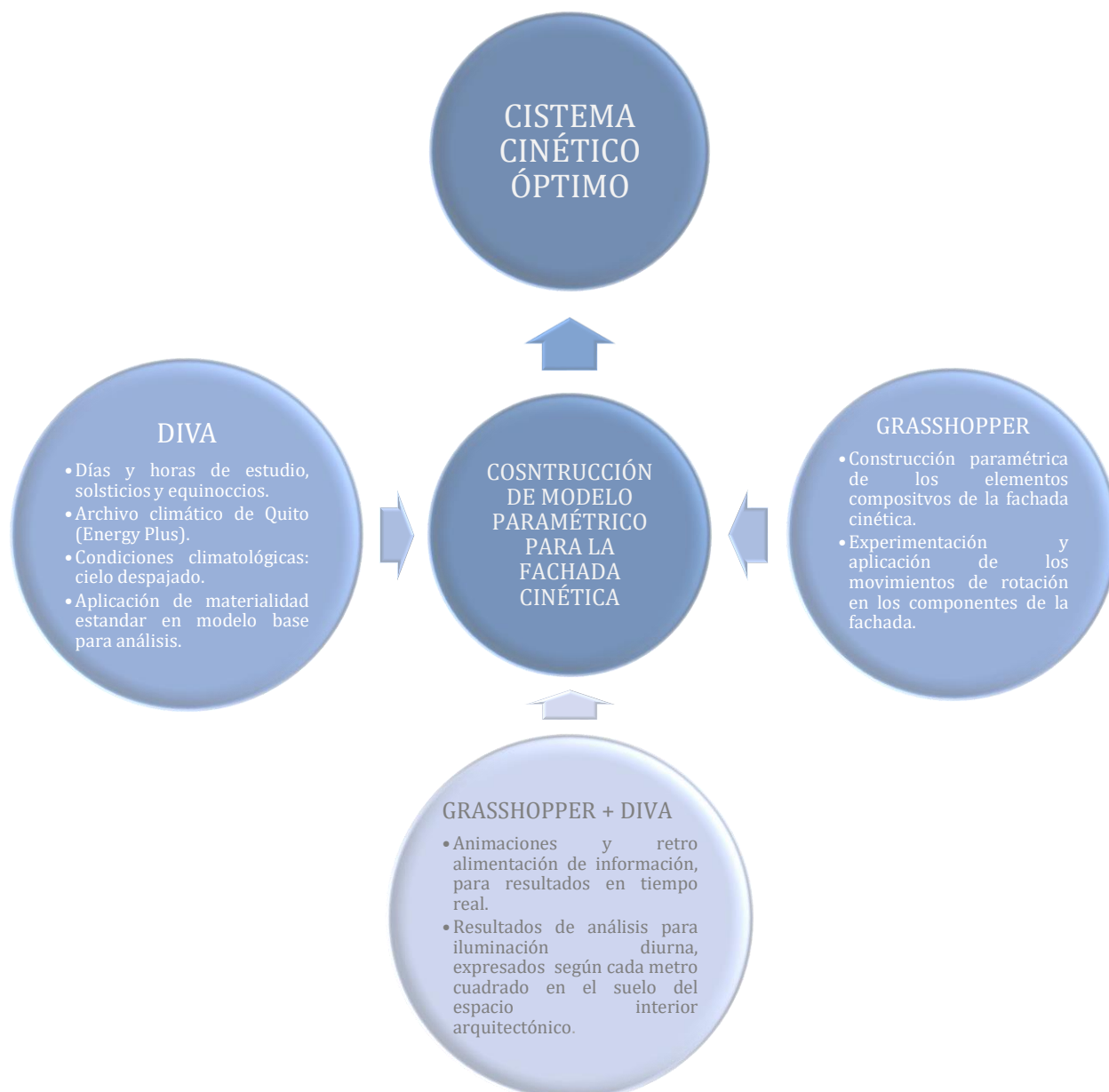
TIPO DE PROCESO		DESARROLLO DEL SISTEMA ARQUITECTÓNICO CINÉTICO
1	Conceptual	Con decisiones y premisas de diseño, basadas en solventar los problemas demandados por usuarios, del entorno natural y construido mediato e inmediato.
2	Digital	El concepto se construye digitalmente en grasshopper (por ser en la actualidad la herramienta idónea y especializada para este tipo de diseños), apoyada por otros software que garanticen abordar y solventar de manera correcta las premisas de diseño.
3	Técnico	Estudio, aproximación y desarrollo, para conexión de tres elementos: ingeniería estructural, tecnología de sensores y arquitectura adaptable.
4	Fabricación	Según los procesos antes descritos, garantizar plasmar físicamente el proyecto con tiempos límite apropiados y en contra prueba de prototipos a escala, con emplazamiento final a escala real.

(TABLA #5) Procesos propuestos por el autor, para el desarrollo de un sistema arquitectónico cinético.

El desarrollo de esta investigación se plantea mediante una metodología cuantitativa heurística, para la cual se realiza un diseño de investigación experimental que está dividido en etapas consecutivas, pero no lineales sino transversales, ya que los dos casos de estudio (fachada tradicional y fachada cinética) se investigan simultáneamente mediante el modelo base para análisis y simulaciones; para posteriormente comprar y tabular los resultados obtenidos. El área de estudio se ha planificado para ser aplicada en nuestro medio tomando como referencia la ciudad de Quito por estar ubicada sobre la línea ecuatorial; esto con la finalidad de tener la fachada orientada siempre hacia la cara sur y observar el comportamiento de la iluminación al interior del modelo base mediante. Este criterio de análisis y aplicación metodológica es importante para la búsqueda de que el sistema cinético de la fachada brinde una mejor iluminación en las áreas con iluminación pobre, en el interior del espacio arquitectónico, determinado como uso para una oficina de trabajo (con valores mínimos de iluminación en 300 lux y máximo de hasta 700 lux, dados por la INEN 1 152).



Entonces, podemos sintetizar el esquema a seguir para la construcción de la fachada cinética según se explica en el diagrama #3.



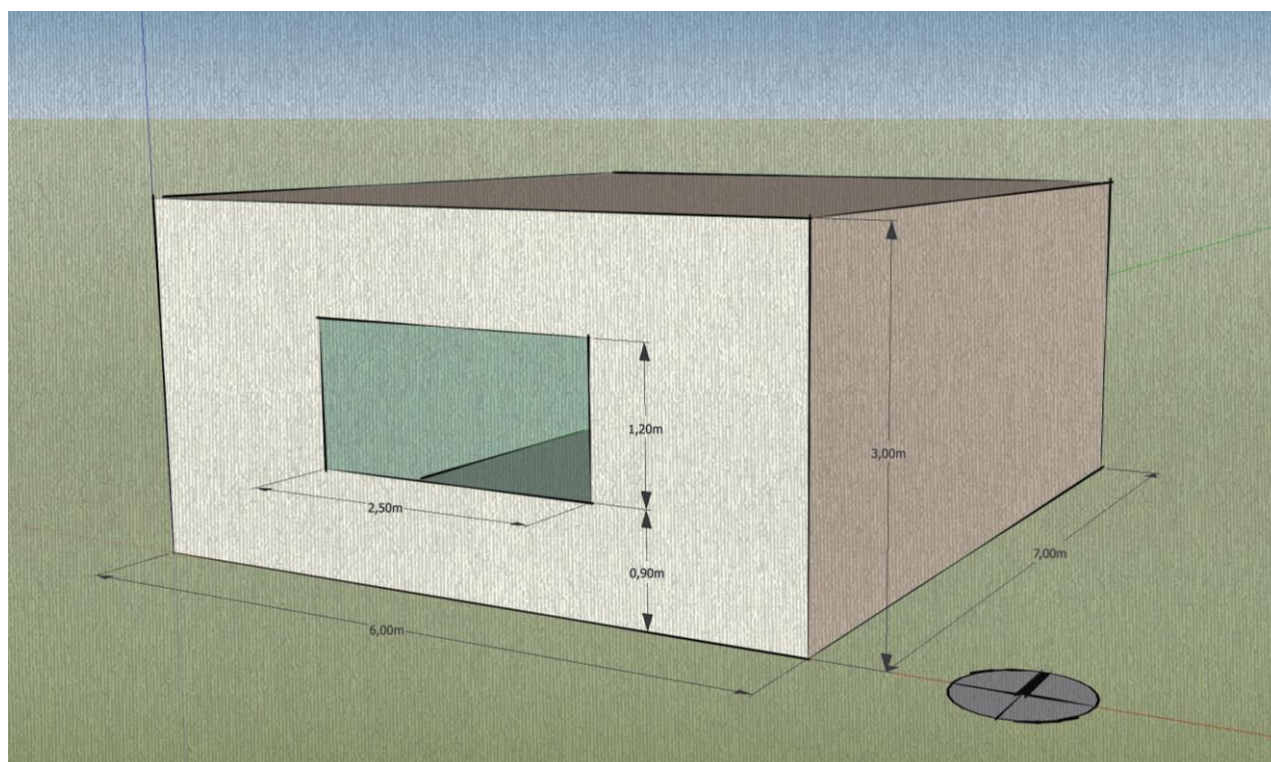
(DIAGRAMA #3) ilustra en síntesis la metodología a seguir para la construcción de la fachada cinética



### 3.2.1 MODELO BASE PARA ANÁLISIS Y SIMULACIONES

El espacio interior en el que se va a analizar la distribución de la luz diurna corresponde a un espacio de uso para una oficina de trabajo (con valores mínimos de iluminación en 300 lux y máximo de hasta 700 lux, dados por la INEN 1 152), que servirá para analizar cómo mejorar la captación y distribución de luz diurna para optimizar el confort lumínico, en comparación entre la fachada con ventana común y la fachada cinética.

Este espacio interior que sirve de modelo base para los dos casos de estudio (imagen 96), tiene un área de 42m<sup>2</sup>; con 6m de frente, 7m de fondo y 3 metros de alto. En el transcurso de los análisis aplicados a ambas fachadas, las dimensiones del espacio interior arquitectónico seguirán siendo las mismas. Para ambos casos de estudio, este espacio interior de oficina de trabajo estará localizado en planta baja, orientado hacia el sur, y las simulaciones de luz diurna están consideradas en condiciones de cielo completamente despejado y con sol. Las superficies interiores en cuanto a materialidad para ambos casos en todos los análisis se consideran con materiales estándar con reflectividad de 40% para el cielo raso, 20% para paredes y 80% para el piso. Los materiales exteriores del modelo se los ha descartado para el análisis, ya que únicamente se va a analizar el espacio desde su funcionamiento lumínico interior.



(IMAGEN 96)



### 3.2.2 SIMULACIONES DE LUZ DEL DÍA

Para ambos casos de estudio (fachada con ventana común y fachada cinética), las simulaciones de luz del día para obtener y comprobar la forma en la que se distribuye la luz sobre el piso al interior del espacio arquitectónico, están basadas en el estudio previo realizado por (Mahmoud & Elghazi, 2016); en el cual se usan (y para esta investigación serán también usados) las normas LEED: V4; en las cuales se establecen los requisitos para iluminación diurna sobre el área de piso en el espacio interior mediante tres niveles de evaluación: “overlit”, “partially daylight”, y “daylit”; entendiendo por esta terminología lo siguiente:

- “Overlit” que se lo entenderá como “sobre iluminado o excesivamente iluminado”, se establece para rangos de iluminancia que van desde los 1000 lux en adelante, sobre el área del piso en el espacio interior determinado con uso para oficina de trabajo.
- “Partially daylight” que se lo entenderá como “parcialmente iluminado”, se establece para rangos menores a los 300 lux, sobre el área del piso en el espacio interior determinado con uso para oficina de trabajo.
- Daylit” que se lo entenderá como “correctamente iluminado”, se establece para rangos que van desde 300 lux hasta 700 lux, sobre el área del piso en el espacio interior determinado con uso para oficina de trabajo.

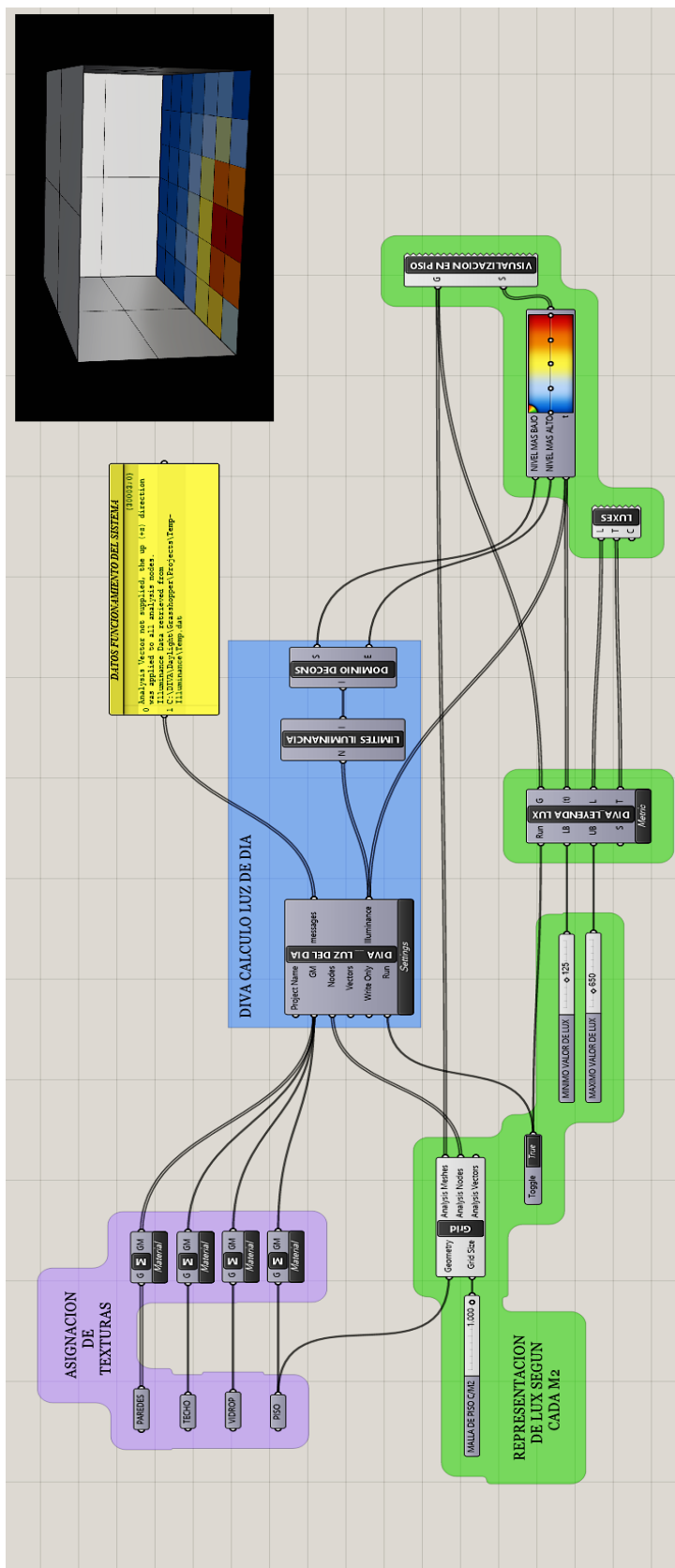
Para la aplicación de los análisis de luz diurna sobre los dos casos de estudio, se han establecido cuatro días, con fechas 21 de marzo y 21 de septiembre, 21 de junio y 21 de diciembre; que corresponden a los días en los cuales se producen los equinoccios y solsticios respectivamente. Cada análisis para los días de estudio se realizará en tres diferentes horarios, 9:00 am, 12:00 pm y 15:00 pm. Estos días y horas son escogidos en relación con los solsticios y equinoccios para abarcar la ubicación de la tierra con respecto al sol con su altitud más alta y más baja, y los ángulos cuando la tierra está más próxima o más lejos del sol.

El análisis de luz diurna se establece para la ciudad de Quito, Ecuador, orientando las fachadas casos de estudio siempre hacia el sur; con condiciones climáticas de cielo despejado con sol. El archivo climatológico de Quito, Ecuador; está obtenido en Energy Plus que está instituido y generado en U.S., mediante el “Department of Energy’s (DOE)” y el “Building Technologies Office (BTO)”, y manejado por el “National Renewable Energy Laboratory (NREL)”; archivo formato “epw” que proporciona la ubicación exacta con valores de latitud, longitud y altitud para la ciudad y el caso de estudio. Diva, la herramienta de simulación de luz diurna, al contar con los parámetros y acreditación LEED: V4, reconoce la lectura de este tipo de archivo obtenido en Energy Plus, para obtener datos lo más cercanos posibles a la realidad según el emplazamiento geográfico de los casos de estudio en esta investigación.

Los resultados de los análisis de luz diurna en la fachada con ventana común y de la fachada cinética, se expresan en el piso del modelo base para el espacio interior (antes descrito), mediante una cuadrícula proyectada según cada metro cuadrado (1m<sup>2</sup>) dentro del área de 42m<sup>2</sup> establecida para el análisis. Esto proyecta resultados de luminancia e iluminancia en el piso interior, sobre 42 puntos diferentes, facilitando la comprensión y el análisis mediante una escala de colores que determina los valores máximos y mínimos expresados en lux. Estos datos para cada día y cada hora antes descritos, serán tabulados para comprender la relación entre la búsqueda del mejoramiento de la fachada cinética sobre el confort lumínico interior, en comparación con los datos obtenidos de los estudios de luz diurna para la fachada con ventana común.



La imagen #97 ilustra la construcción paramétrica en Diva y Grasshopper para los cálculos lumínicos en ambos casos de estudio.



(IMAGEN 97)

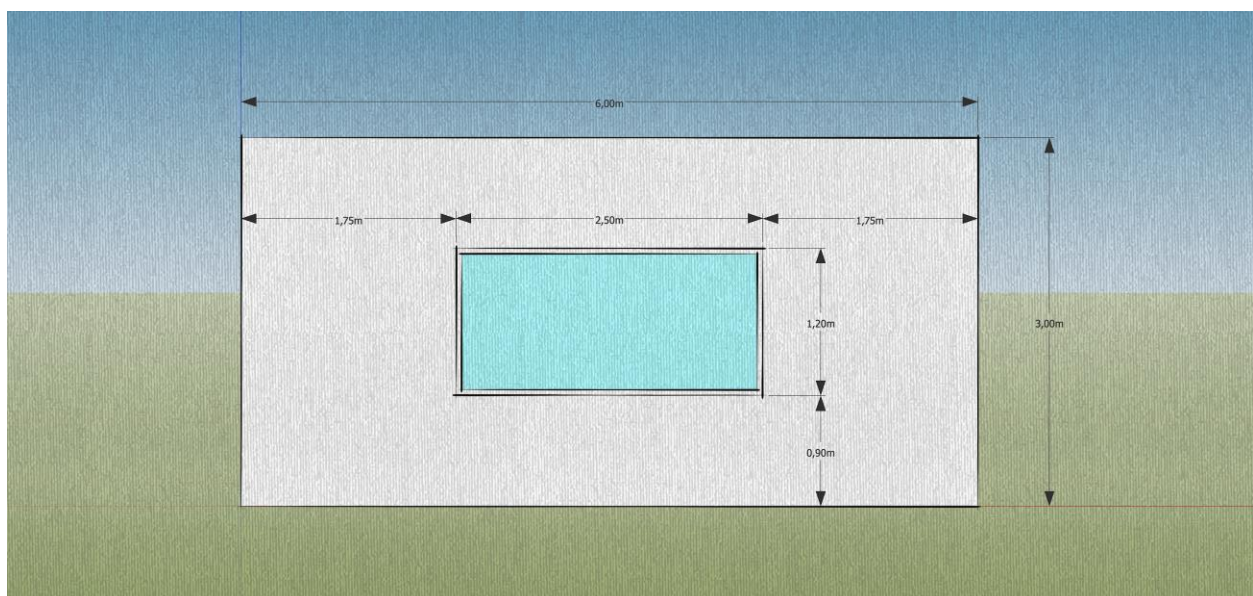


### 3.2.3 ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE FACHADA CON VENTANA COMÚN

Esta etapa está enfocada en desarrollar el análisis del rendimiento y la manera en la que se distribuye la luz diurna en un espacio interior que está generado por una fachada con ventana común, dicha fachada y ventana orientadas hacia el sur. La ventana en la fachada se la establece con las medidas usuales con las que se concibe una ventana común de proyecto arquitectónico en nuestro medio (en cuanto a alturas de antepecho y dintel se refiere); teniendo 2.50m de ancho total, 1.20m de alto; centrada con respecto al ancho de la fachada, con altura de antepecho a 0.90m y altura de dintel de 2.10m (imagen 98). Para la ventana se asignó la materialidad de un vidrio claro de paño simple y de 4mm de espesor, con marco de aluminio para sujeción con la fachada. Para el espacio interior contenido por la fachada, la materialidad será la antes descrita para ambos casos en el modelo base para análisis y simulaciones.

Para mejor descripción del comportamiento de iluminación diurna, se ilustra la fachada con ventana común y con la ubicación e incidencia del sol en cada día correspondientes a los equinoccios y solsticios; esto se ha analizado mediante Ecotect, y al igual forma que con Diva, se ha trabajado en base al archivo climático de la ciudad de Quito para tener ubicación exacta con valores de latitud, longitud y altitud.

A continuación, se detallan los cuadros lumínicos obtenidos mediante la construcción paramétrica en Grasshopper y Diva. Estos resultados de los análisis se proyectan en función de la iluminancia con valores de lux máximo y lux mínimo, y con rangos intermedios en gamas de colores sobre la cuadrícula en el espacio interior contenido por fachada tradicional, para cada metro cuadrado del total del área.



(IMAGEN 98)

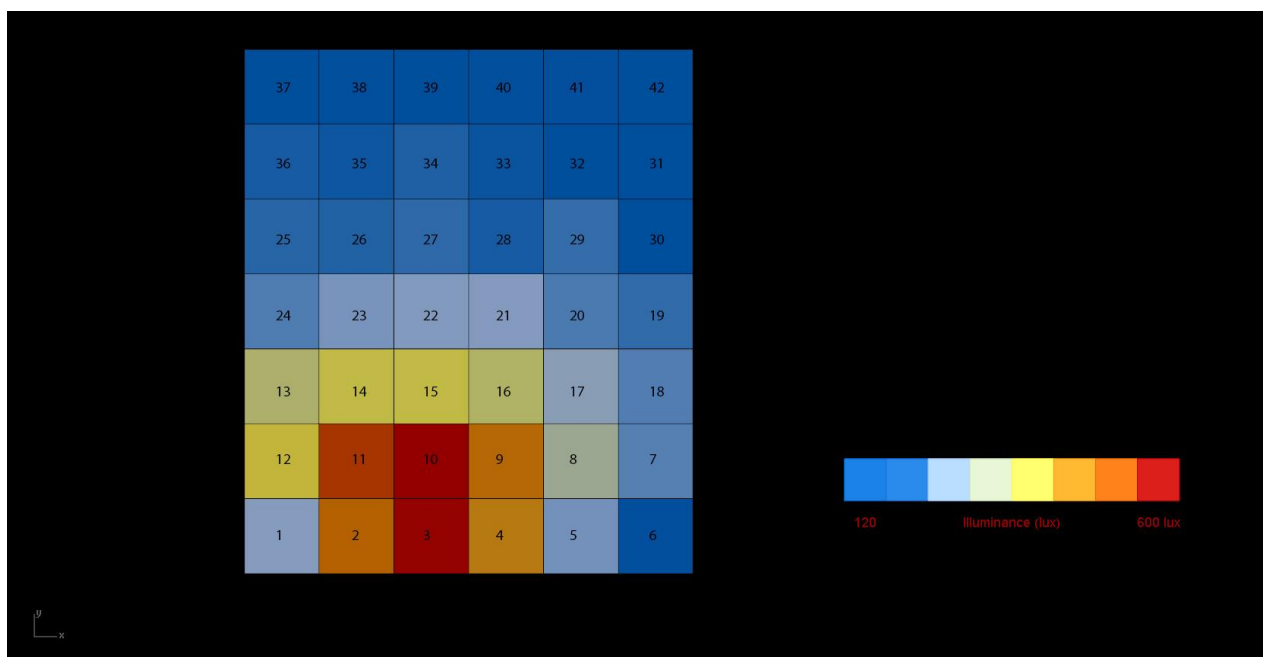
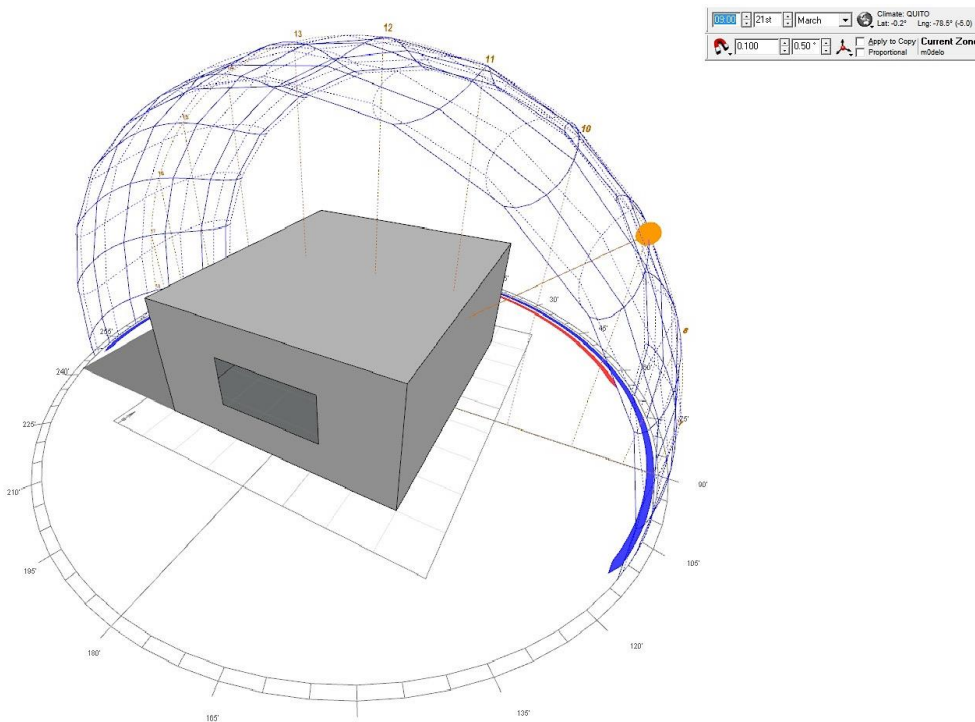


### 3.2.3.1 RESULTADOS PARA EQUINOCCIOS

#### MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21

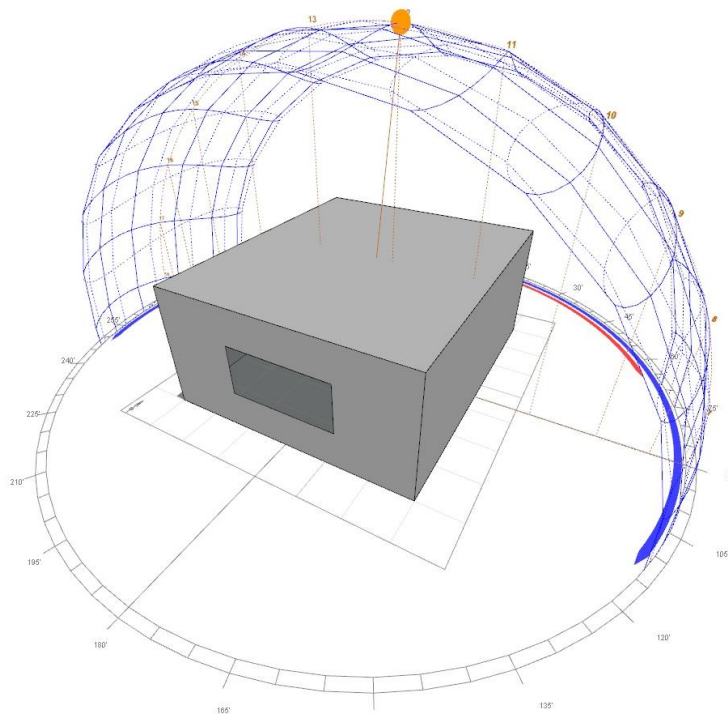
Se representan con los mismos gráficos, ya que los resultados para ambos equinoccios son los mismos, debido a que la ubicación del Sol se encuentra en el mismo punto en la bóveda celeste.

**9 AM**

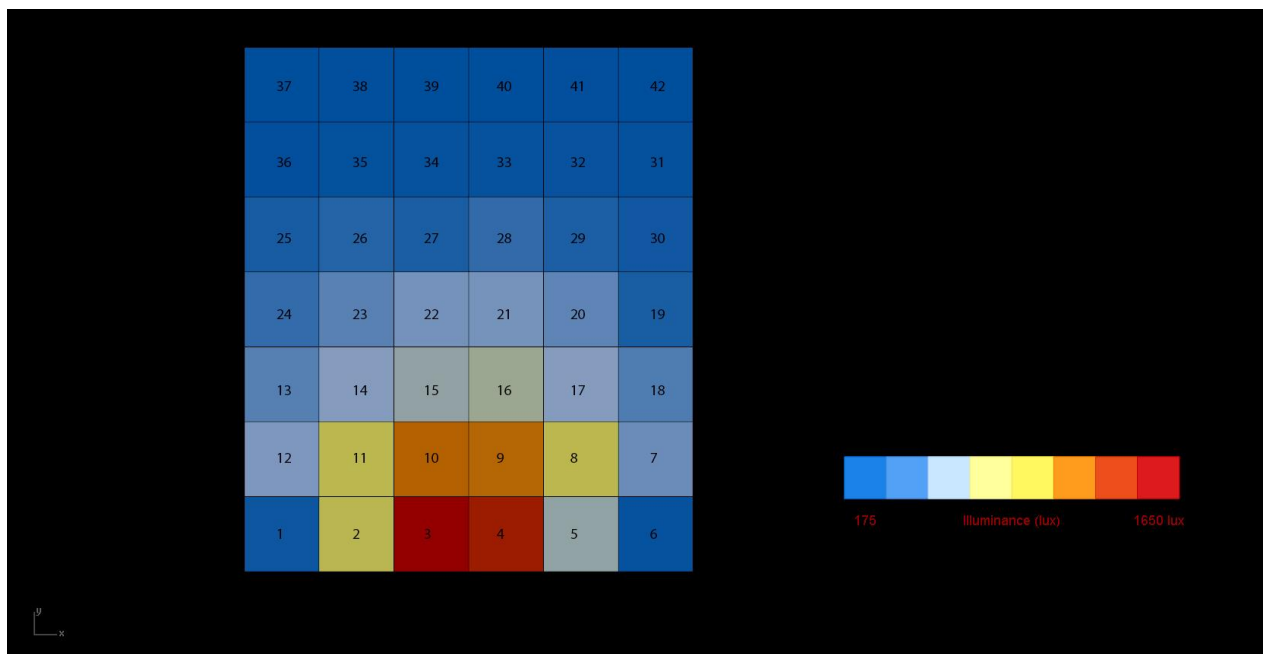




12 PM

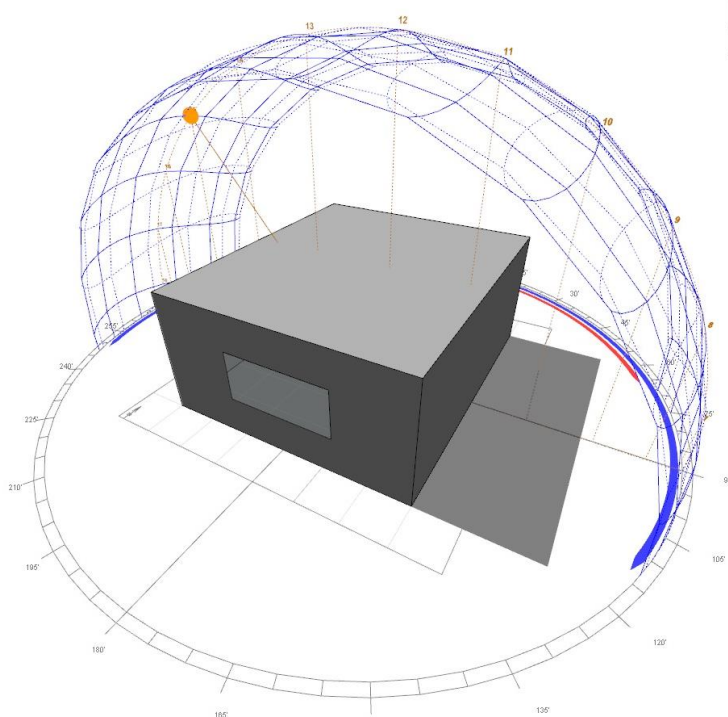


16:00 21st March Climate: QUITO Lat: -0.2° Long: -78.5° (-6.0)  
0.100 0.50° Apply to Copy Current Zone: Proportional mÓdulo

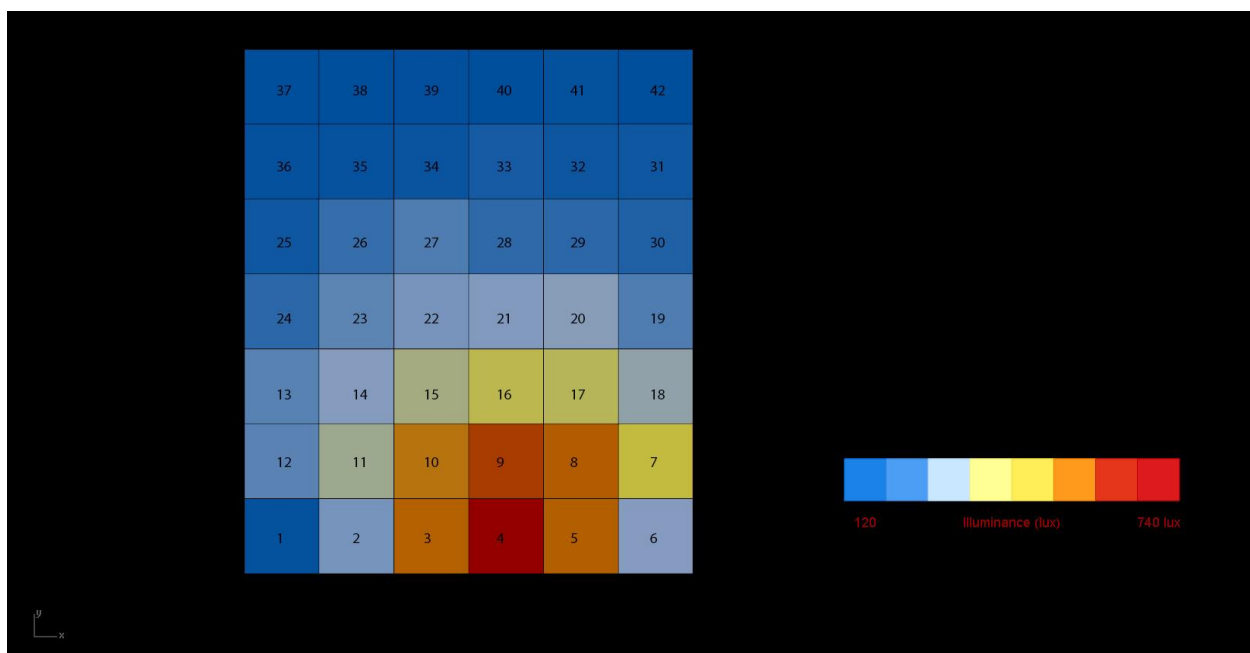




15 PM



15:00 21st March Climate: QUITO Lat: -0.2° Long: -78.5° (4.0)  
0.100 0.50 m Apply to Copy Current Zone: Proportional mScale

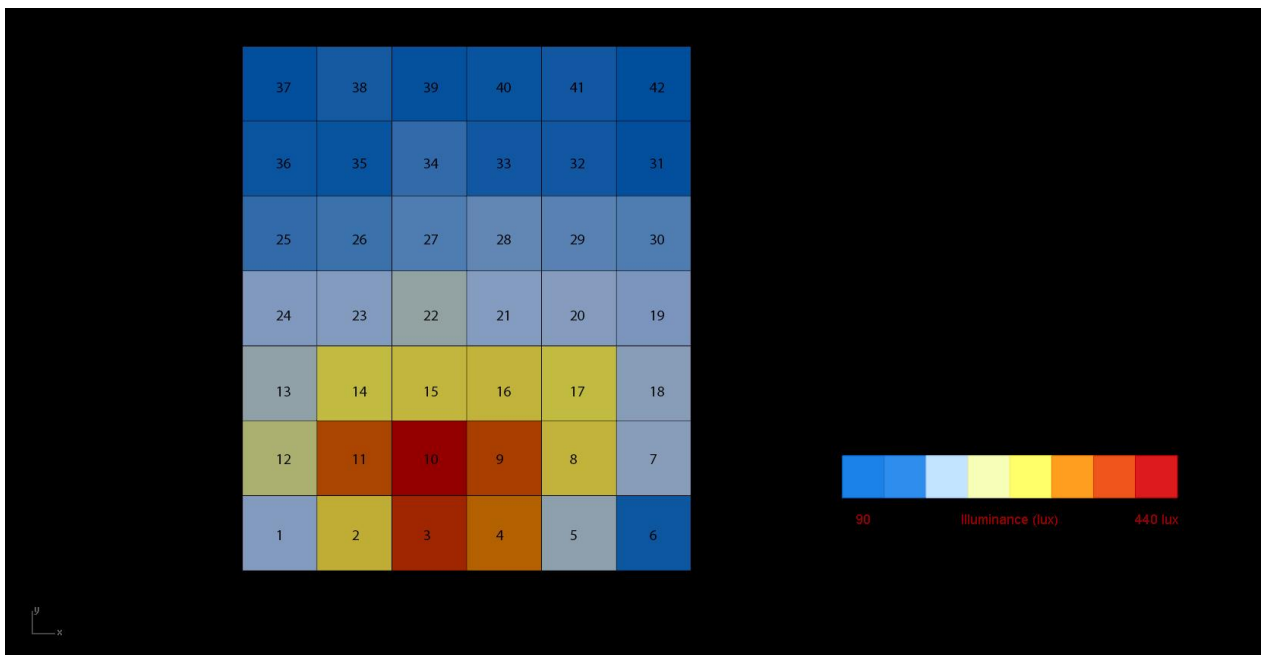
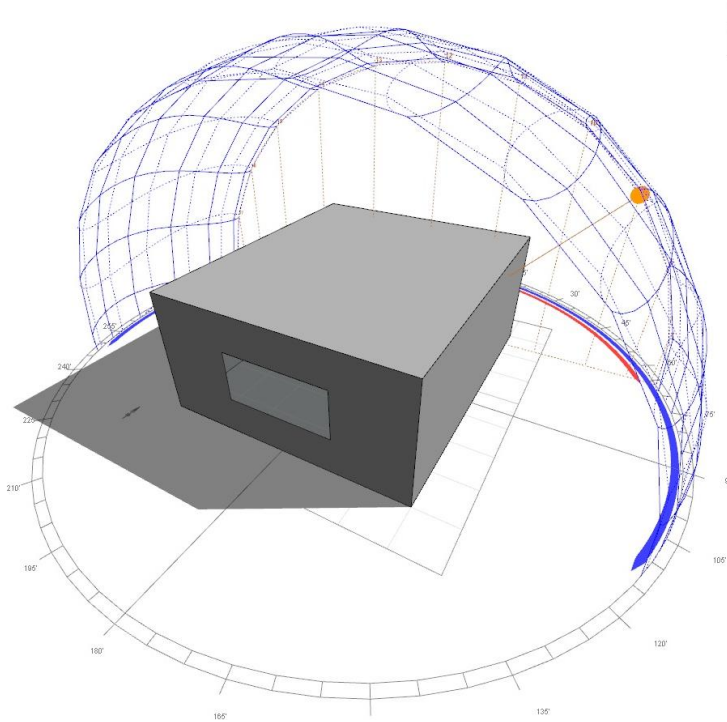




### 3.2.3.2 RESULTADOS PARA SOLSTICIOS

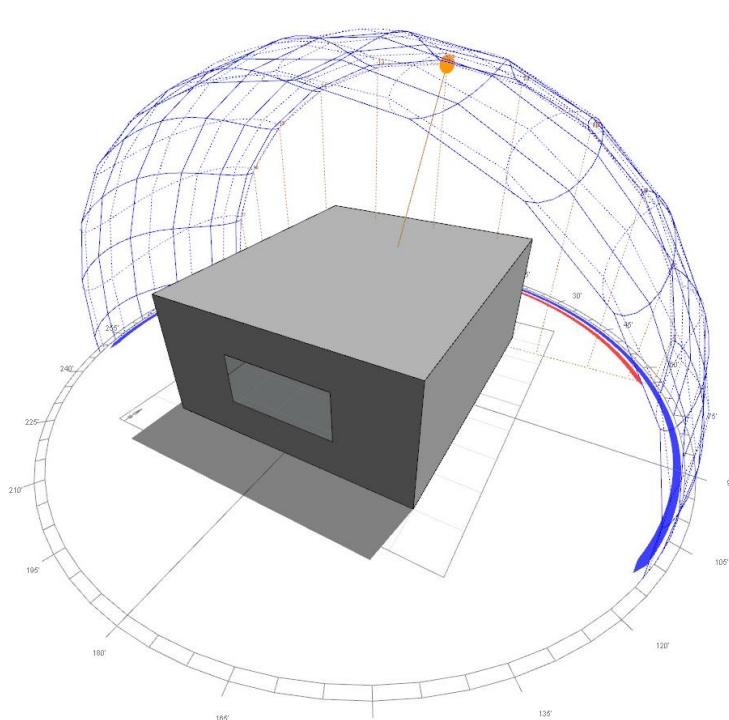
JUNIO 21

9 AM

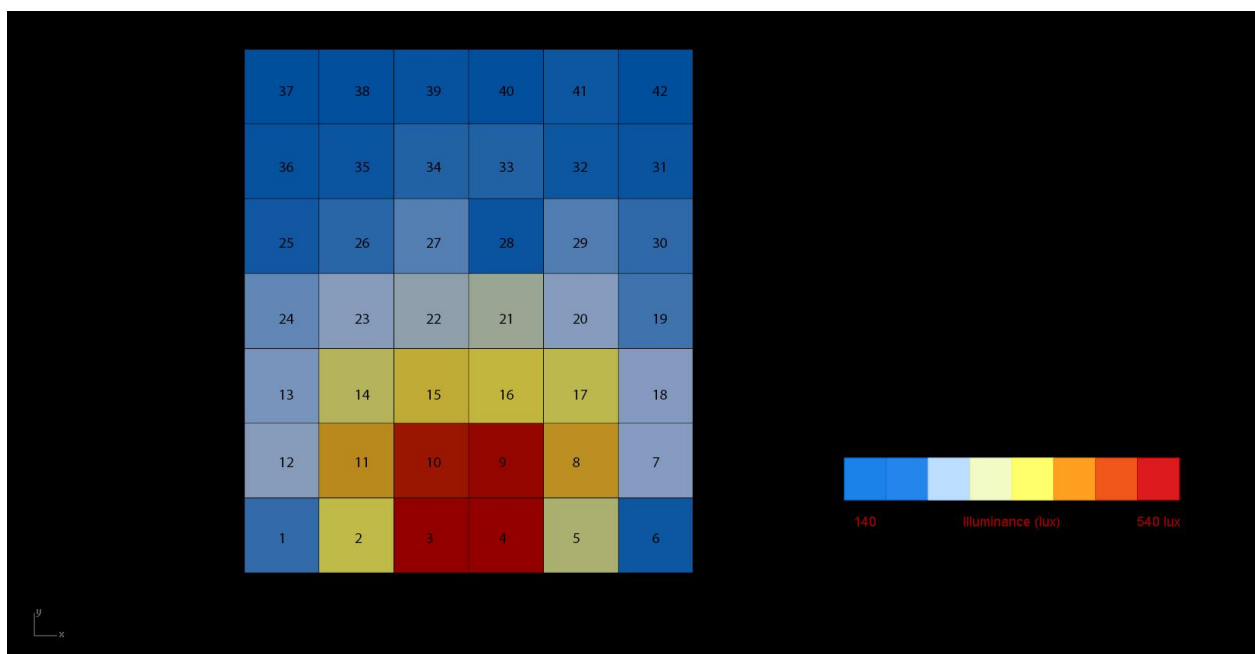




12 PM

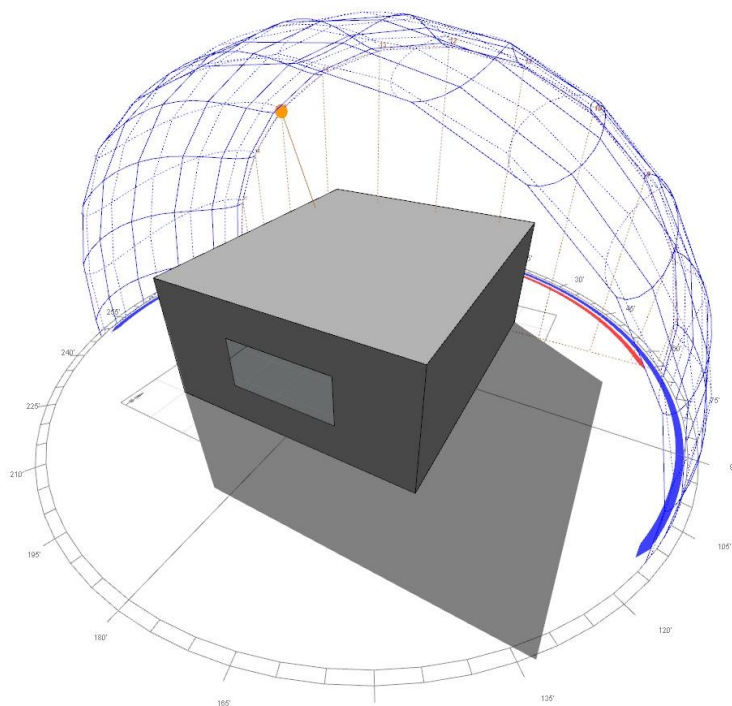


0.100 21st June Climate: QUITO Lat: -0.21° Lon: -78.01° (-5.0)  
Apply to Copy Proportional Current Zone: mÓselo

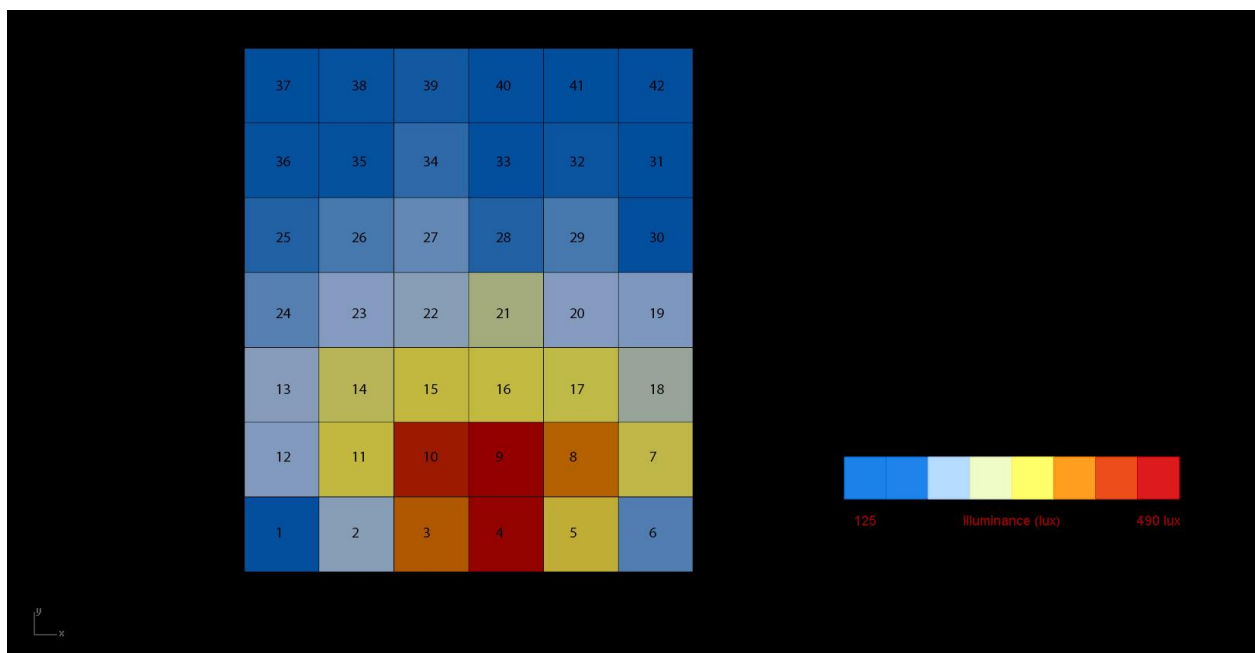




15 PM



15:00 21st June Climate: QUITO Lat: -0.21° Long: -78.51° (S.O.)  
0.100 0.50° Apply to Copy Current Zone: Proportional mÓdulo

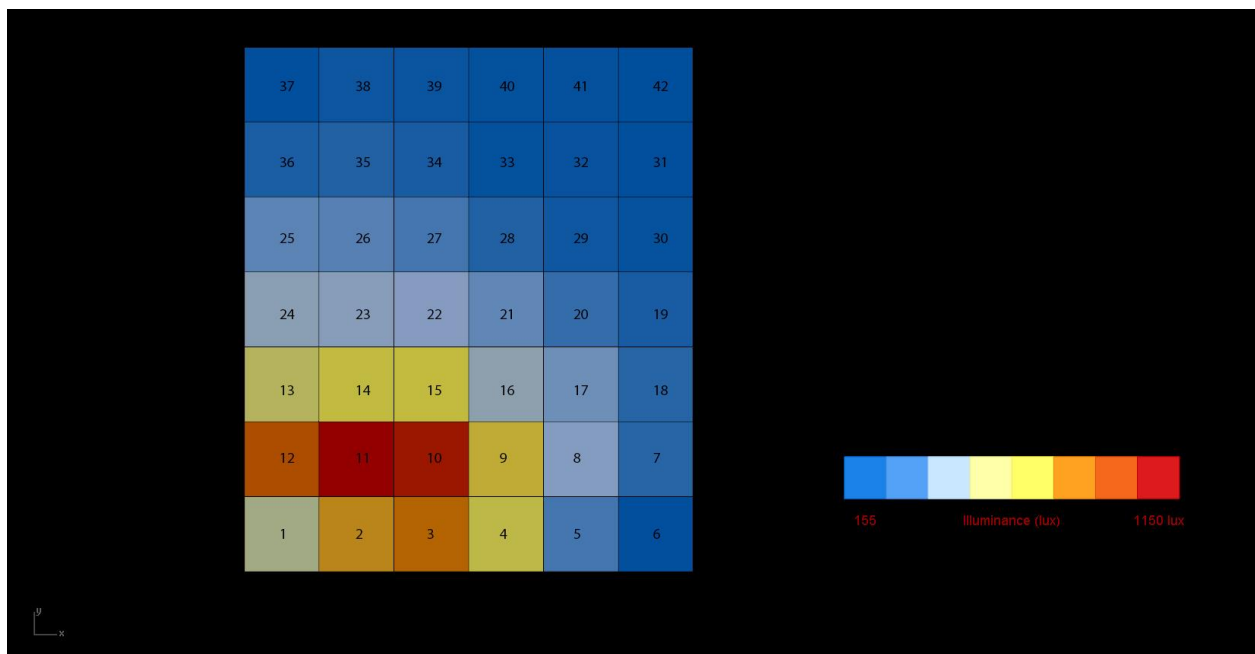
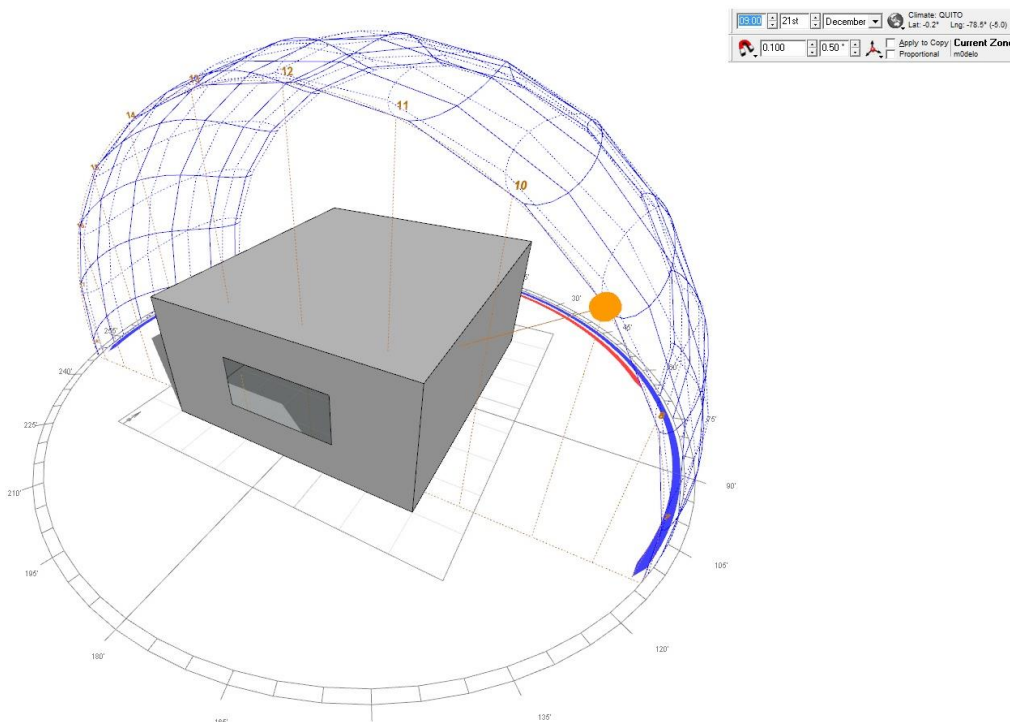






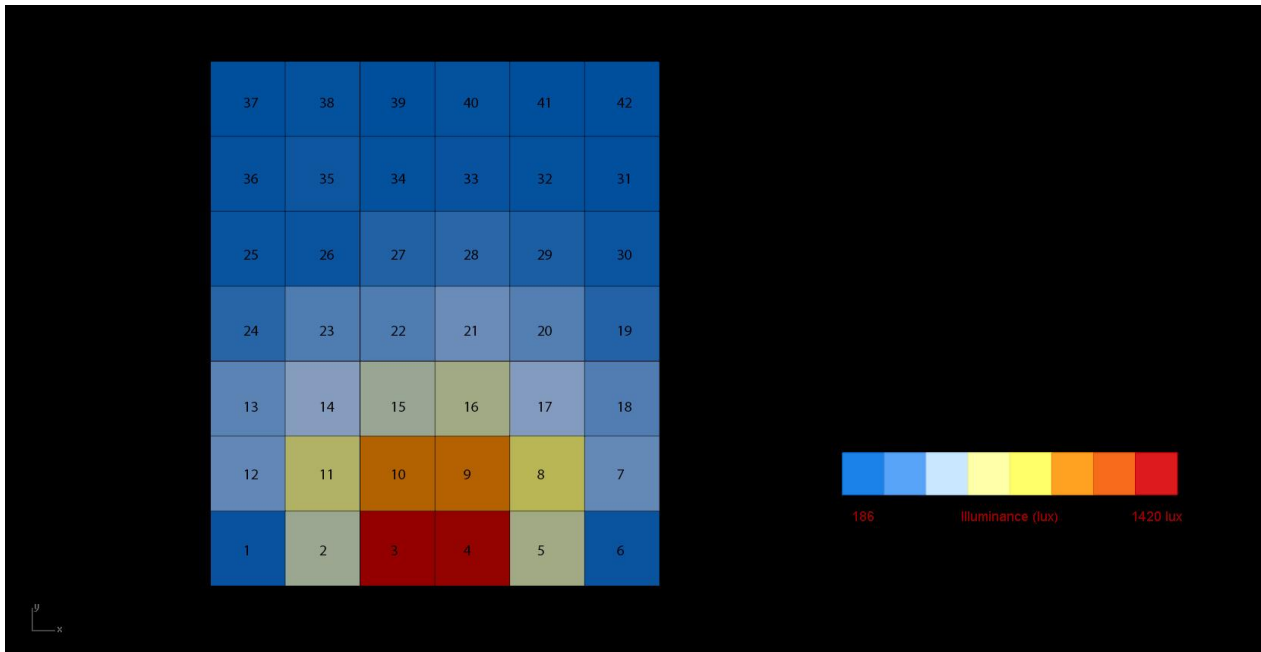
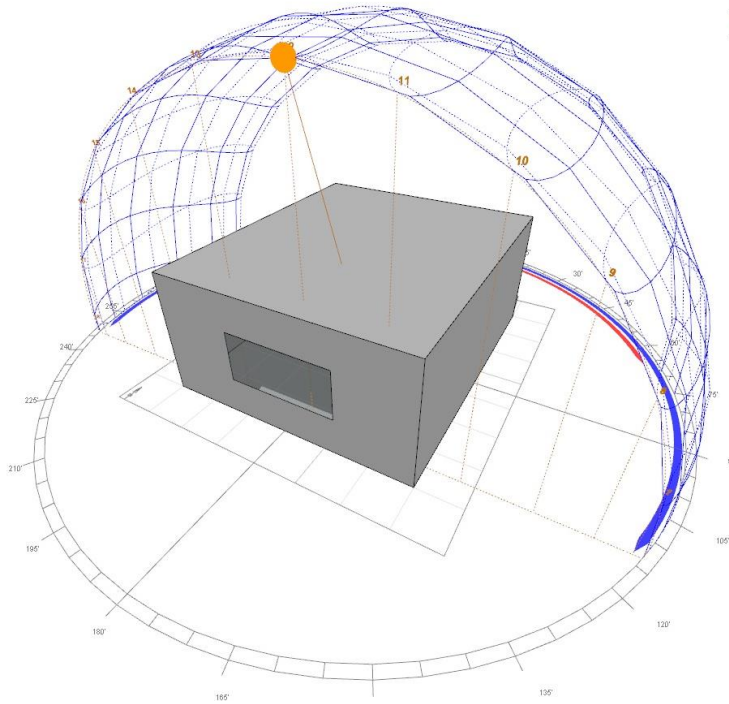
DICIEMBRE 21

9 AM



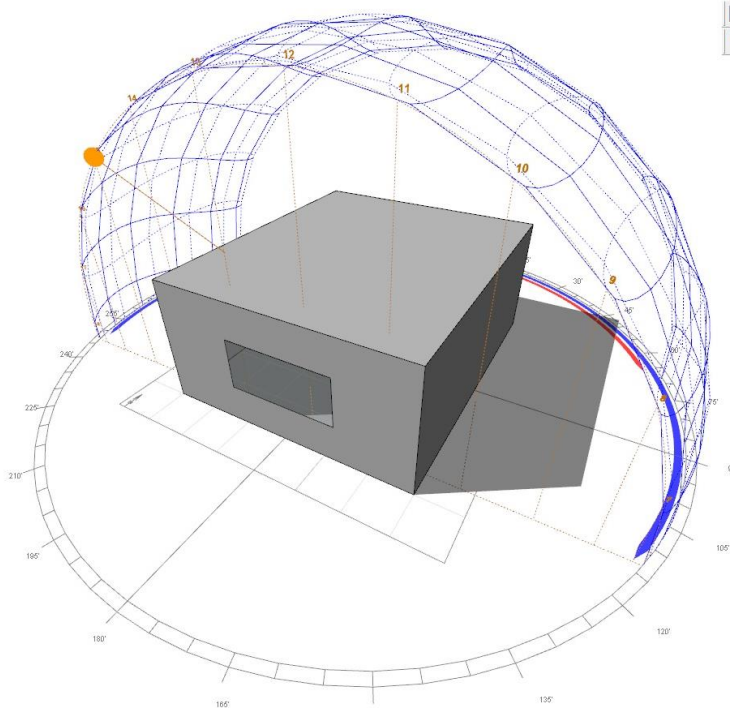


12 PM



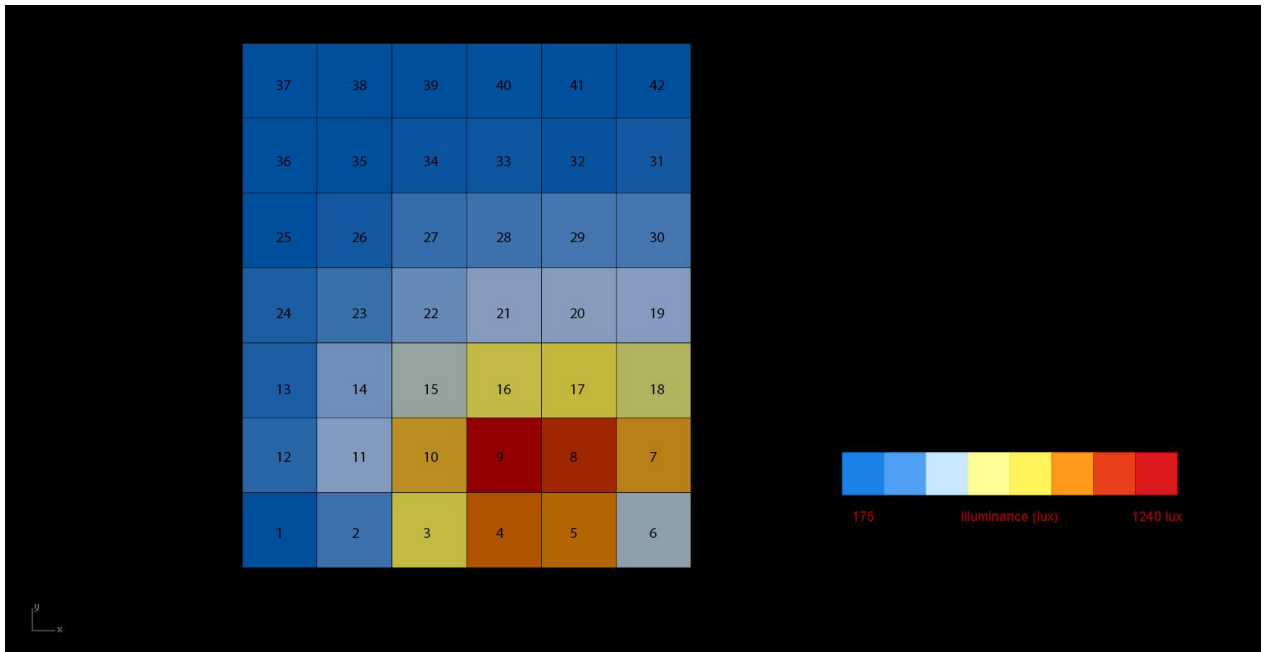


15 PM



16:00 21st December Climate: QUITO Lat: -0.2° Long: -78.5° (-8.0)

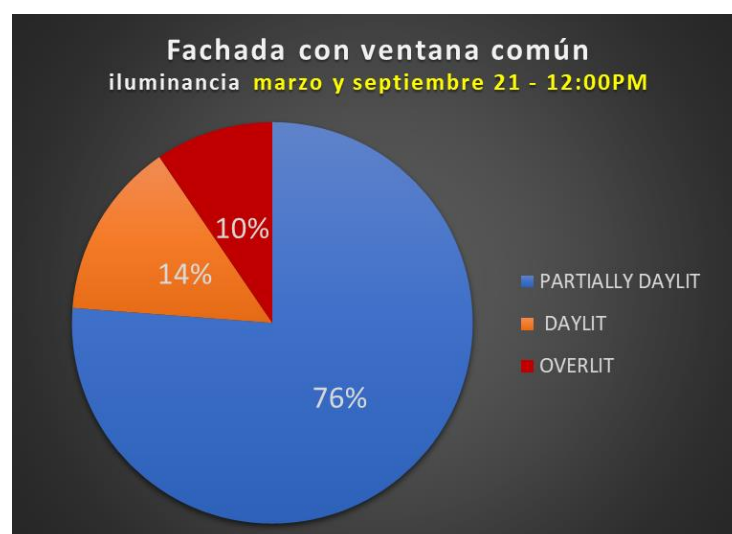
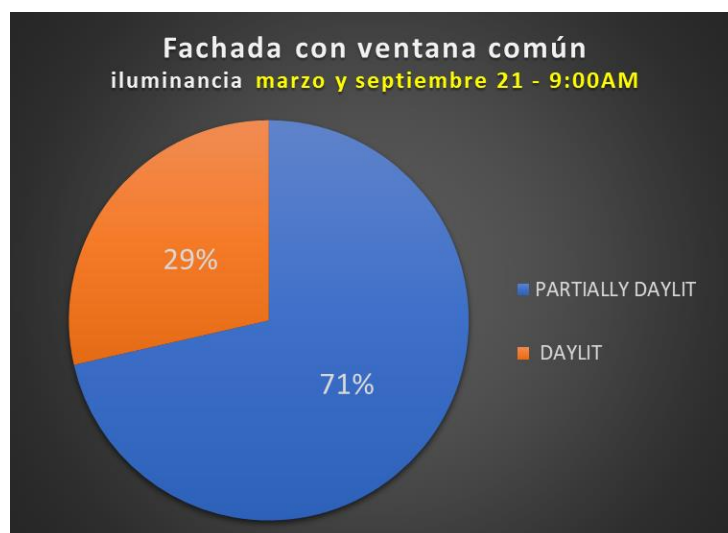
0.100 0.50° Apply to Copy Current Zone: Proportional mÓscalo

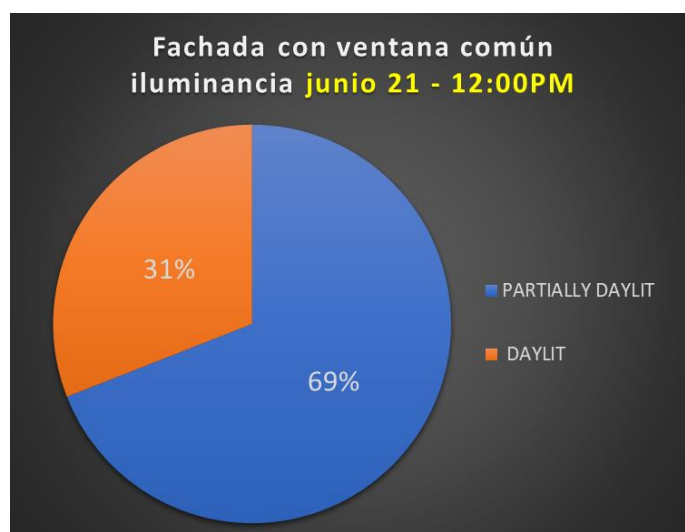
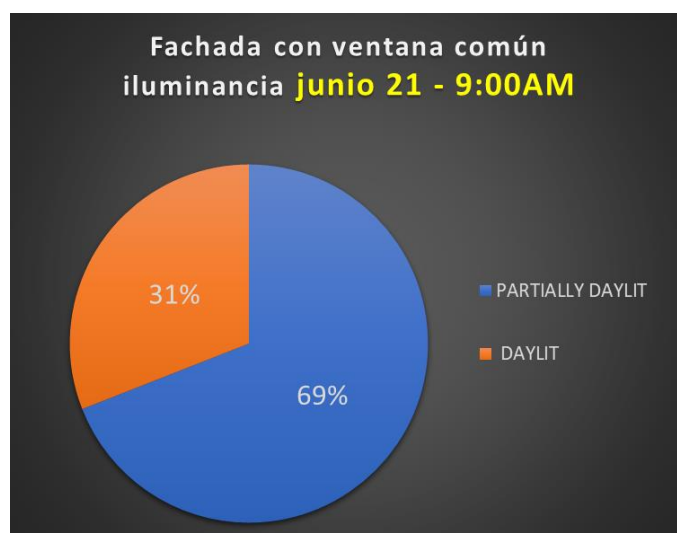
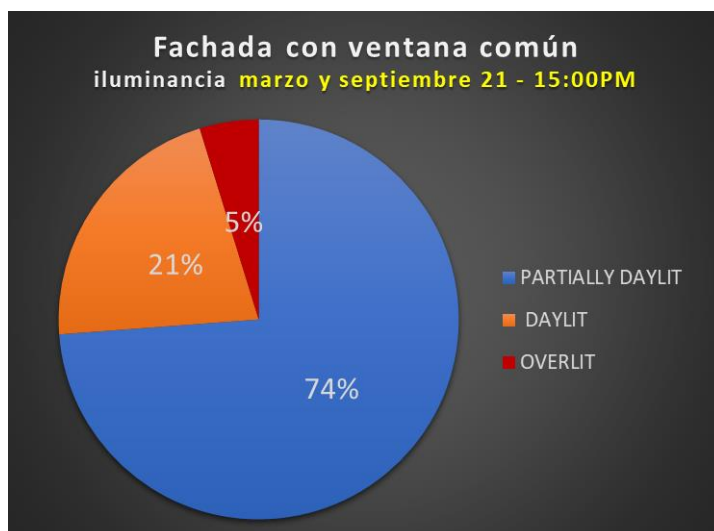


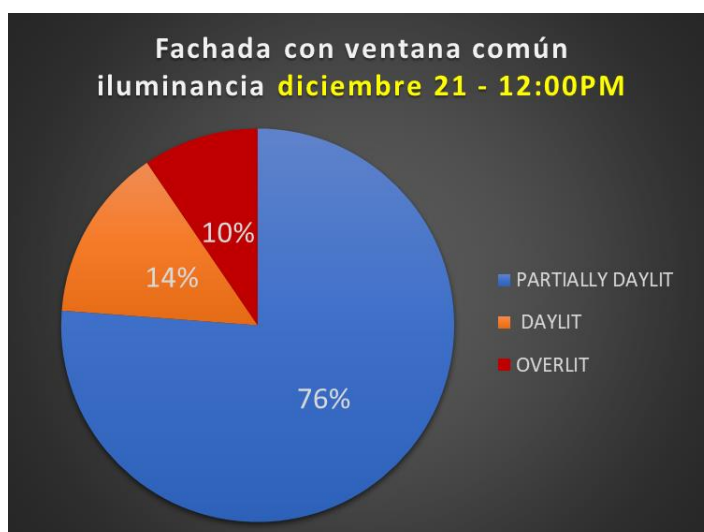
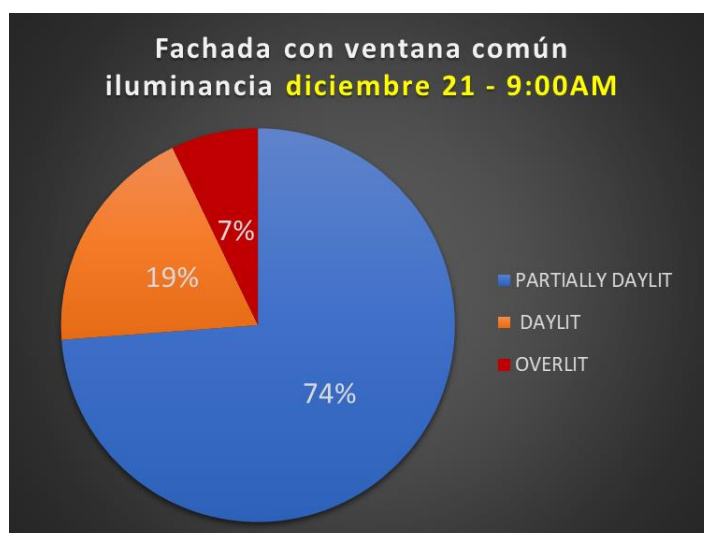
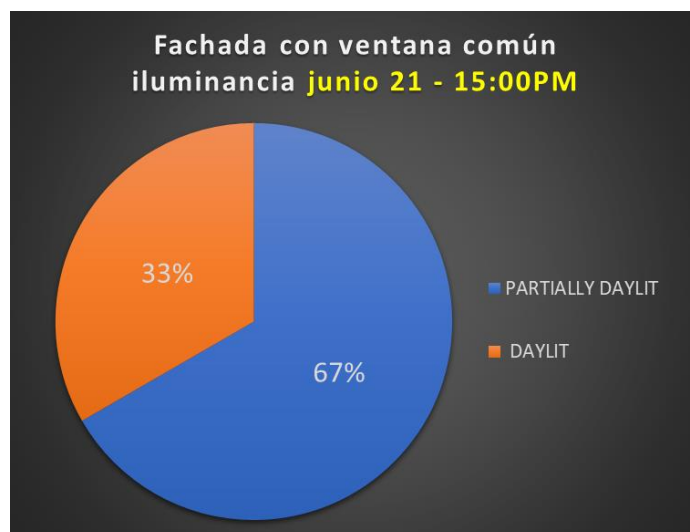


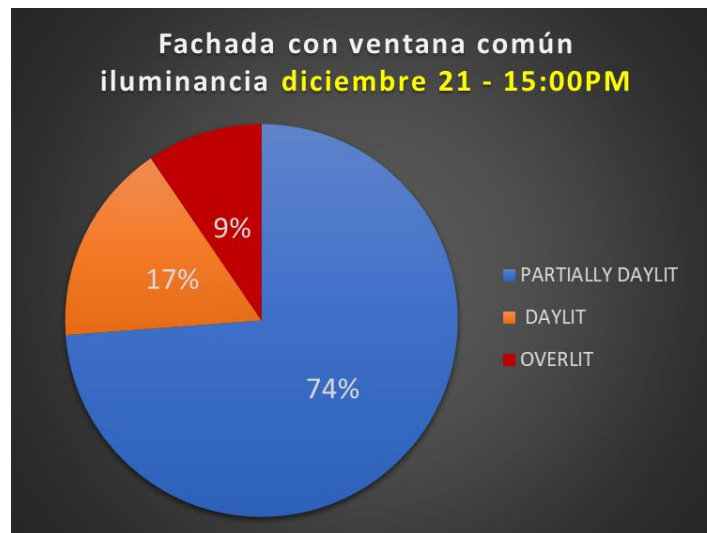
### 3.2.3.3 CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS RESPECTO A LA APLICACIÓN SOBRE LA FACHADA CON VENTANA COMÚN

- Al haber establecido el espacio interior para uso de oficina de trabajo con rangos mínimos de iluminancia 300 lux y máximos de 700 lux; se determina según el análisis en esta fachada, que con la ventana común no se logra una adecuada distribución de iluminación hacia el interior de dicha oficina.
- A continuación, se ilustran mediante diagramas tabulados de categoría de frecuencia, el porcentaje correspondiente a los resultados de iluminancia en lux en esta fachada con ventana común, según las tres categorías: “Overlit” más de 1000 lux (deslumbramiento dentro de la oficina de trabajo); “Partially daylit” inferior a 300 lux (iluminación no suficiente para la oficina de trabajo); y, “Daylit” entre 300 lux y 700 lux (iluminación idónea para la oficina de trabajo).









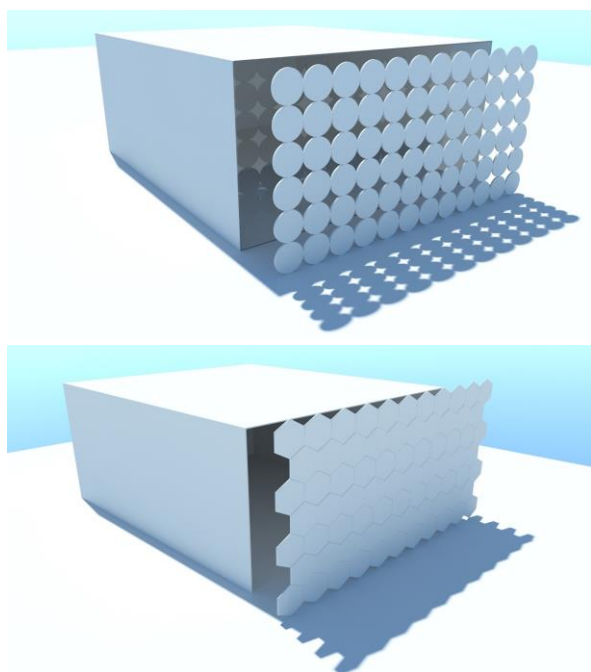
- Se identifica entonces según el análisis, que para equinoccios y solsticios en un alto porcentaje que fluctúa entre el 67% al 76% (dependiendo de la hora y la época del año) en el área interior de la oficina de trabajo predominan las zonas denominadas “Partially daylit”, las cuales corresponden a una iluminación que es inferior a los 300 lux, no siendo adecuada o suficiente para generar confort lumínico hacia interior de la oficina de trabajo.
- Se determina que, para equinoccios y solsticios el porcentaje de correcta iluminación denominado como “Daylit” dentro del espacio interior de la oficina de trabajo, en ninguno de los casos supera en 33% del total del área, siendo en otros casos extremadamente bajo con porcentajes de hasta el 14%.
- Por lo antes determinado según los análisis de iluminancia para la fachada con ventana tradicional, se buscará mediante la fachada cinética optimizar y aumentar el porcentaje dentro del área de trabajo de la oficina con valores correspondientes a “Daylit”, estos serán los correctos y necesarios para mejorar el confort lumínico con valores entre 300 lux y 700 lux, según la necesidad establecida para el uso del espacio interior.

### 3.2.4 ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA FACHADA CINÉTICA

Esta etapa está enfocada en desarrollar la construcción paramétrica de la fachada cinética, para aplicarla en lugar de la fachada con ventana común, y así entonces realizar los estudios de aplicación de luz diurna en búsqueda de optimizar el confort lumínico hacia el interior del espacio interior determinado con uso para oficina de trabajo, espacio base que se planteó para los dos casos de estudio; para esto, se definen los siguientes procedimientos:

#### 3.2.4.1 PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA FACHADA

La determinación de parámetros y límites para el análisis con la fachada cinética se hace indispensable; ya que, de no ser así, se contarían con infinito número de variables para analizar. Por ejemplo, para el caso de rotación de los paneles, estos podrían girar individualmente de cualquier forma, en cualquiera de sus ejes (lo que sí es posible analizar mediante el sistema paramétrico), pero para este ejercicio definimos rangos y reglas propias a fin de ensayar y buscar obtener los resultados que mejoren el confort lumínico interior de la oficina de trabajo. Es por esto, que se determina una forma de panel, un tipo de sistema de rotación, y una materialidad para la fachada. Otro ejemplo de las infinitas posibilidades que podríamos tener (si no establecemos parámetros y límites para este estudio) sería, que los paneles podrían estar sujetos a movimientos de traslación; o estar asimismo sujetos a estudio mediante movimientos combinados como rotación, traslación y escala, lo cual daría como resultados (como se menciona antes) un infinito número de posibilidades resultantes para cada panel y para la totalidad de la fachada.



(IMAGEN 99)

La fachada cinética para esta investigación será estudiada desde su punto de vista morfológico; está concebida y desarrollada para estudiar su composición celular (de las partes y piezas generales que conformarán la piel cinética); siendo esta investigación punto de partida para continuar nuevas investigaciones, ampliando luego los conceptos en cuanto a su composición material y detalle de tipo constructivo (de la fachada cinética).

Para la definición de las partes compositivas de la fachada se plantea el uso de paneles de forma hexagonal, ya que se analizó otros tipos de paneles (circulares, triangulares, etc.) pero al buscar captar y emitir la mayor cantidad de luz hacia el interior del espacio arquitectónico, se concluye que la forma hexagonal permitirá abarcar la mayor cantidad de luz y reflectancia sin tener pérdidas de luz que se generan en los

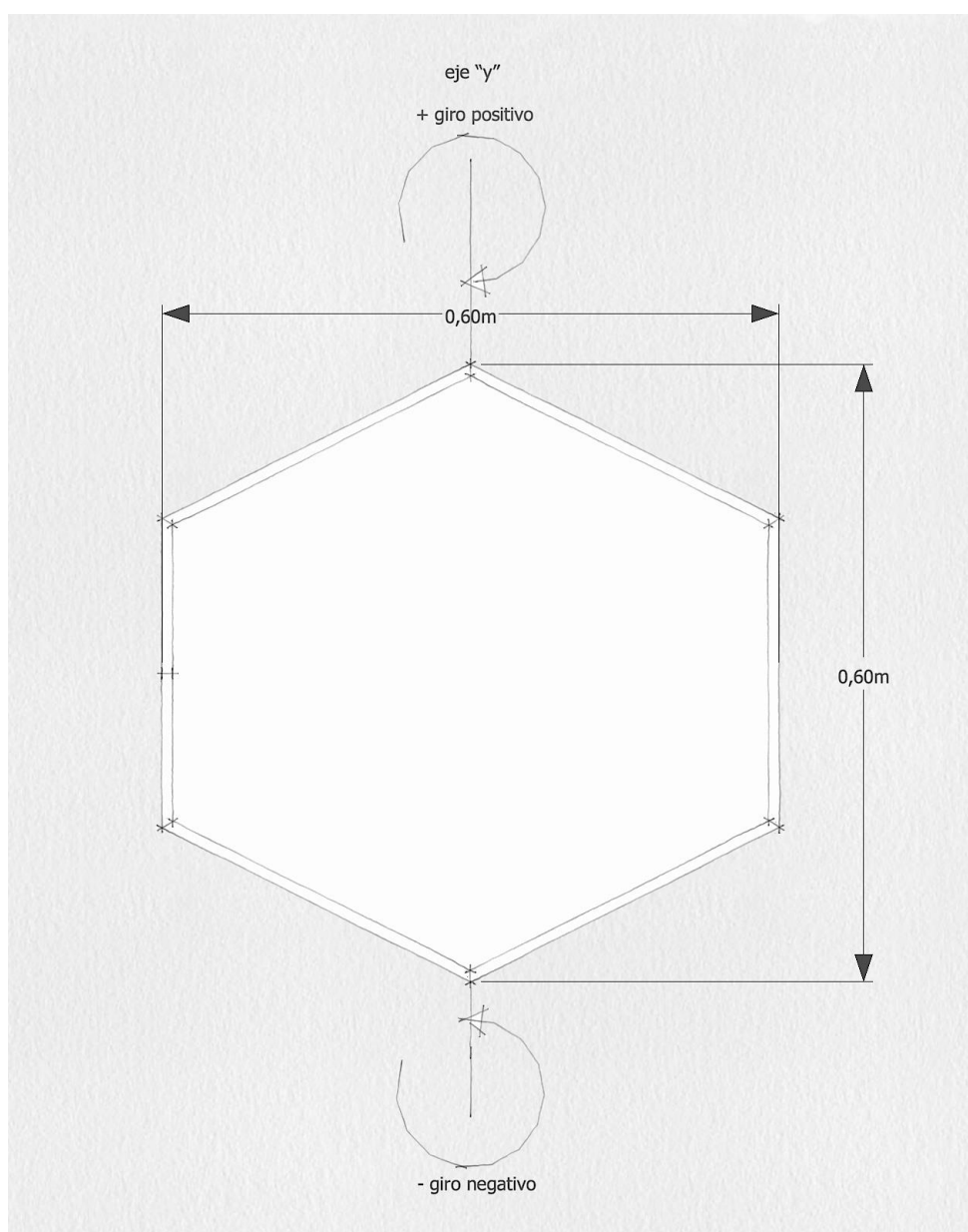
espacios dejados en entre panel y panel. La imagen #99 ilustra que los paneles redondos permiten pasar luz a través de ellos, generando pérdida de captación de luz diurna para reflejarla hacia el



interior; mientras que los paneles hexagonales forman un paño continuo para captación de luz diurna.

Los paneles hexagonales se los genera en base a un diámetro de 0.60m, para así lograr una fachada conformada por 74 piezas o paneles que son células compositivas de la totalidad en alto de 3 metros y ancho de 6 metros para la fachada cinética.

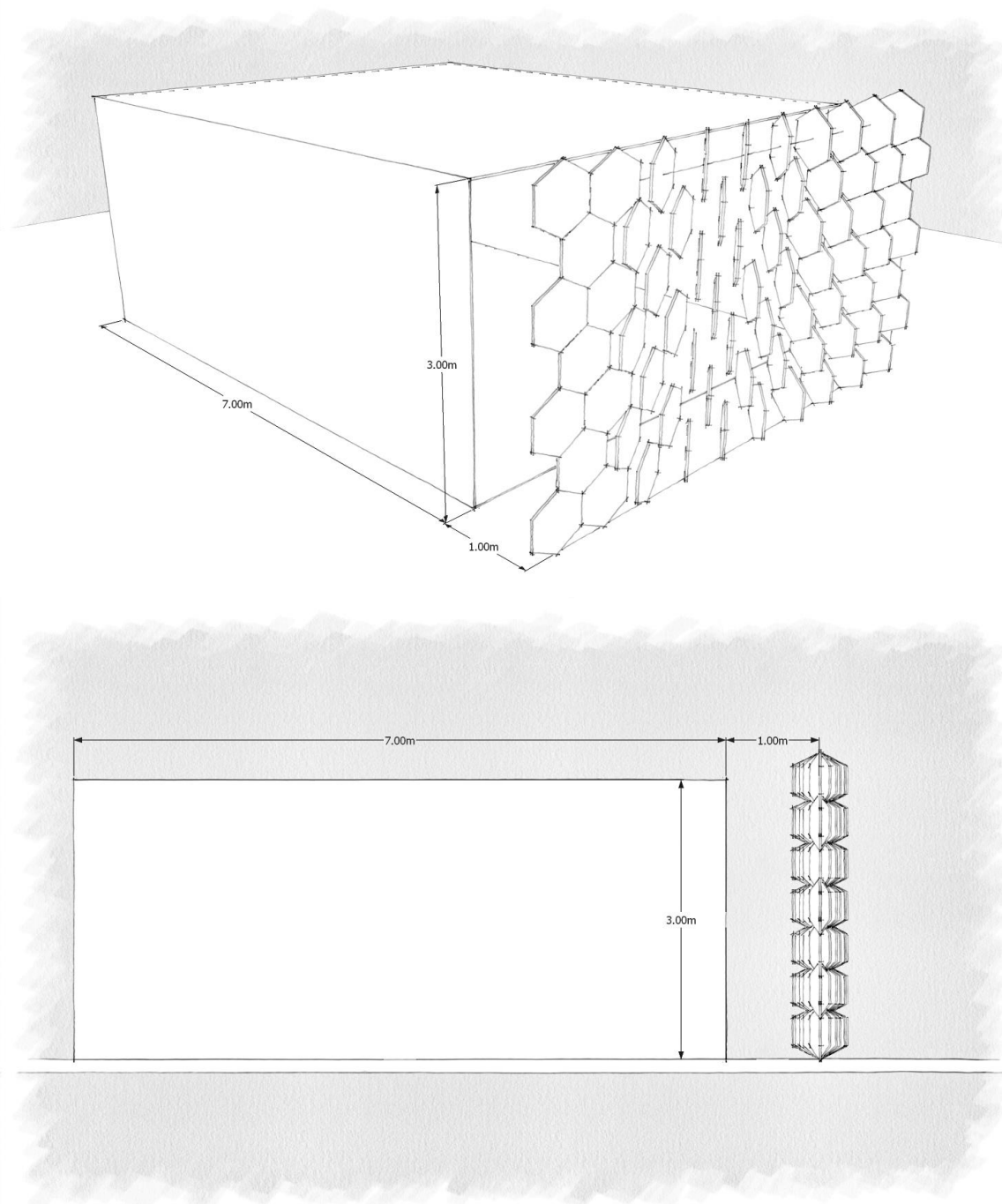
Una vez que se están definidos los patrones y medidas generales de la fachada, mediante la construcción paramétrica, estos serán desarrollados a mayor detalle, mediante trabajos algorítmicos en grasshopper para generar los movimientos de rotación en cada una de las piezas que componen fachada. Para el caso de esta investigación, los movimientos de rotación para cada panel, se los delimita según un movimiento de rotación B2, generado en el eje "y" explicado antes por (Adler, 2013), y descrito en la imagen #95, pg. #66 de esta investigación.



(IMAGEN 100)

Los movimientos de rotación que se darán en cada uno de los 74 paneles de la fachada se identifican como rotaciones en el eje "y" positivas y rotaciones en el eje "y" negativas; según su giro hacia la derecha o hacia la izquierda respectivamente, tomados en cuenta al observar la fachada desde la parte exterior en elevación frontal (imagen 100).

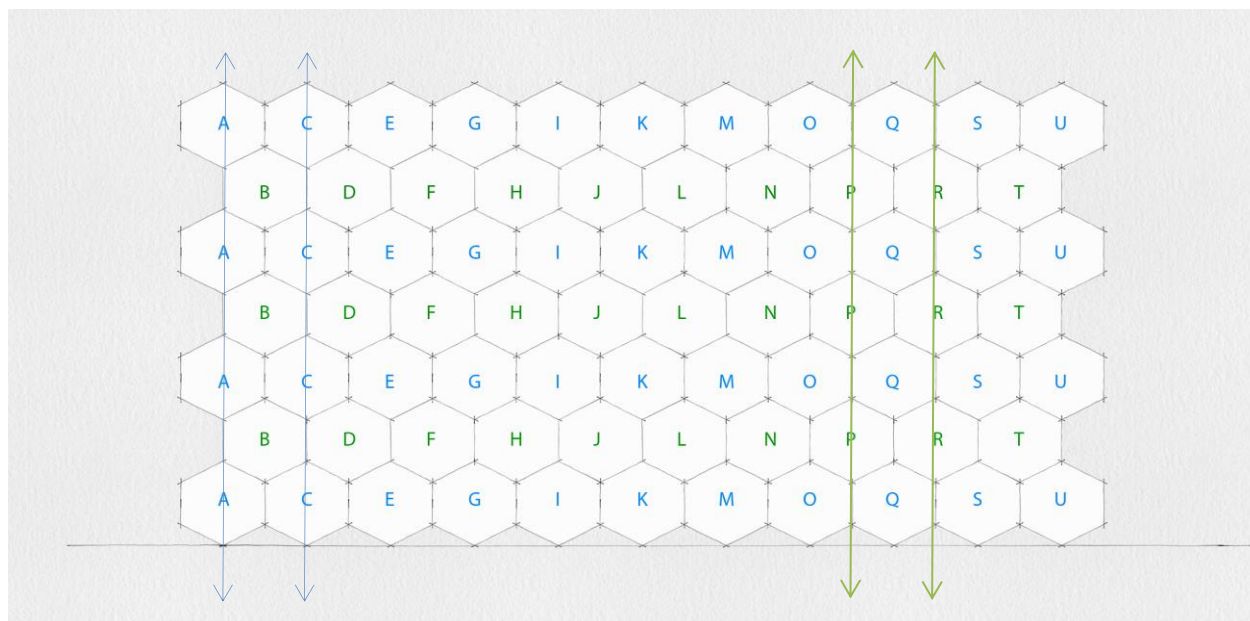
La fachada se separa 1m de la estructura de la edificación, para permitir el giro en rotación de cada célula compositiva, permitiendo de requerir el caso una rotación de 90 grados para dejar ventilación y visibilidad en conexión con el entorno exterior (imagen 100a).



(IMAGEN 100a)

La construcción de este sistema mediante parametría, facilita la representación de animaciones en tiempo real para visualizar los patrones resultantes y derivados de los diferentes ángulos de rotación de las partes y de la totalidad de la fachada; entonces, se trabaja paramétricamente a escala de una sola parte o célula compositiva de la fachada, y a escala de la totalidad de la fachada mediante las variables y herramientas de simulación.

Por lo antes mencionado, se establecen y determinan grupos de paneles para las rotaciones positivas y negativas, según el eje de rotación “y” en el alto total de la fachada, como se describe en la imagen #101. A cada panel se lo determina dentro de un grupo de rotación según su eje “y”; es decir, según se ilustra en la imagen #101 (mediante las flechas verticales) todos los paneles denominados con nomenclatura “A” rotarán en forma positiva o negativa según sea la necesidad de captación de luz del sol; lo mismo para todos los otros grupos de paneles “B”, “C”, “D”, etc., sucesivamente.



(IMAGEN 101)

Para la composición material de la fachada (al igual que con el tipo de movimiento) se establecen parámetros y límites para este análisis. A cada una de las piezas compositivas de la fachada se establece la aplicación y el uso (en diva para grasshopper) de un material estándar blanco, con rango de reflectancia entre el 15%, 30%, 45%, 60% y 75%, a fin de probar con estos rangos y evitar que el espacio interior de la oficina de trabajo esté sometido a deslumbramiento.

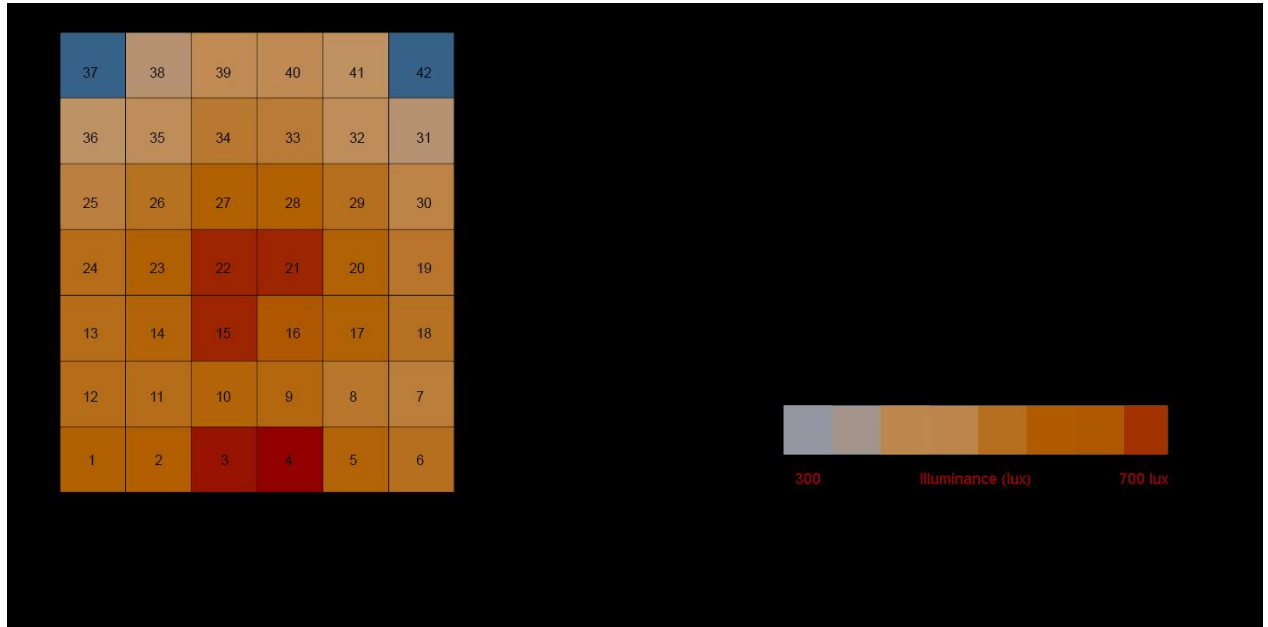
### 3.2.4.2 ANÁLISIS DE DISTRIBUCION DE LUZ DIURNA

Este sistema de análisis, esencialmente al ser probado mediante acierto-error (de forma paramétrica), permite la posibilidad de visualizar los mejores resultados al girar los paneles paramétricamente y con la reflectancia aplicada los paneles de la fachada. De los ensayos realizados mediante la construcción paramétrica de la fachada, se detallan a continuación, los cuadros lumínicos obtenidos según los mejores casos encontrados (determinados por los ensayos paramétricos en los software) en cuanto a rotación de los paneles para los grupos antes descritos en el eje “y”, para cada uno de los días y en cada una de las horas propuestas para solsticios y equinoccios. Referente a la materialidad de la fachada, se ha determinado en tiempo real mediante Rhino, Grasshopper y Diva, que las mejores proyecciones para obtener confort lumínico hacia el interior de la oficina de trabajo se dan con la aplicación del material blanco con 45% de reflectancia. Estos resultados de los análisis (al igual que en el caso de la fachada con ventana tradicional), se proyectan en función de la iluminancia con valores de lux máximo y lux mínimo, y con rangos intermedios en gamas de colores sobre la cuadrícula en el espacio interior contenido por fachada cinética, para cada metro cuadrado del total del área.



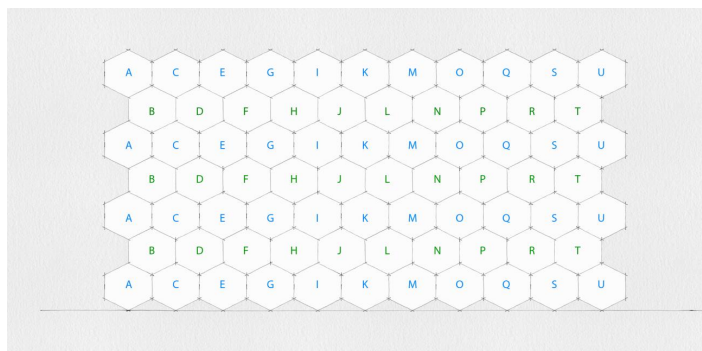
### 3.2.4.3 RESULTADOS PARA EQUINOCCIOS MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21

**9 AM**



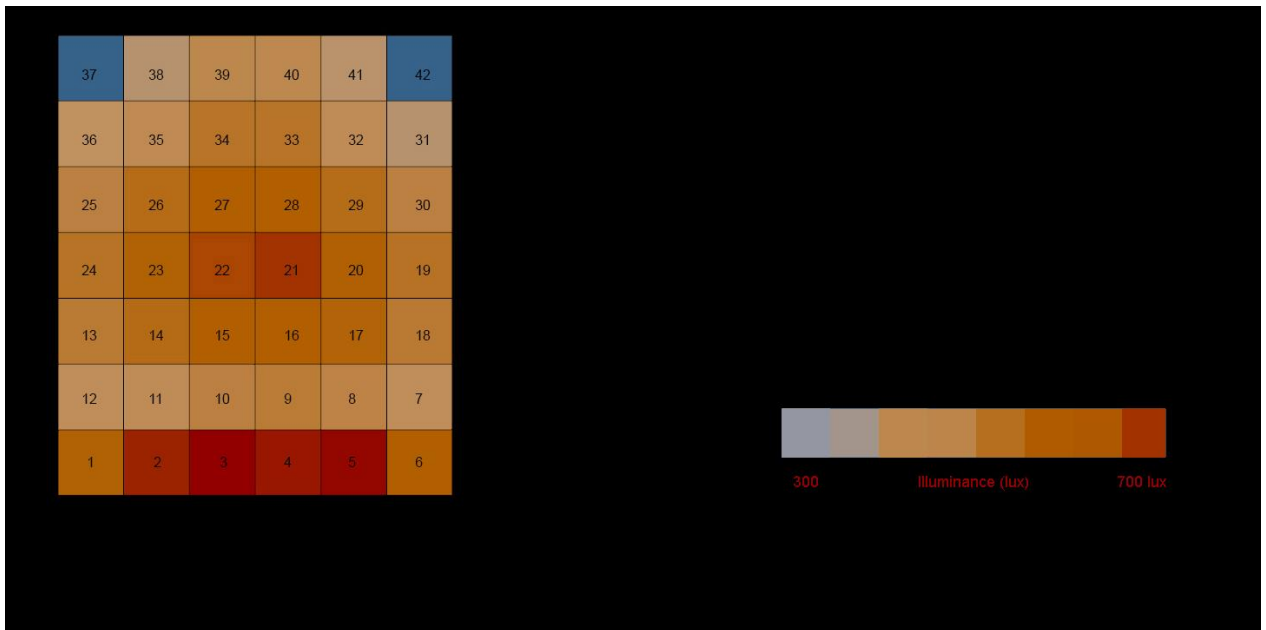
9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10



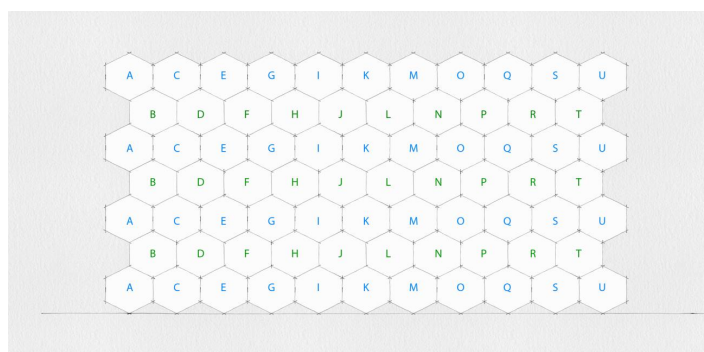
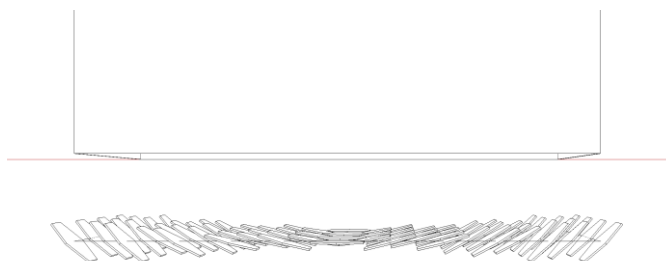


12 PM



12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+45		+45		+30		+30		+15		+15		0		-10		-15		-15		-15
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45



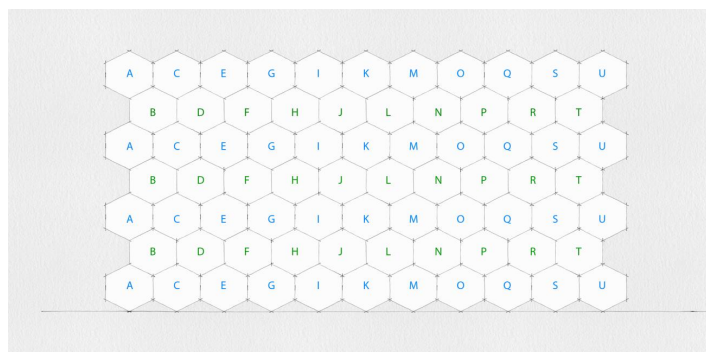
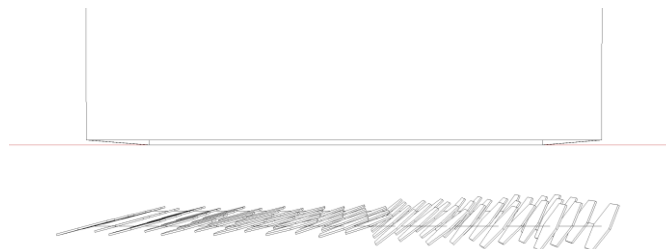


15 PM



15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES KINETICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60

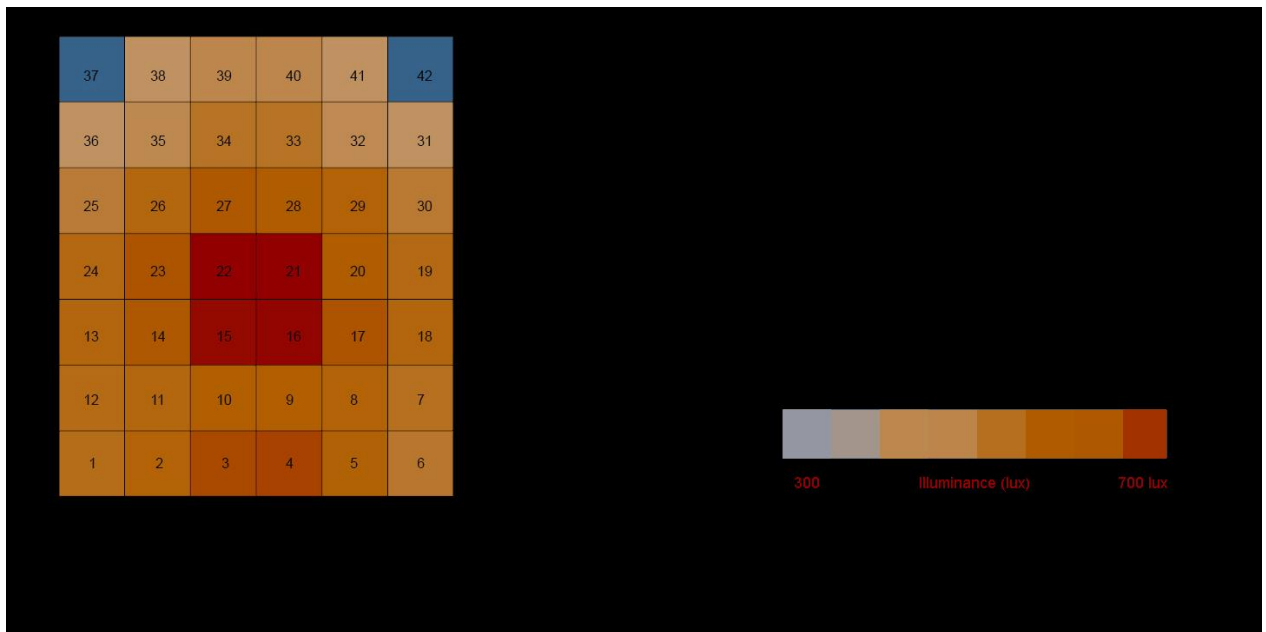




### 3.2.4.4 RESULTADOS PARA SOLSTICIOS

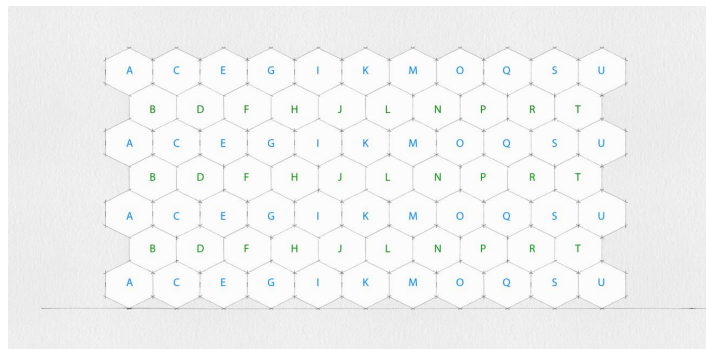
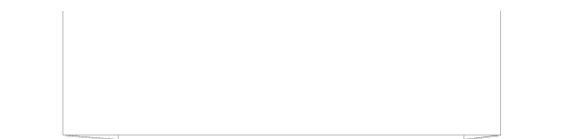
JUNIO 21

9 AM



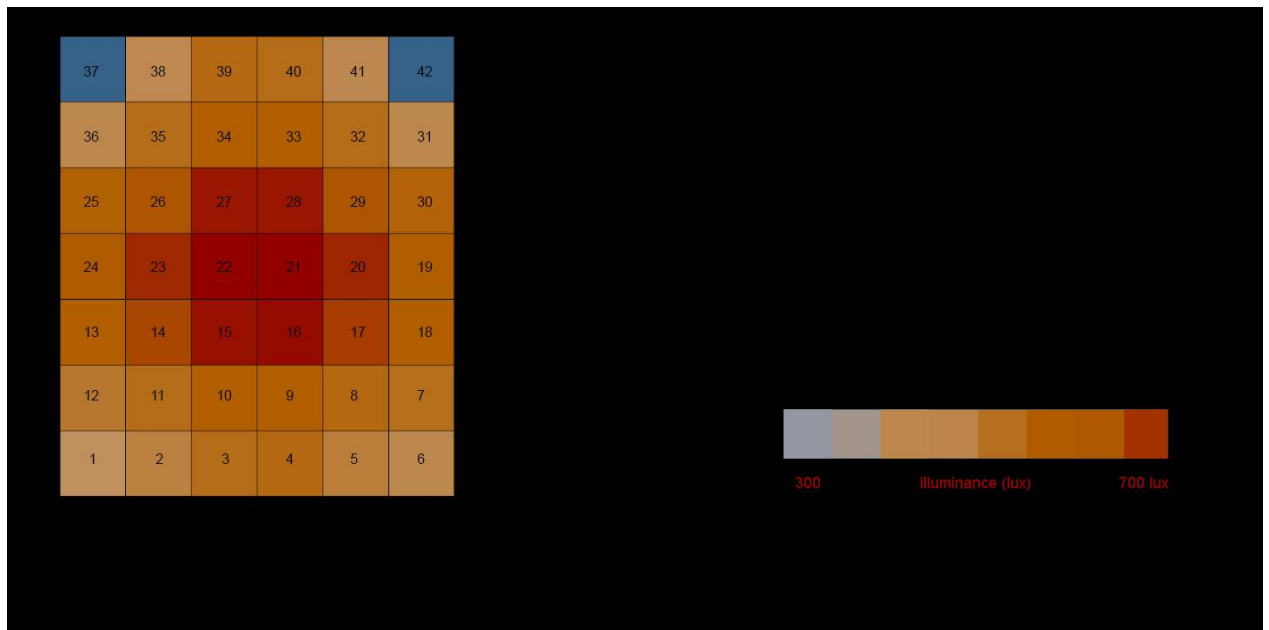
9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10



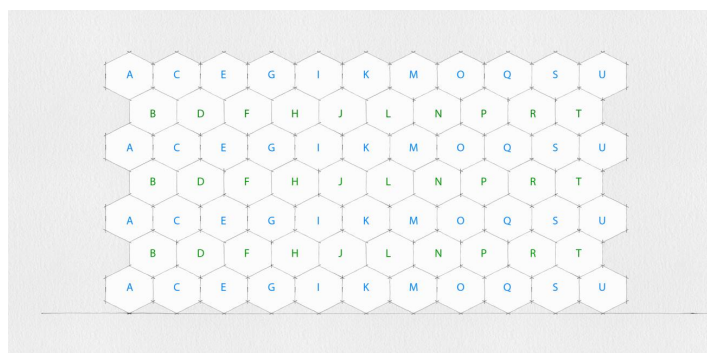
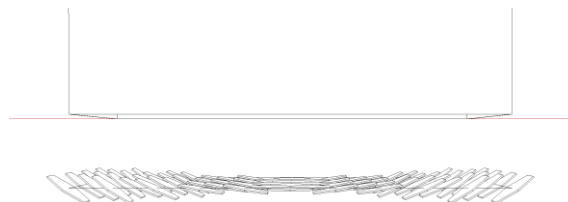


12 PM



12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES KINÉTICOS

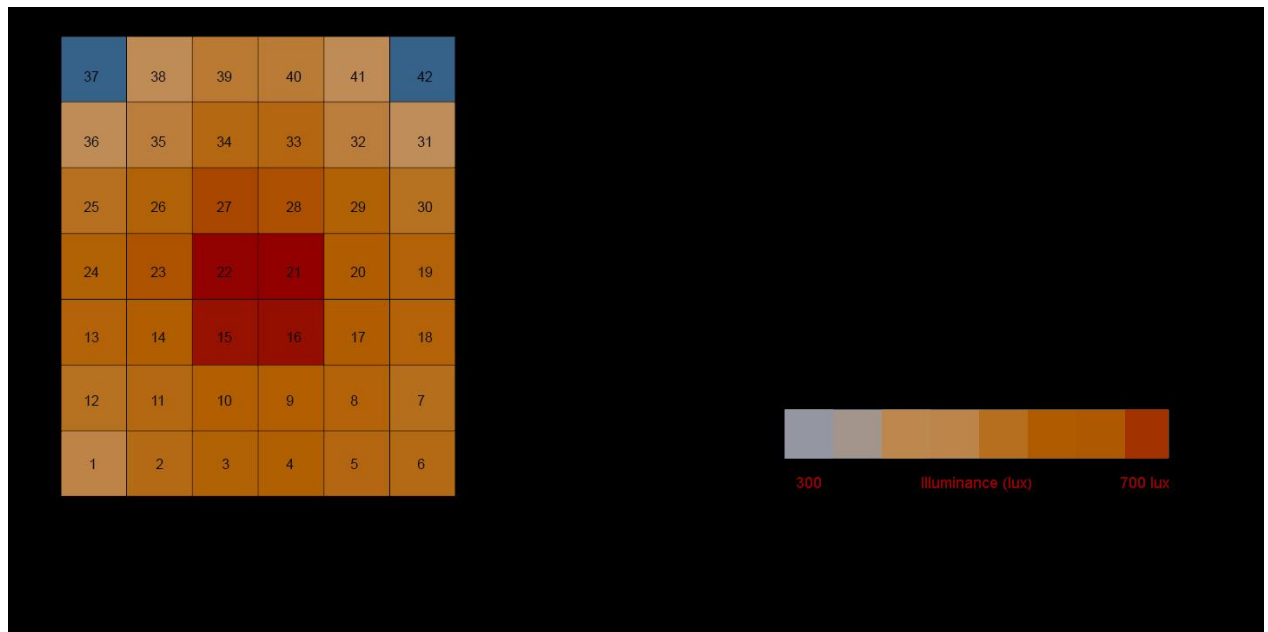
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+35			+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35





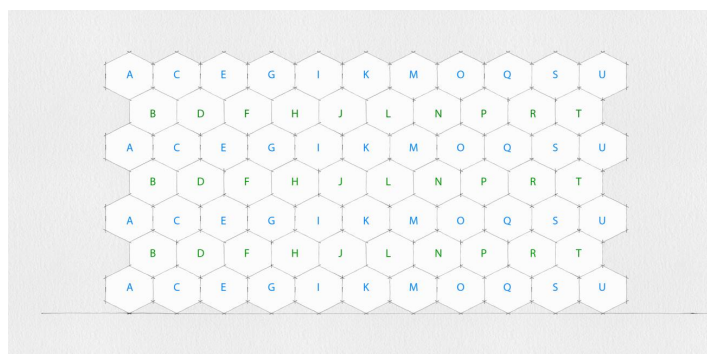
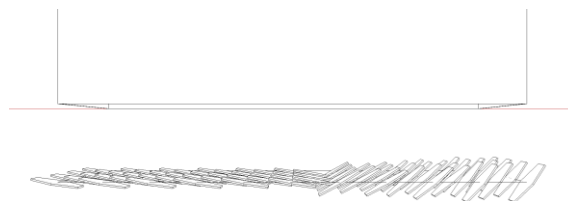


15 PM



15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS

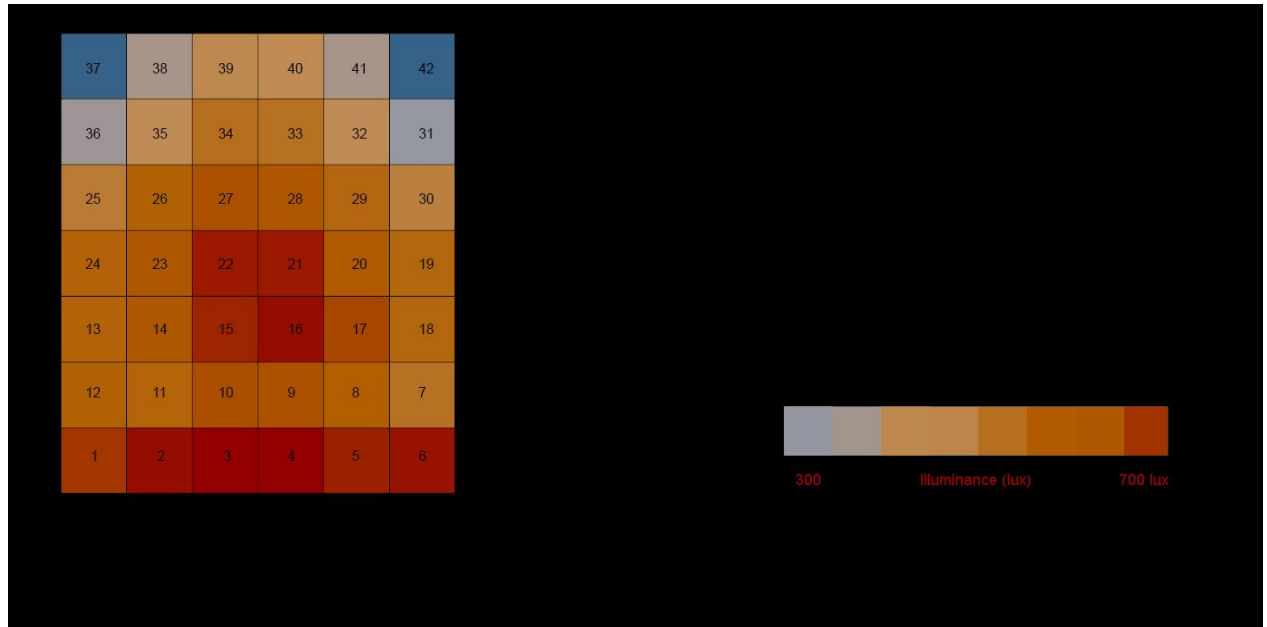
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50





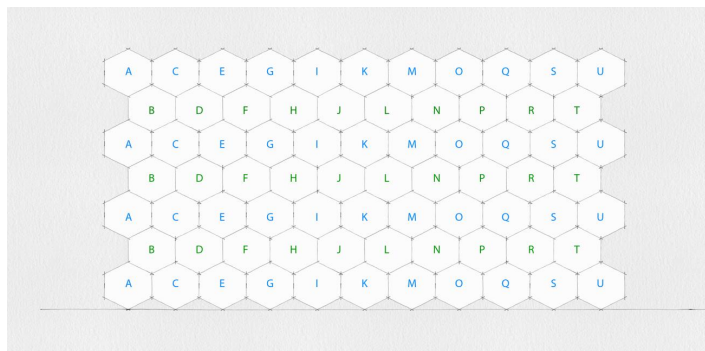
DICIEMBRE 21

9 AM



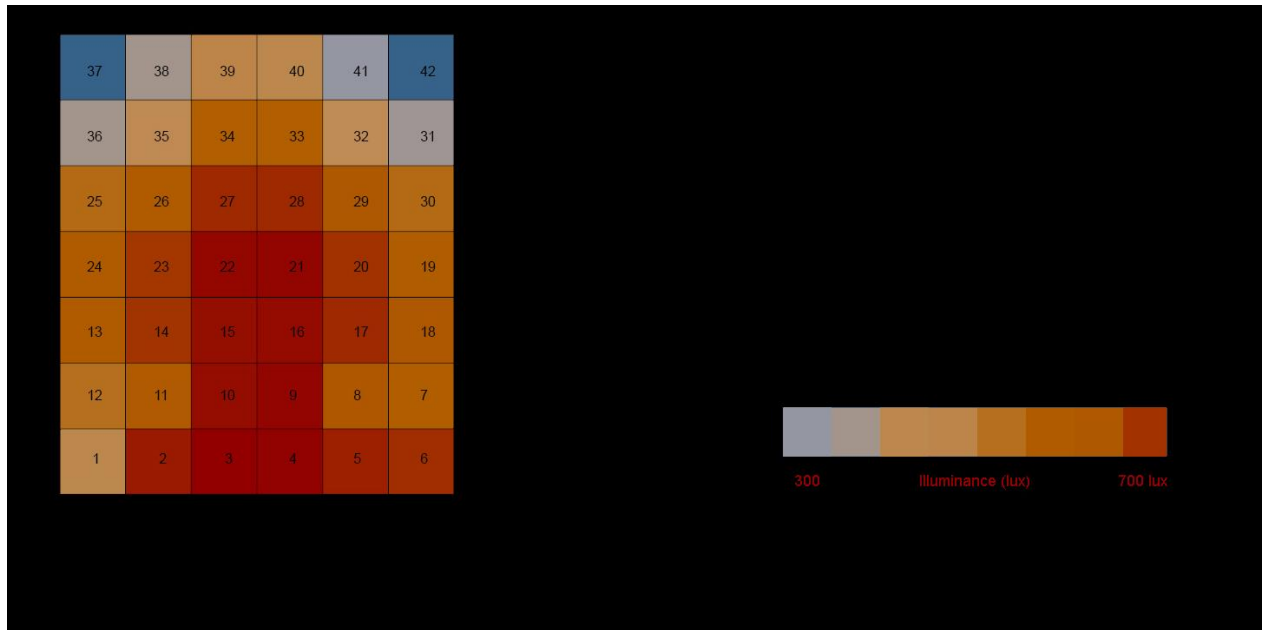
9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES SE INÉTICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10



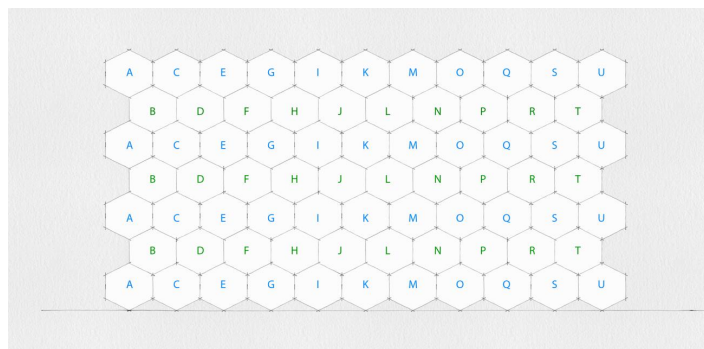
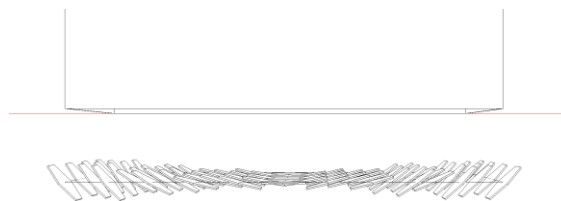


12 PM



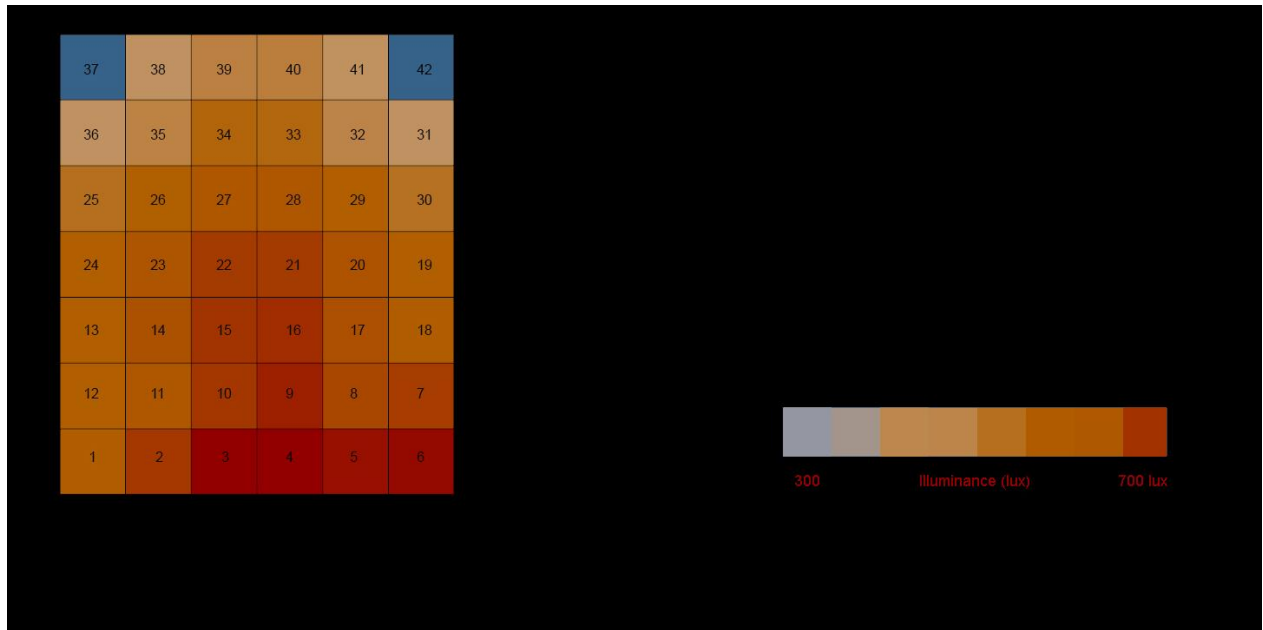
12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES FOTOVOLTAICOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45



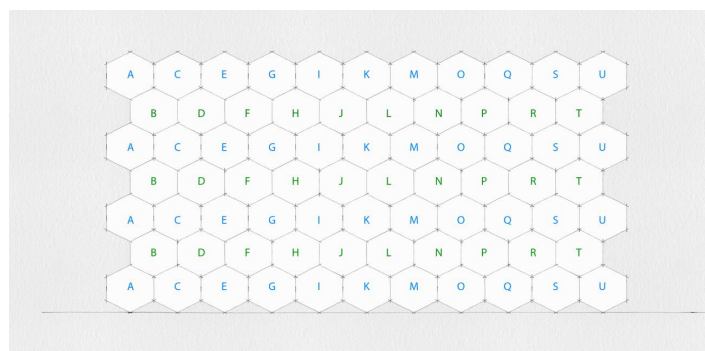
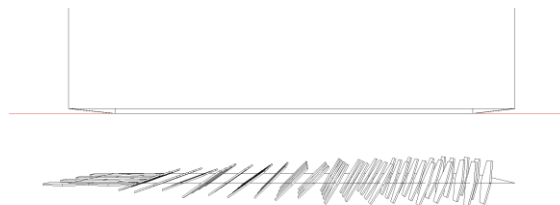


15 PM



15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS

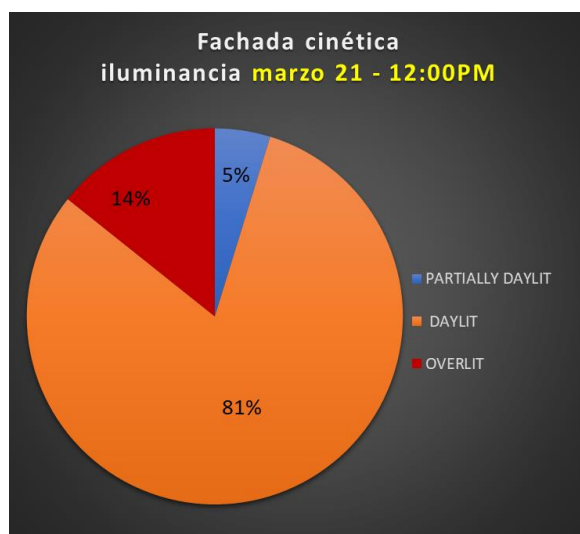
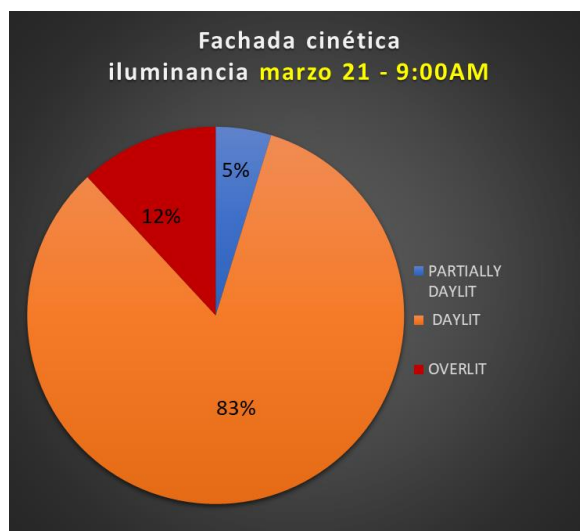
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85

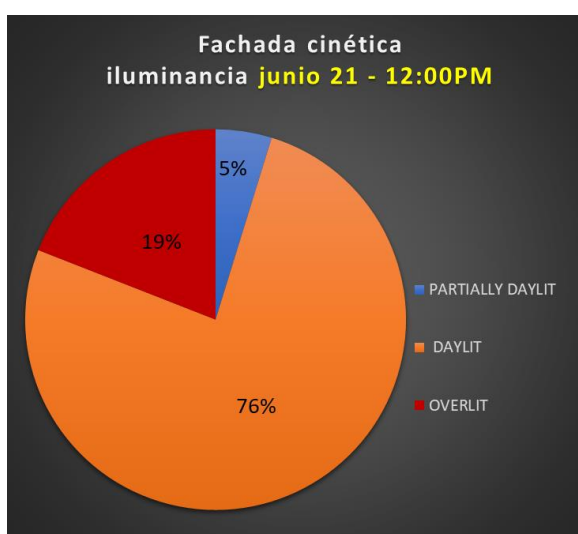
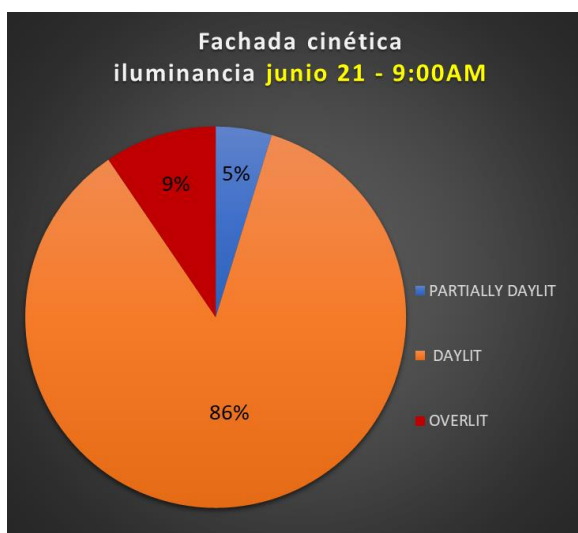
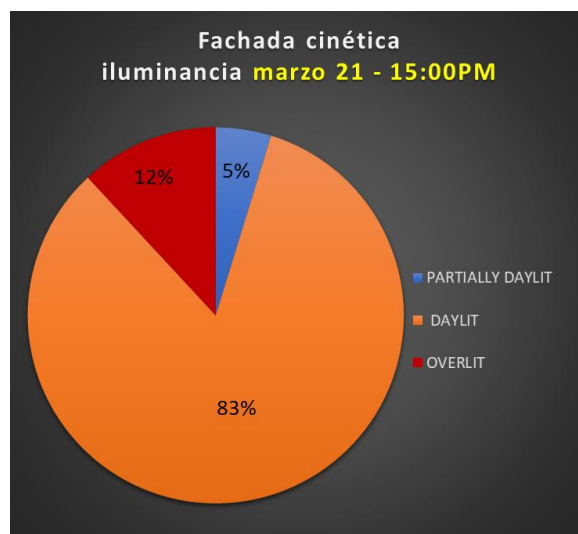


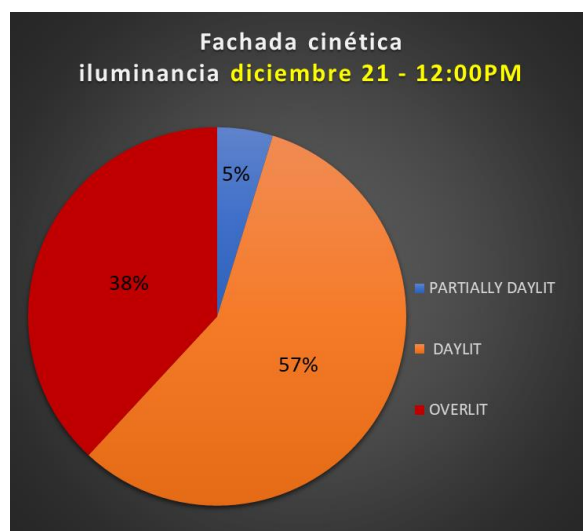
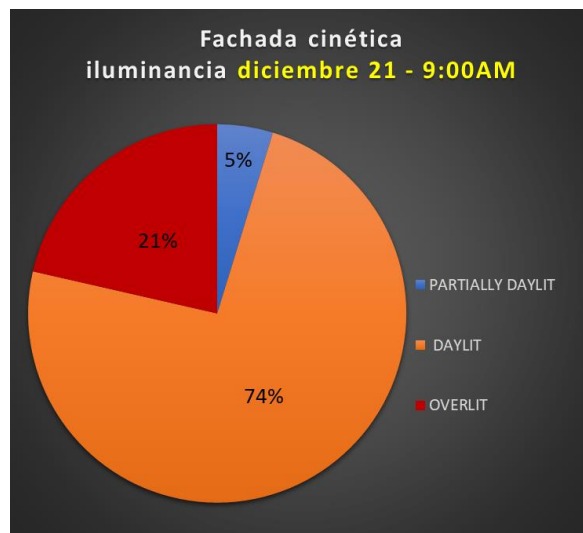
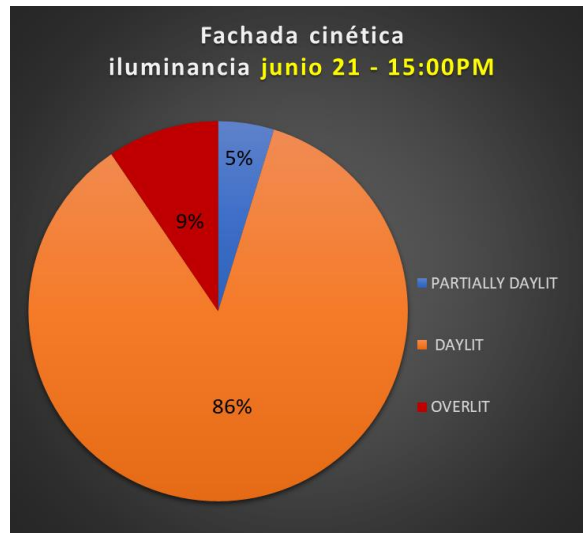


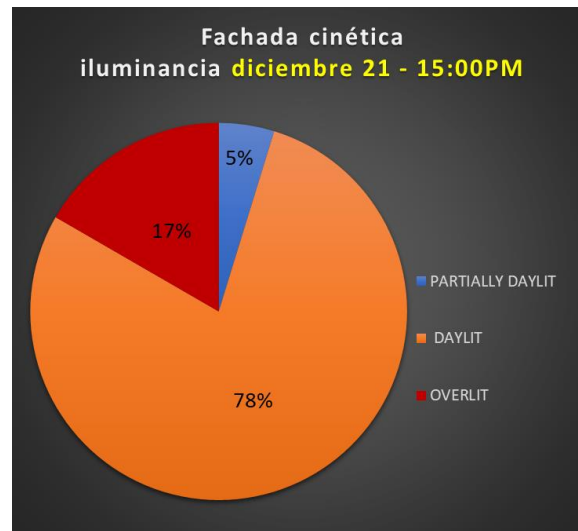
### 3.2.4.5 CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS RESPECTO A LA APLICACIÓN DE LA FACHADA CINÉTICA

- Al haber establecido el espacio interior para uso de oficina de trabajo con rangos mínimos de iluminancia 300 lux y máximos de 700 lux; se determina según el análisis con la aplicación de la fachada cinética, que se ha logrado mejorar la calidad en cuanto a la distribución de la iluminación hacia el interior.
- A continuación, se ilustran mediante diagramas tabulados de categoría de frecuencia, el porcentaje correspondiente a los resultados de iluminancia en lux para la fachada cinética, según las tres categorías: “Overlit” más de 1000 lux (deslumbramiento dentro de la oficina de trabajo); “Partially daylit” inferior a 300 lux (iluminación no suficiente para la oficina de trabajo); y, “Daylit” entre 300 lux y 700 lux (iluminación idónea para la oficina de trabajo).



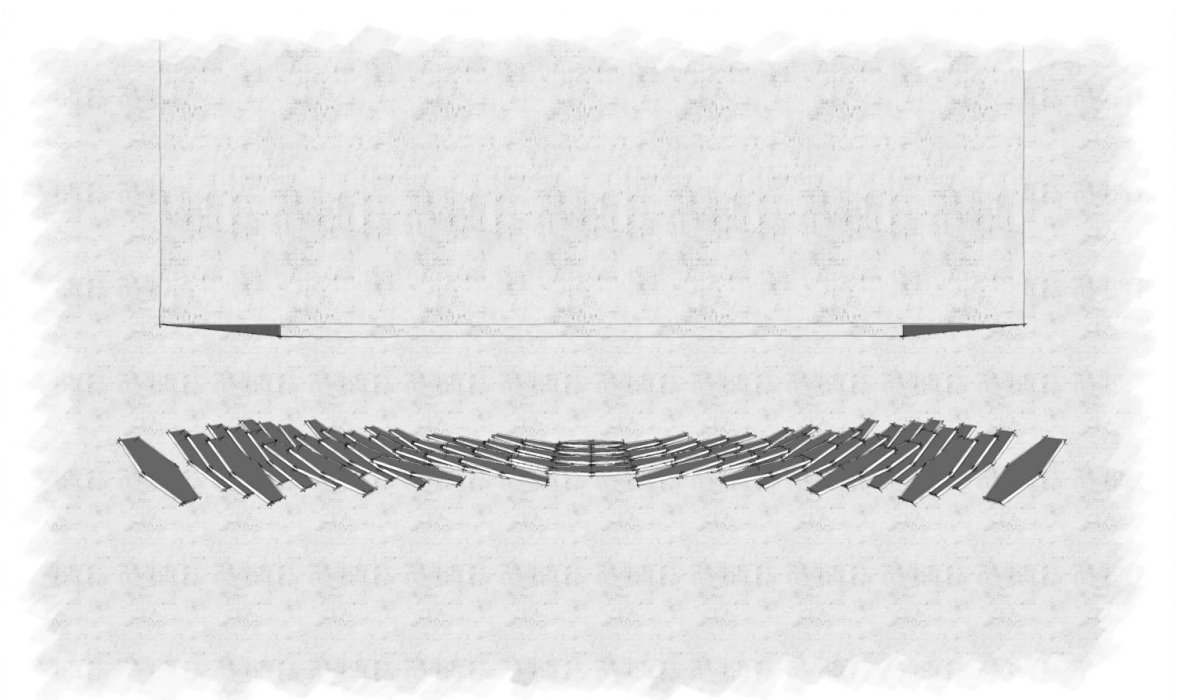
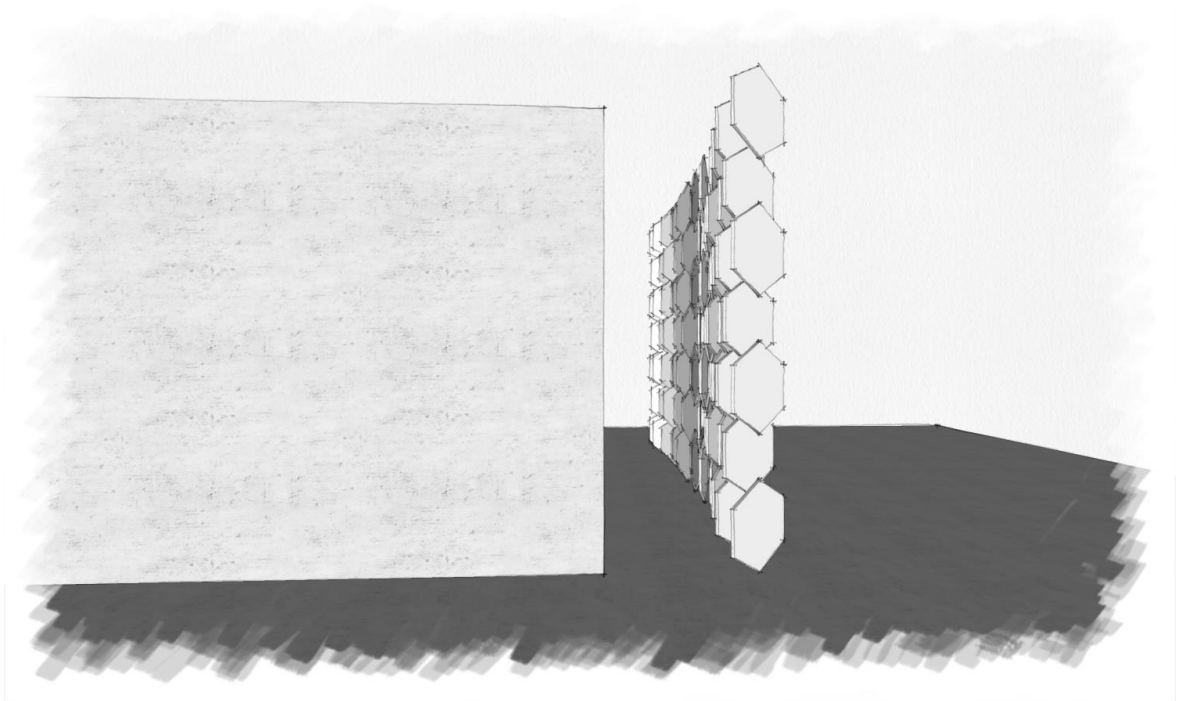




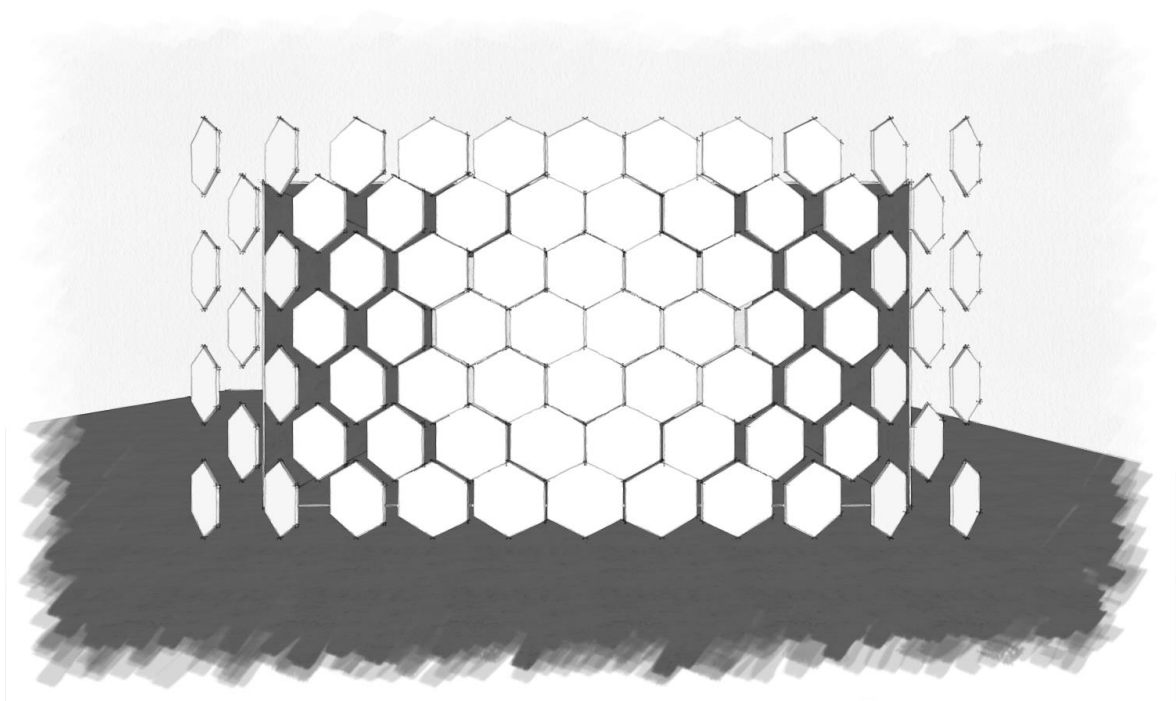
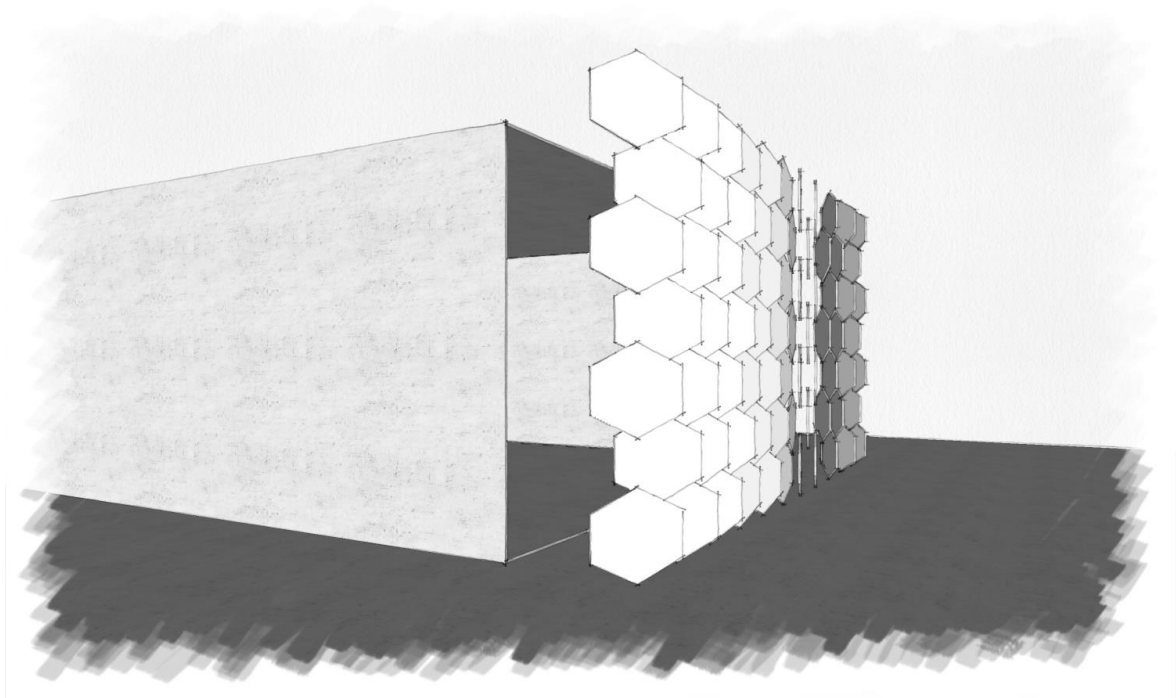


- Se identifica entonces según el análisis con la aplicación de la fachada cinética, que para equinoccios y solsticios en un alto porcentaje que fluctúa entre el 74% al 86% (dependiendo de la hora y la época del año) en el área interior de la oficina de trabajo predominan las zonas denominadas “Daylit”, las cuales acorde a los rangos de iluminancia establecidos entre 300 lux y 700 lux generan mayor confort lumínico hacia interior de la oficina de trabajo.
- A pesar de haber establecido la reflectancia del material en la fachada cinética en un 45%, no se ha logrado conseguir que no exista deslumbramiento en ciertas áreas del espacio interior. Sin llegar a tener valores altos de deslumbramiento, los casos más desfavorables los encontramos en el solsticio de diciembre, observando que para el análisis a las 12pm obtenemos dentro del área total, un 38% de deslumbramiento; lo cual sigue sin ser idóneo para generar un ambiente de trabajo confortable en términos de confort lumínico. El resto de zonas de deslumbramiento para las diferentes épocas del año, se las puede identificar con valores bajos, en la mayoría de casos en la parte central del área de la oficina.
- Se determinan aún (aunque en porcentajes casi inexistentes) zonas correspondientes a “Partially daylit” con rangos de iluminancia inferior a 300 lux (iluminación no suficiente para la oficina de trabajo), estos rangos mínimos con valores de 5%, se los determina en la totalidad de los casos, en las esquinas que se encuentran más alejadas a la fachada cinética.
- A continuación, se ilustran mediante imágenes los resultados de conformación de la parametría para la fachada cinética, en este caso para los equinoccios del 21 de marzo y 21 de septiembre, a las 12pm:

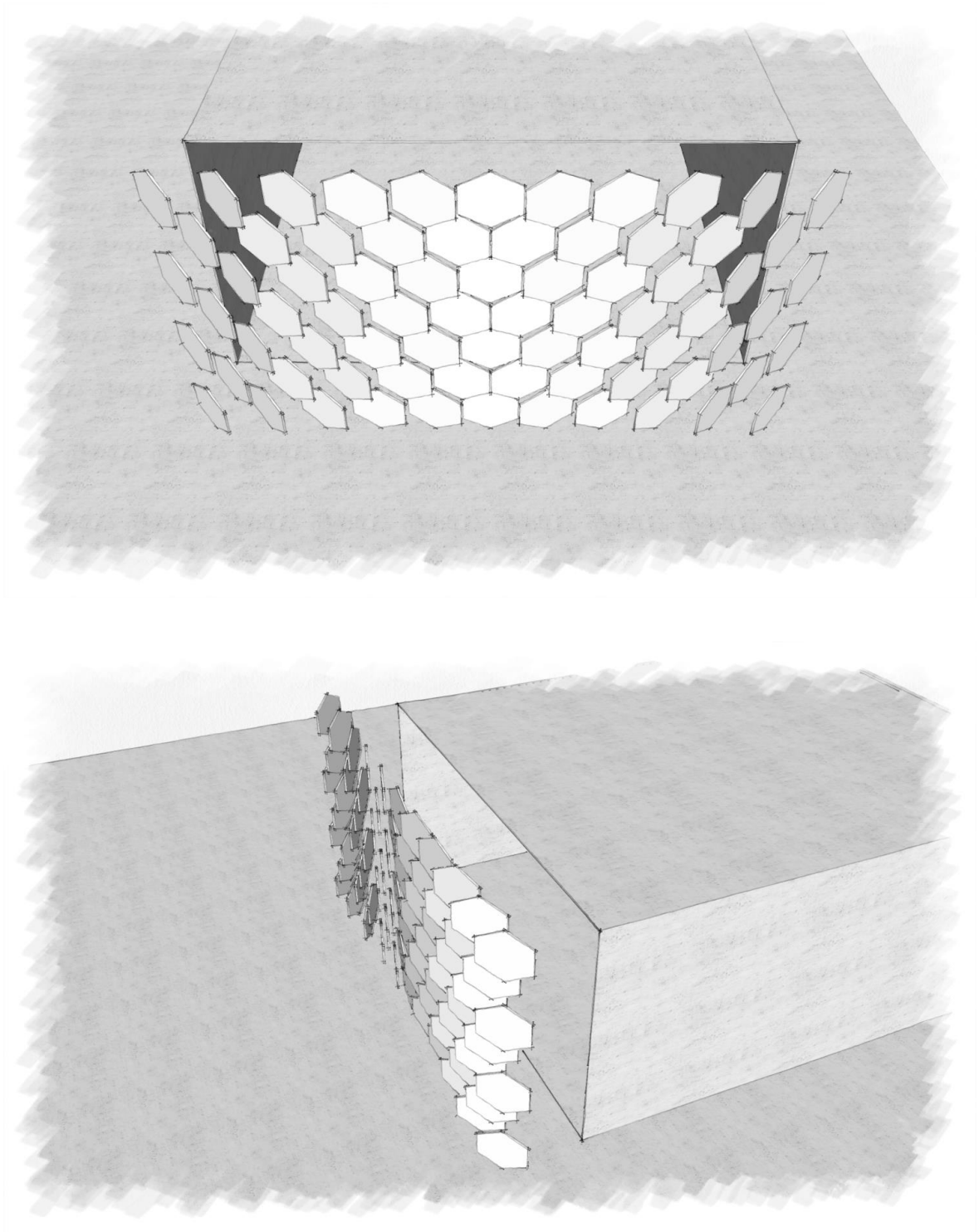




(IMAGEN 101a)



(IMAGEN 101b)



(IMAGEN 101c)



### 3.3 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DOS CASOS DE ESTUDIO

Para el caso de la fachada con ventana común, se observa notoriamente que los resultados establecen que la iluminación al interior del espacio arquitectónico de oficina de trabajo es lejana a cumplir con el confort lumínico necesario para el óptimo uso del espacio.

Por otra parte, en el caso de la fachada cinética se han realizado para cada día y en cada hora antes establecidas para el análisis, varias animaciones con movimientos de rotación con rango de 5° para cada panel y con rotaciones máximas de 85°; esto buscando captar la mayor cantidad de luz diurna para optimizar el confort lumínico hacia el interior de la oficina de trabajo. Los resultados expuestos en este caso de la fachada cinética se han clasificado según los mejores casos encontrados para cada día y en cada hora, en cuanto a las rotaciones de los paneles hexagonales.

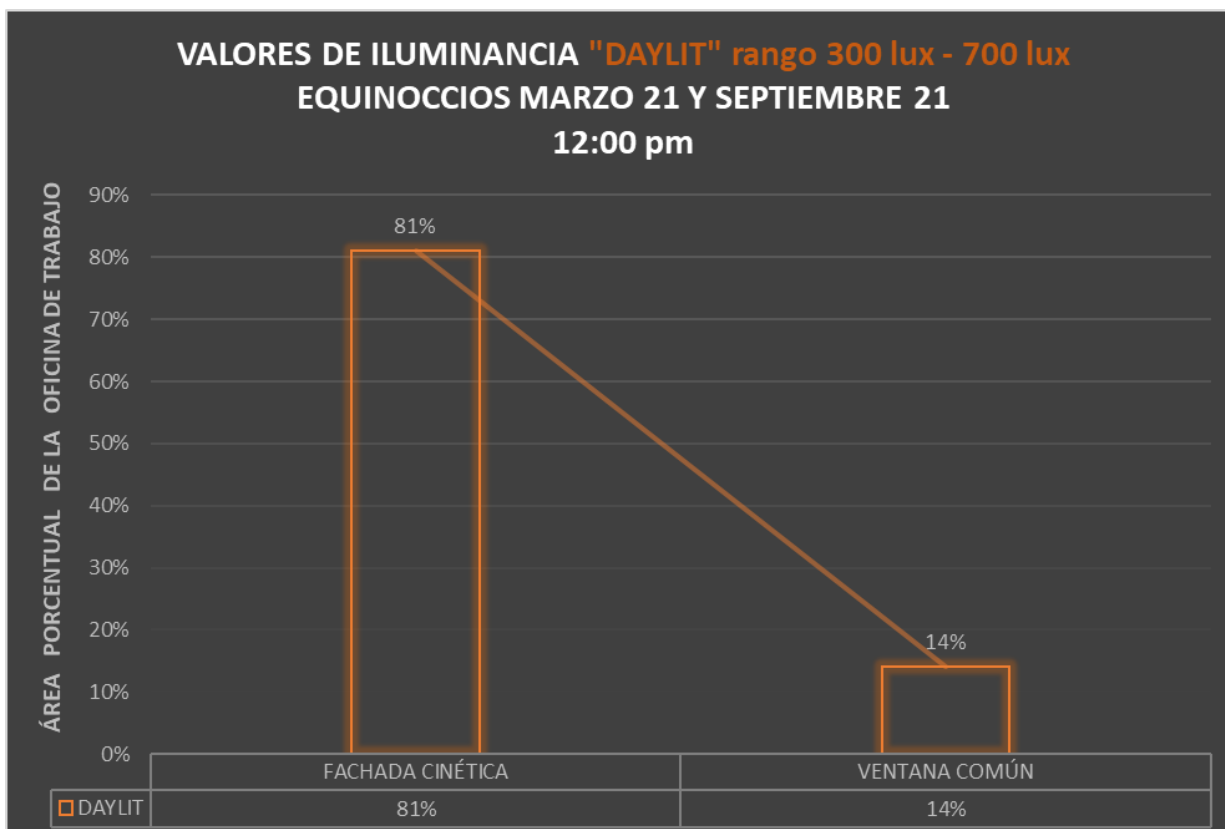
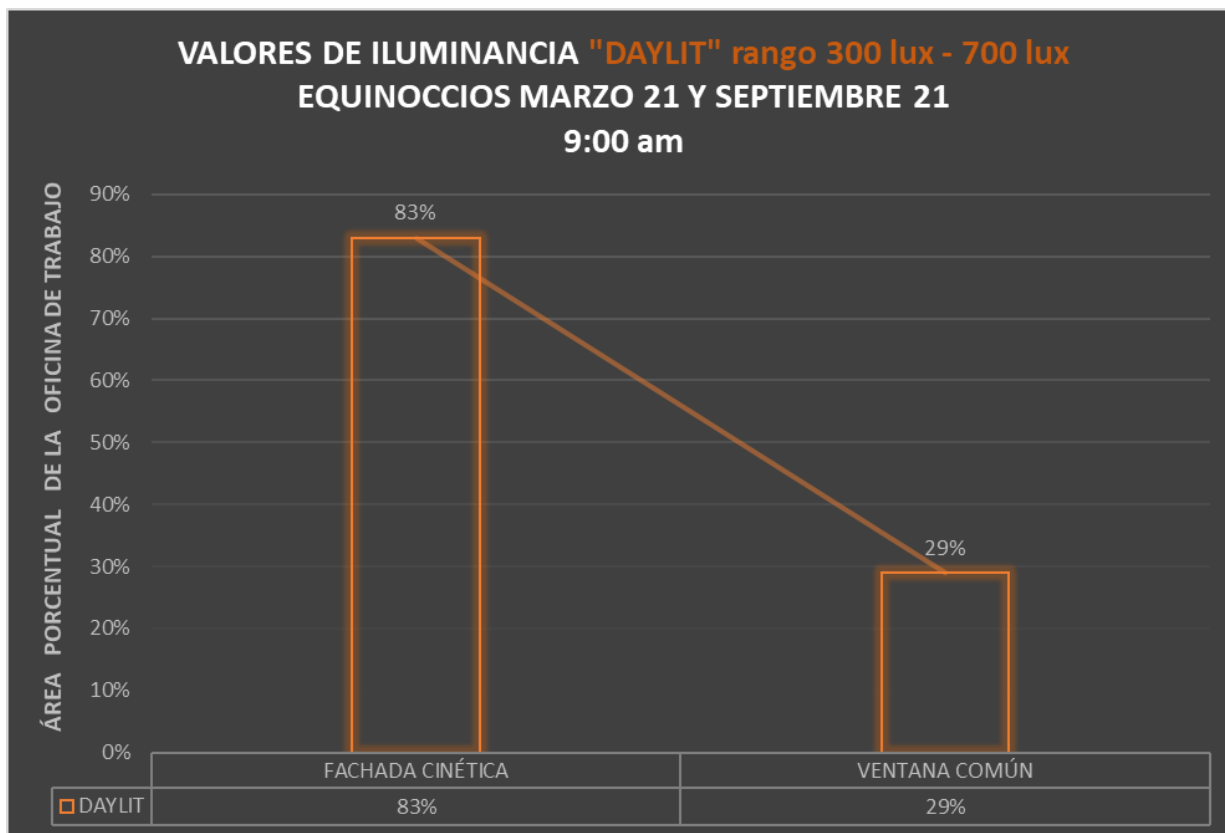
Se identifica una notable mejora de iluminancia hacia el interior de la oficina de trabajo, con valores mínimos en “partially daylight”. La fachada cinética según las rotaciones establecidas en cada una de sus células compositivas, en general mejora la distribución de luz diurna hacia el interior optimizando el confort lumínico.

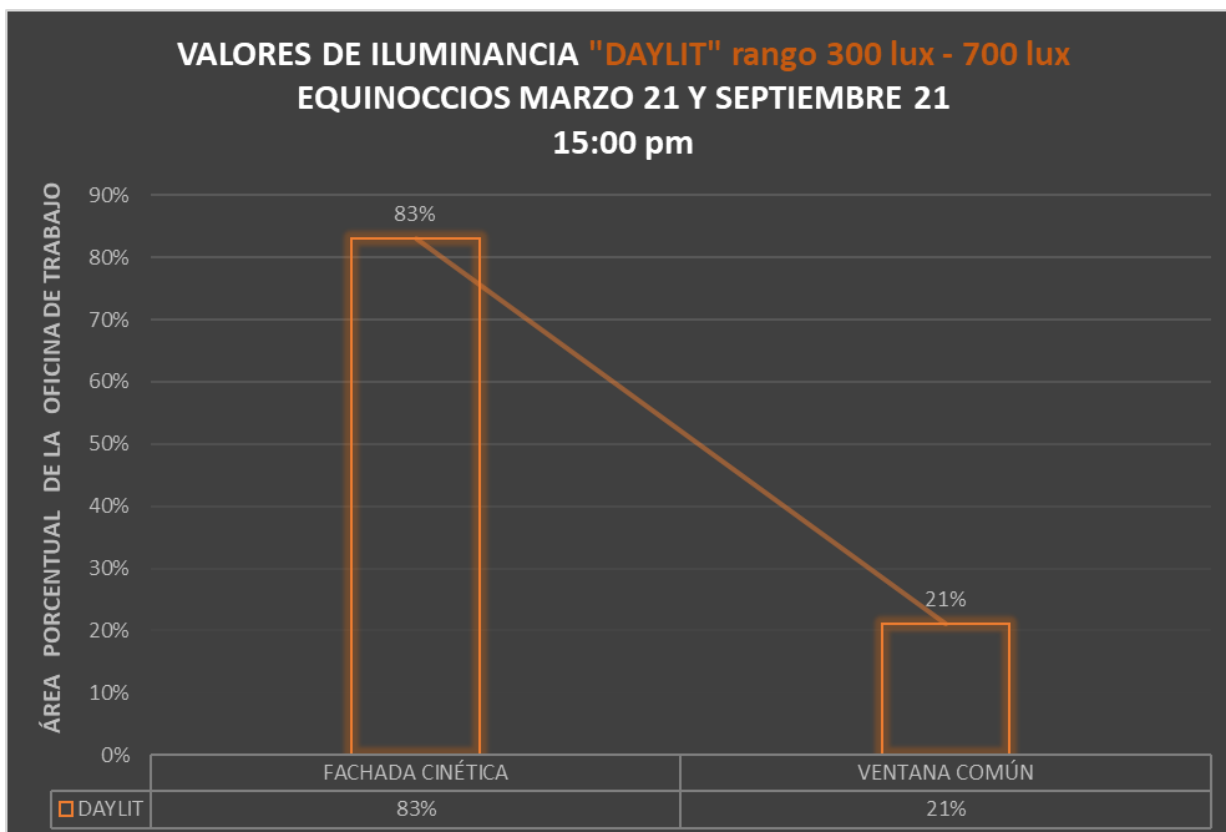
Los resultados de los estudios realizados para la fachada con ventana común y la fachada cinética; a continuación, serán expuestos según gráficos de valoración y comparados para observar la distribución de la luz diurna e iluminancia en cada caso; esto, en términos de porcentajes que se abarcan para el área total del espacio interior de la oficina de trabajo. Estos resultados que a continuación se comparan, están enfocados en visualizar y demostrar cómo la fachada cinética mejora el confort lumínico, mediante una mejor distribución de la luz diurna con respecto a la fachada con ventana común; se muestran los rangos correspondientes a “Daylit”, con valores entre 300 lux y 700 lux (iluminación idónea para la oficina de trabajo).



### 3.3.1 COMPARACIÓN PARA EQUINOCCIOS

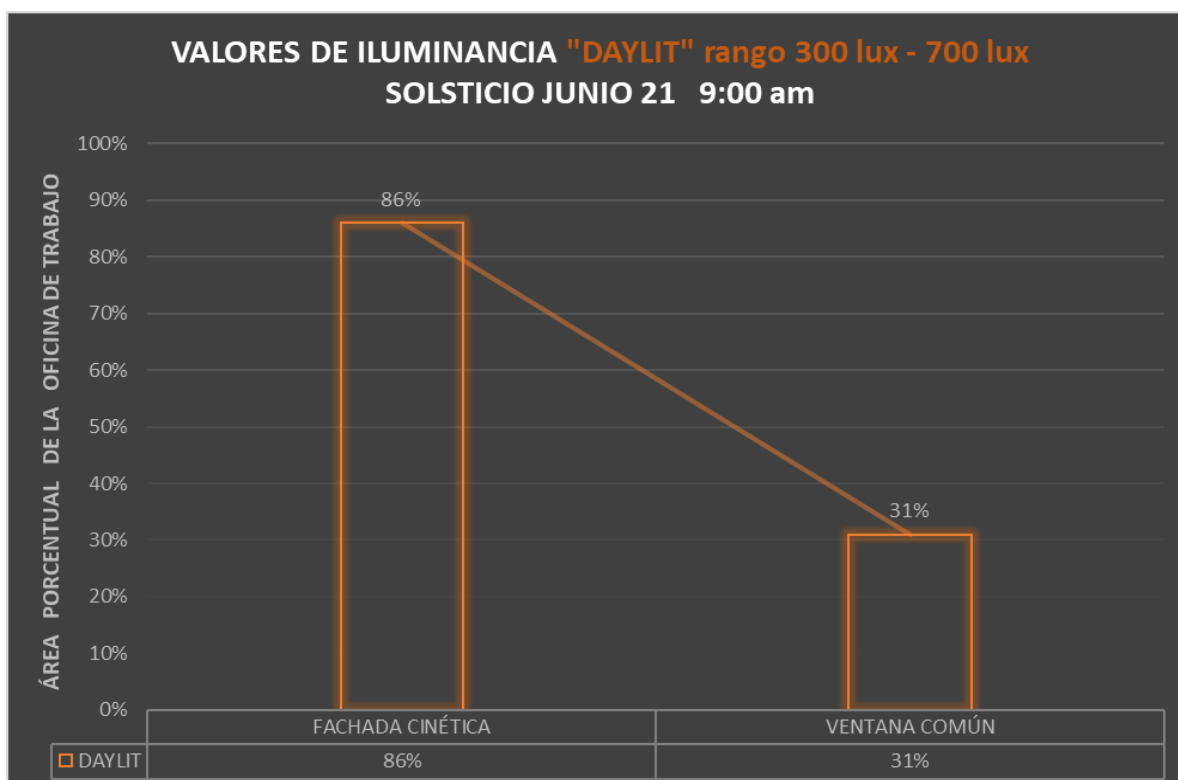
#### MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21

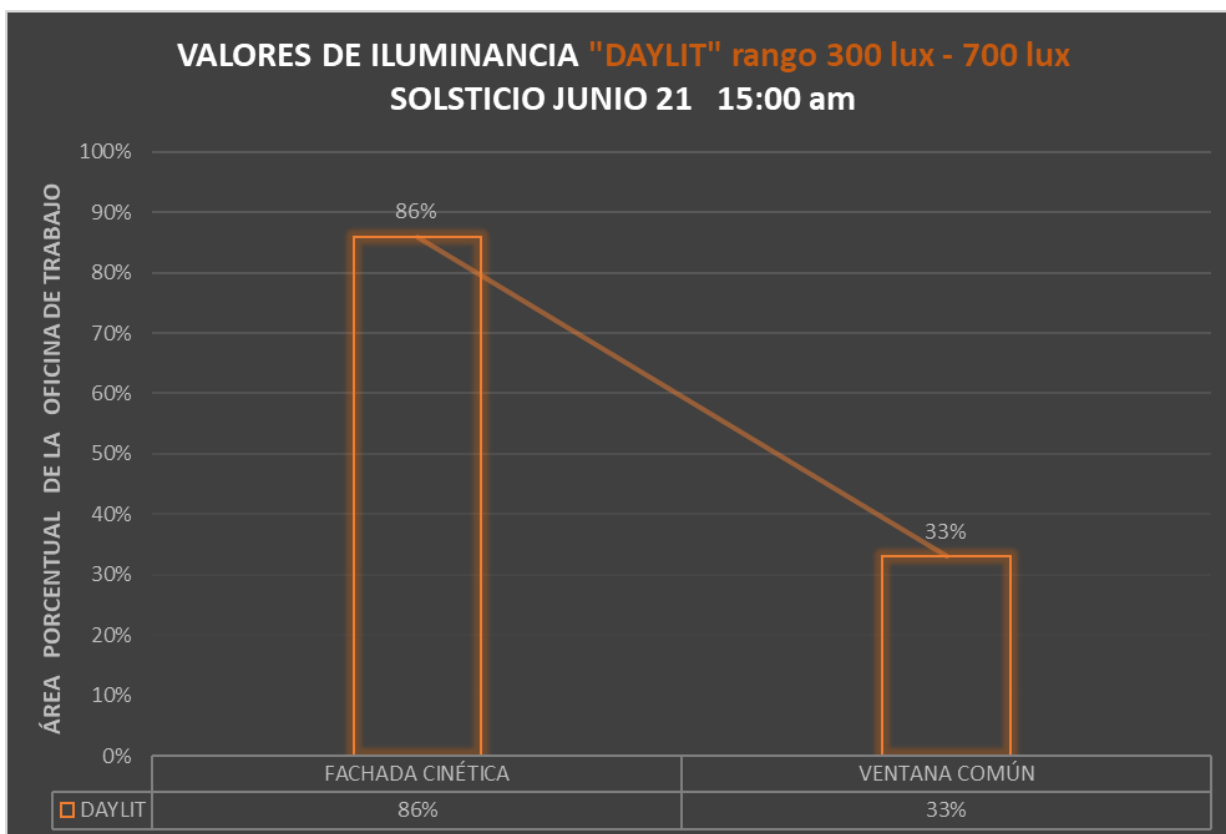
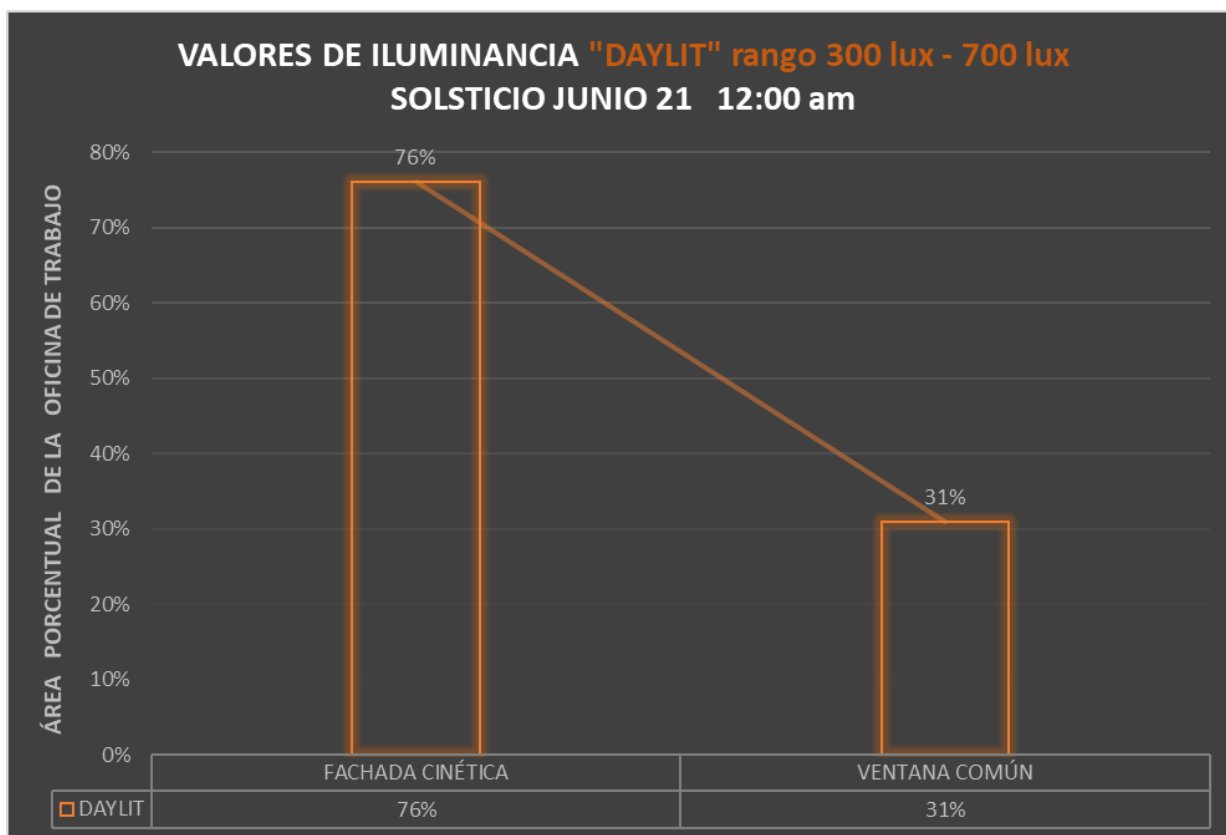




### 3.3.2 COMPARACIÓN PARA SOLSTICIOS

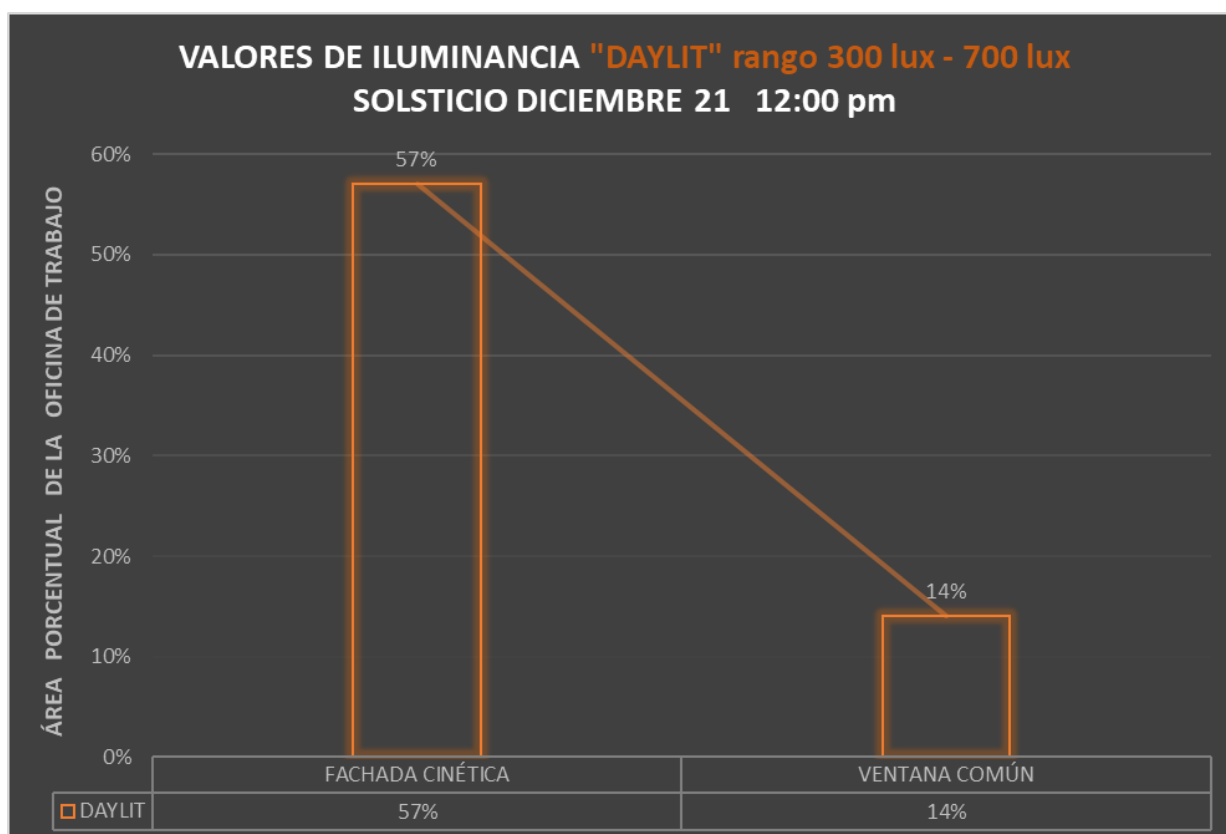
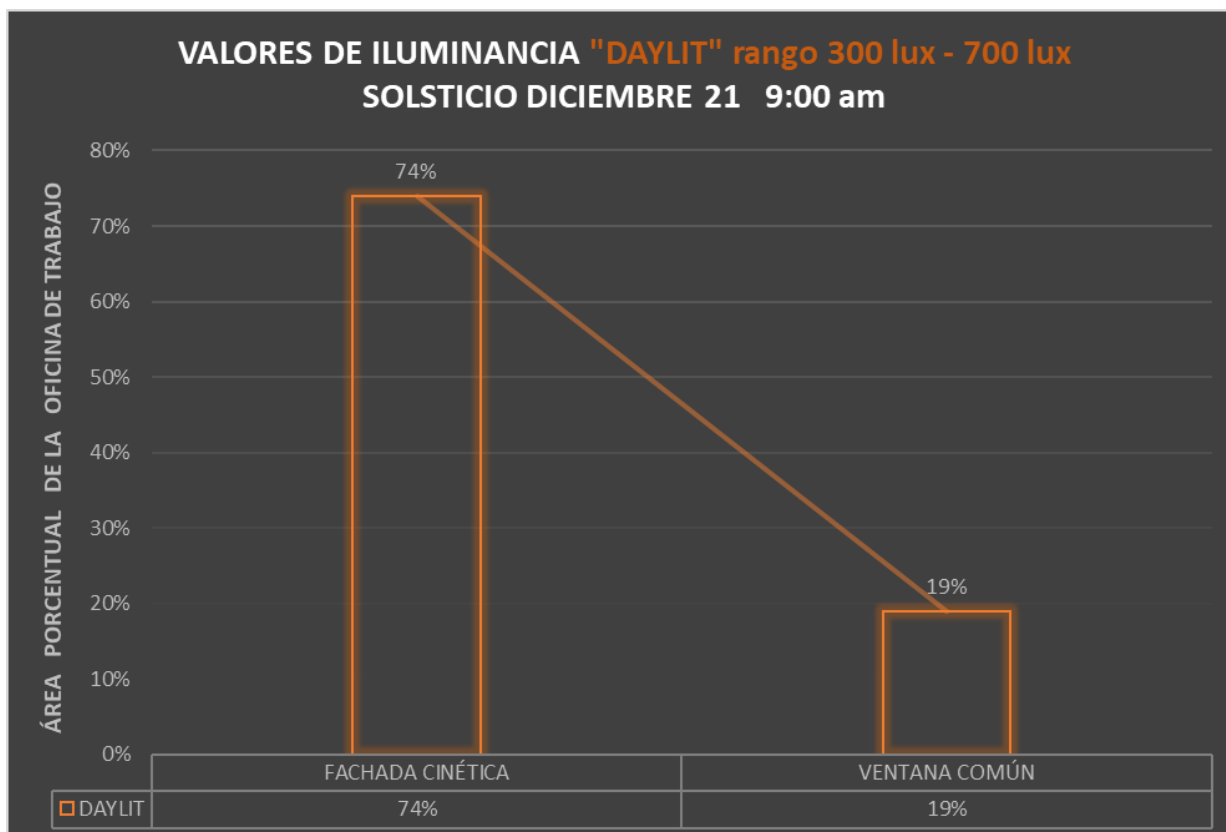
**JUNIO 21**



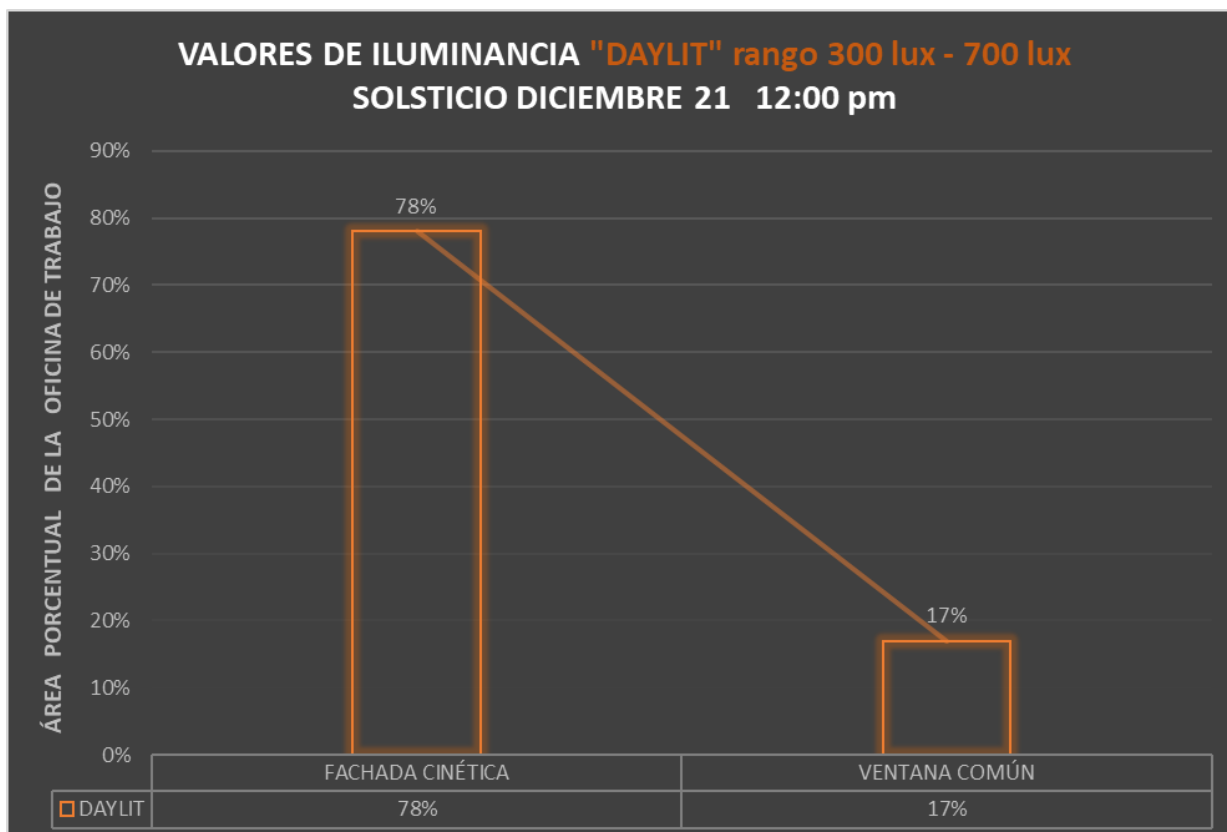




DICIEMBRE 21









### 3.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta investigación se detallan los resultados de la búsqueda de confort lumínico sobre un espacio interior que tiene una fachada con ventana común, emplazada sobre la línea ecuatorial en la ciudad de Quito Ecuador. Dichos resultados, se obtienen debido a la comparación entre dicha fachada con ventana común y una fachada cinética; mediante los análisis de iluminancia en lux hacia el espacio interior generado en ambos casos, espacio interior determinado como con uso de oficina de trabajo, con rangos de valores mínimos de 300 lux y máximos de 700 lux.

La simulación mediante parametrización presenta una ventaja importante para visualizar de manera correcta y en tiempo real, los posibles resultados referente al comportamiento de la iluminación hacia el interior de un espacio arquitectónico.

Para estas simulaciones y análisis se presenta una integración entre herramientas digitales como Rhino, Grasshopper y Diva. Los inconvenientes técnicos presentados en el proceso, se han determinado en su mayoría por las limitaciones aún existentes en el software, ya que en Diva se ha tenido que realizar manualmente ciertos ejercicios y tabulaciones, que en Grasshopper se encuentran ya avanzados y automatizados, pero en Diva están aún en proceso de construcción; sobre todo, para establecer sobre la malla por cada metro cuadrado dentro del área de piso interior los valores exactos en lux generados con ambos casos de estudio (fachada cinética y fachada con ventana común). Entonces, se determinó trabajar sobre una escala de valores mediante una representación gráfica con gradientes de color, esto se observa en ambos casos de estudio para los análisis de iluminancia; que si bien con esto se puede establecer con claridad los rangos de lux máximos y mínimos, no fue posible establecer los valores exactos en lux dentro de cada metro cuadrado en los espacios interiores analizados.

Se obtienen entonces, las siguientes conclusiones:

- De manera clara, los resultados demuestran que, al generar una nueva piel cinética o fachada cinética en reemplazo de la fachada con ventana común, el confort lumínico aumenta de manera considerable al interior del espacio arquitectónico determinado con uso para oficina de trabajo, aprovechando y distribuyendo de mejor forma la iluminación diurna.
- Los tipos y dirección de movimientos de rotación en las células compositivas de la fachada afectan de manera positiva las cualidades de la iluminación diurna en el interior.
- Estas fachadas cinéticas pueden ser aprovechadas como dispositivos de captación solar, para generar nuevos tipos de energía, o bien para ayudar a disminuir el consumo energético de una edificación a lo largo de las diferentes etapas del año, mediante una adecuada distribución de la luz diurna hacia el interior de un espacio, que cuenta con muy poca iluminación natural interior.



- La conceptualización y construcción de este tipo de pieles cinéticas ofrece una nueva forma de entender la arquitectura; mediante el desarrollo y trabajo de partes compositivas en arquitectura que no sean estáticas, sino dinámicas; para configurar una nueva relación entre arquitectura, medio ambiente y usuarios.
- Para la aplicación de este tipo de arquitectura cinética y concretamente en el caso de las fachadas, se deben tener en cuenta aspectos más profundos a desarrollar, como la conformación y materialidad de la segunda piel de vidrio que protegerá el interior de los cambios climáticos y agentes externos; además, analizar los detalles constructivos para ensamblajes y sistemas mecánicos de funcionamiento para los paneles compositivos de la piel cinética.
- Las fachadas cinéticas presentan varias ventajas con respecto a elementos estáticos para generar fachadas, una de las más importantes puede ser la mejor relación entre la eficiencia energética de la edificación y el medio ambiente. El desafío para futuras investigaciones consiste en compaginar estos beneficios con un costo real de producción, ya que en la actualidad son sistemas extremadamente caros y de no fácil mantenimiento, lo cual plantea una premisa para realmente evaluar y esclarecer su costo-beneficio.
- Para esta investigación se plantearon límites en cuanto a la configuración de la fachada cinética y del diseño paramétrico de la misma; concretando reglas claras para los tipos y ejes de giro, materialidad, tamaño y distribución de las células o paneles que conforma la fachada; ya que de no tener en cuenta estos límites, el diseño paramétrico termina por ser un camino demasiado extenso debido a las infinitas posibilidades que ofrece en este caso la configuración de la fachada.
- Las herramientas de construcción digital para la aplicación y planteamiento de este tipo de investigaciones se tienen que seguir desarrollando, no abarcar únicamente análisis en sistemas estáticos, sino ofrecer planteamientos más concretos y cercanos a la realidad, en cuanto a sistemas dinámicos.
- En base a esta investigación, se puede desarrollar una más extensa forma de concebir los sistemas cinéticos para arquitectura; por ejemplo, se puede ampliar el estudio de cómo afectarían diferentes materialidades al interior del espacio arquitectónico, o bien se puede desarrollar un análisis con fachada cinética en nuestro medio para generar confort térmico al interior de las edificaciones.
- Esta investigación puede servir de base, para seguir ampliando este campo de estudio poco o casi nada abordado en nuestro medio y en nuestra ciudad, como es la arquitectura paramétrica y su extensa gama de posibilidades para aplicaciones constructivas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial nº 11 446. (2011). *Reglamento técnico ecuatoriano Prte INEN 152*. Quito.
- Adler, M. (2013). *Surface is More than skin deep*. Carnegie Mellon. Recuperado a partir de [https://issuu.com/mattadler/docs/madler\\_thesismidsemeseter\\_f13](https://issuu.com/mattadler/docs/madler_thesismidsemeseter_f13)
- Álvarez Bayona, T. (2015). *Iluminación en los puestos de trabajo: Criterios para la evaluación ergonómica y acondicionamiento de los puestos*. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ed.). Madrid.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*.
- Baixas, J. (2012). Envoltentes: la piel de los edificios. *ARQ (Santiago)*, (82), 98-101. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962012000300016>
- Barrios, Á. (2012). *Una correcta iluminación, fuente de ahorro energético*. Madrid. Recuperado a partir de [http://www.lucescei.com/uploads/tx\\_ztdownloads/Espacio\\_trabajo\\_Philips.pdf](http://www.lucescei.com/uploads/tx_ztdownloads/Espacio_trabajo_Philips.pdf)
- Belda, N. (2010). *Tecnología de la industria del vidrio*. Cuyo. Recuperado a partir de [http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrias-1/ano-2010/Tecnologia de la Industria del Vidrio - Informe.pdf](http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrias-1/ano-2010/Tecnologia%20de%20la%20Industria%20del%20Vidrio%20-%20Informe.pdf)
- Čekon, M., & Slávik, R. (2017). A Non-Ventilated Solar Façade Concept Based on Selective and Transparent Insulation Material Integration: An Experimental Study. *Energies*, 10(6), 815. <https://doi.org/10.3390/en10060815>
- Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2013). *NEC capítulo 15*. Ecuador. Recuperado a partir de [https://issuu.com/cieepi.ecuador/docs/nec2011-cap15\\_instalaciones\\_electro](https://issuu.com/cieepi.ecuador/docs/nec2011-cap15_instalaciones_electro)
- Congreso Nacional. (2007). *Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad*. Quito.
- Construmática. (2017). Recuperado 27 de febrero de 2017, a partir de <http://www.construmatica.com>
- Cooke Catherine. (1990). *Architectural Drawings of the Russian Avant-Garde*. New York: The Museum of Modern Art. Recuperado a partir de [https://monoskop.org/images/c/c7/Architectural\\_Drawings\\_of\\_the\\_Russian\\_Avant-Garde\\_1990.pdf](https://monoskop.org/images/c/c7/Architectural_Drawings_of_the_Russian_Avant-Garde_1990.pdf)
- Cruz Pérez. (2016). Sunergy: el acristalamiento polivalente. Recuperado a partir de <http://www.cristaleriacruzperez.com/wp-content/uploads/2016/09/DossierSunergyClear.pdf>
- Definiciona, definición y etimología. (2017). Recuperado 27 de febrero de 2017, a partir de <https://definiciona.com/fachada/>
- Dhabi, A. (2012). Al Bahar Towers – External Automated Shading System, 172-177. Recuperado a partir de <http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=c8GIZooATFg%3D&tabid=3845&language=en-US>
- EADIC. (2013). *Arquitectura Bioclimática*. Madrid.
- Experimenta magazine. (2017). Recuperado 1 de mayo de 2017, a partir de <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/soma-expo-one-ocean-3433/>



- Fernández García, R. (2013). *La productividad y el riesgo psicosocial o derivado de la organización del trabajo*. (Club Universitario, Ed.). Alicante.
- Fox, M. A., & Yeh, B. P. (2000). Intelligent Kinetic Systems in Architecture. En *Managing Interactions in Smart Environments* (pp. 91-103). [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0743-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0743-9_9)
- Freewan, A. A. Y. (2014). Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102, 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.009>
- Gonzales, J., & Pérez, R. (2017). *Formación y orientación laboral*. (Paraningo SA, Ed.) (4ª). Madrid.
- Hazmy, D. (2012). Air Architecture Desing Studio, 83. Recuperado a partir de [https://issuu.com/danielhazmy/docs/test\\_journal\\_a](https://issuu.com/danielhazmy/docs/test_journal_a)
- Hernández Pezzi, C. (2012). *Un Vitruvio Ecológico: Principios y prácticas del proyecto arquitectónico sostenible*. (Gustavo Gili, Ed.) (1RA ed.). Barcelona.
- Hou, Y. (2016). Studio Air, 246. Recuperado a partir de [https://issuu.com/houyuhan/docs/yuhan\\_hou\\_journal\\_final](https://issuu.com/houyuhan/docs/yuhan_hou_journal_final)
- INEN. (2017). Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado a partir de <http://www.normalizacion.gob.ec/la-institucion/>
- Ismail, K. A. ., & Henríquez, J. . (2002). Parametric study on composite and PCM glass systems. *Energy Conversion and Management*, 43(7), 973-993. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00083-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00083-8)
- Istas. (2014). Principios generales de la iluminación en el trabajo. Recuperado a partir de <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=189>
- Jorquera Lucerga, J. J. (2013). Understanding Calatrava's bridges: A conceptual approach to the 'La Devesa-type' footbridges. *Engineering Structures*, 56, 2083-2097. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.08.026>
- Kaushika, N. D., & Sumathy, K. (2003, agosto). Solar transparent insulation materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(03\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(03)00067-4)
- Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111-127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.039>
- Martín Monroy, M. (2006). *Manual de la Iluminación*. Tenerife.
- Moloney, J. (2011). *Designing kinetics for Architectural Facades: State Change*. Oxon: Routledge. Recuperado a partir de [https://issuu.com/ani.arzumanyan/docs/designing\\_kinetics\\_for\\_architectural\\_facades](https://issuu.com/ani.arzumanyan/docs/designing_kinetics_for_architectural_facades)
- Navarro Baldeweg, J. (1996). La piel en tres dimensiones. *Tectónica, cerramientos pesados, aplacados y paneles. Envolvertes (II)*, 122.
- NOAO «national optical astronomy observatory». (2017). Niveles de iluminación recomendados. Recuperado a partir de [https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety\\_Activity\\_Poster/LightLevels\\_outdoor+indoor\\_es.pdf](https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf)
- Patón, V. (1996). Una historia superficial. *Tectónica, fachadas ligeras. Envolvertes (I)*, 112.



- Pattini, A. (2012). *Luz natural e iluminación de interiores*. Buenos Aires.
- Pérez, M. (2013). Vidrio electrocrómico para ventanas inteligentes. Recuperado a partir de <http://blogthinkbig.com/vidrio-electrocromico-ventanas-inteligentes/>
- Plataforma Arquitectura. (2017). Recuperado 1 de mayo de 2017, a partir de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel>
- Prado Ruiz, A. (2016). *Vídríos fotocromáticos*.
- Quezada, F. (2015). *Desarrollo de un método de evaluación de la calidad del ambiente interior para el diseño de viviendas sustentables*. Universidad del Bio-Bio.
- Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3), 170-177. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004>
- Reeves, E. . (1978). *Vademécum de Electricidad*. (R. SA, Ed.). Barcelona.
- REX. (2014). Media Headquarters Building (MHQ) — REX Architecture. Recuperado 6 de junio de 2017, a partir de <http://www.rex-ny.com/mhq/>
- Rodríguez Cheda, J. B., & Raya de Blas, A. (1996). La imposible levedad del muro. *Tectónica fachadas ligeras. Envoltentes (I)*, 122. Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/document/348401528/Tectonica-01-Fachadas-ligeras-pdf>
- Ron, R. (2012). Exploration of Eco-Kinetic Systems in Architecture Development of dynamic interactive building elements. *Ecaad 30*, 2(Figure 1), 381-390. Recuperado a partir de [https://cumincaad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2012\\_14.content.pdf](https://cumincaad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2012_14.content.pdf)
- Sanjuán Sánchez, E. (2014). *Conceptos básicos de luminotecnía*. Madrid.
- Tapia Chocho, W. E. (2017). *El confort térmico en las edificaciones de arquitectura vernácula de la ciudad de Loja y Malacatos*. Universidad de Cuenca.
- University of Stuttgart. (2017). ICD Institute for Computational Design and Construction | University of Stuttgart, Faculty of Architecture and Urban Planning. Recuperado 2 de junio de 2017, a partir de <http://icd.uni-stuttgart.de/>
- UNStudio. (2017). Hanwha Headquarters Remodelling - UNStudio. Recuperado 20 de junio de 2017, a partir de <https://www.unstudio.com/en/page/3405/hanwha-headquarters-remodelling>
- UPC Grup d'Estudis Luminotécnic. (2015). Luminarias. Recuperado a partir de <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemaslluminacion-luminarias-materiales.php>
- Villegas, M. (1994). Comportamiento fototrópico de la plata en vidrios. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 33(4), 181-192.
- Wigginton Michael, & Harris Jude. (2002). *Intelligent Skins*. Oxford: Reed Educational and Professional Publishing Ltd. Recuperado a partir de <https://disegnodiezunibe.files.wordpress.com/2011/05/intelligentskins.pdf>
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., & Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: Materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00192-8)



## ÍNDICE DE IMÁGENES, DIAGRAMAS Y TABLAS

- IMAGEN 1.** Capilla de los Pazzi, Filippo Brunelleschi. [En línea] <https://www.pinterest.com/pin/624452304552254917/>.
- IMAGEN 2.** Facade of the research laboratory of the University Medical Center (UMCG) in Groningen, the Netherlands. [En línea] <https://www.pinterest.com/pin/328833210282270056/>.
- IMAGEN 3.** Casa Shuar. [En línea] <http://2.bp.blogspot.com/-zhxZ8JX6dBU/T8tT49OTH-AAAAAAAAACE/aYXECpFYucw/s1600/shuar+4.jpg>.
- IMAGEN 4.** Elementos y distribución de fuerzas en la arquitectura gótica. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/61/ba/3f/61ba3feedfcbfc24579e6d566e044b31.jpg>.
- IMAGEN 5.** Flickr. [En línea] <http://www.flickr.com/photos/markcarline/7570483754/>.
- IMAGEN 6.** Fagus Factory / Walter Gropius + Adolf Meyer. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/5415/8c9c/c07a/8071/2f00/0081/large\\_jpg/1911-1914\\_durch\\_die\\_Architekten\\_Walter\\_Gropius\\_und\\_Adolf\\_Meyer\\_erbautes\\_Fagus-Werk\\_in\\_Alfeld\\_Leine\\_Fotograf\\_Edmund\\_Lill\\_Provenienz\\_Landesmuseum\\_Oldenburger.jpg?1410698376](http://images.adsttc.com/media/images/5415/8c9c/c07a/8071/2f00/0081/large_jpg/1911-1914_durch_die_Architekten_Walter_Gropius_und_Adolf_Meyer_erbautes_Fagus-Werk_in_Alfeld_Leine_Fotograf_Edmund_Lill_Provenienz_Landesmuseum_Oldenburger.jpg?1410698376).
- IMAGEN 7.** Maison du Peuple, Clichy, Arq. Jean Prouvé. [En línea] [http://www.arquine.com/wp-content/uploads/2016/01/jean\\_prouve\\_designmuseum080208\\_1.jpg](http://www.arquine.com/wp-content/uploads/2016/01/jean_prouve_designmuseum080208_1.jpg).
- IMAGEN 8.** L'abbé Pierre et Jean Prouvé. [En línea] <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi30Pb-zzjUAhURayYKHQcBAg8QjRwIbw&url=http%3A%2F%2Fumamfrance.blogspot.com%2F2014%2F04%2F&psig=AFQjCNH1fO5EzeTAIAM1SsO3nbcfMeVYZw&ust=1496267646695111>.
- IMAGEN 9.** Richard Buckminster Fuller, "Dymaxion". [En línea] [https://img-fotki.yandex.ru/get/99813/345882423.59/0\\_1570db\\_e2097efe\\_orig.jpg](https://img-fotki.yandex.ru/get/99813/345882423.59/0_1570db_e2097efe_orig.jpg).
- IMAGEN 10.** Richard Buckminster Fuller, "Dymaxion". [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/51df/2d19/e8e4/4e68/7300/0033/slideshow/dymaxion\\_house1.jpg?1417704297](http://images.adsttc.com/media/images/51df/2d19/e8e4/4e68/7300/0033/slideshow/dymaxion_house1.jpg?1417704297).
- IMAGEN 11.** Richard Buckminster Fuller, "Dymaxion". [En línea] [http://4.bp.blogspot.com/-jvPOK0r5MW8/UJNmlqdXJ3I/AAAAAAAAAtM/5ik0X\\_ucV2U/s1600/ISO-p88-89.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-jvPOK0r5MW8/UJNmlqdXJ3I/AAAAAAAAAtM/5ik0X_ucV2U/s1600/ISO-p88-89.jpg).
- IMAGEN 12.** Maison-dom-ino, Le Corbusier. [En línea] <http://jaumeprat.com/wp-content/uploads/2013/04/maison-dom-ino.jpg>.
- IMAGEN 13.** Mies van der Rohe, Casa Farnsworth. [En línea] <http://images.adsttc.com/media/images/55e6/237f/8450/b593/e600/016a/slideshow/edlifeguard.jpg?1441145721>.
- IMAGEN 14.** FAVENK :: fachada ventilada. [En línea] <https://www.focuspiedra.com/wp-content/uploads/2015/12/FACHADA-VENTILADA-1.jpg>.
- IMAGEN 15.** Blog | Aycm. [En línea] <http://www.aycm.es/wp-content/uploads/arquitectura-intervencion-ingenieria-aycm-arcomed-23.jpg>.
- IMAGEN 16.** Arch20. [En línea] <http://www.arch20.com/kunsthaut-graz-peter-cook-and-colin-fourmier/>.
- IMAGEN 17.** Seventhwave. [En línea] <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0950061813003541-gr1.jpg>.
- IMAGEN 18.** Review on thermal energy storage with phase change: Materials, heat transfer analysis and applications. *Zalba, Belén Marín, José M. Cabeza, Luisa F Mehling, Harald.* [En línea]
- IMAGEN 19.** Architonic. [En línea] <https://www.architonic.com/en/product/wacotech-timax-lt-beru-electronics/1099017#&gid=1&pid=1>.
- IMAGEN 20.** Solar transparent insulation materials: A review. *Kaushika, N. D. Sumathy, K.* [En línea]
- IMAGEN 21.** Solar transparent insulation materials: A review. *Kaushika, N. D. Sumathy, K.* [En línea]
- IMAGEN 22.** Solar transparent insulation materials: A review. *Kaushika, N. D. Sumathy, K.* [En línea]
- IMAGEN 23.** Designing Buildings. [En línea] [https://www.designingbuildings.co.uk/w/images/1/14/xTransparent\\_insulation\\_materials.jpg.pagespeed.ic.2cEDNjzvNH.jpg](https://www.designingbuildings.co.uk/w/images/1/14/xTransparent_insulation_materials.jpg.pagespeed.ic.2cEDNjzvNH.jpg).
- IMAGEN 24.** Plataforma Arquitectura. [En línea] <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-192890/comunidad-verde-paisano-oab>.
- IMAGEN 25.** Architecture List. [En línea] <http://www.architecturelist.com/2011/04/01/cafe-restaurant-open-amsterdam-by-de-architekten-cie/>.
- IMAGEN 26.** Estero Island Historic Society. [En línea] <http://www.esteroislandhistoricsociety.org/3.html>.
- IMAGEN 27.** Pinterest. [En línea] <https://www.pinterest.com/pin/6192518213116504/>.
- IMAGEN 28.** Monoskop.org. [En línea] [https://monoskop.org/images/c/7/Architectural\\_Drawings\\_of\\_the\\_Russian\\_Avant-Garde\\_1990.pdf](https://monoskop.org/images/c/7/Architectural_Drawings_of_the_Russian_Avant-Garde_1990.pdf).
- IMAGEN 29.** Monoskop.org. [En línea] [https://monoskop.org/images/c/7/Architectural\\_Drawings\\_of\\_the\\_Russian\\_Avant-Garde\\_1990.pdf](https://monoskop.org/images/c/7/Architectural_Drawings_of_the_Russian_Avant-Garde_1990.pdf).
- IMAGEN 30.** My Architectural Moleskine. [En línea] <http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2011/10/metabolist-movement.html>.
- IMAGEN 31.** Omrania. [En línea] <https://omrania.com/inspiration/frei-ottos-lightweight-architecture/>.
- IMAGEN 32.** Culture Université de Liège. [En línea] [http://culture.ulg.ac.be/jcms/prod\\_207041/fr/santiago-calatrava-ou-la-poetique-des-structures](http://culture.ulg.ac.be/jcms/prod_207041/fr/santiago-calatrava-ou-la-poetique-des-structures).
- IMAGEN 33.** Dustbowl.wordpress. [En línea] <https://dustbowl.wordpress.com/category/architecture-interior-design/page/5/>.
- IMAGEN 34.** 35milímetros.org. [En línea] <https://i.ytimg.com/vi/7fLVMyGBFSU/hqdefault.jpg>.
- IMAGEN 35.** Azuremagazine. [En línea] <http://www.azuremagazine.com/article/architecture-education-digital-fabrication-university-stuttgart/>.
- IMAGEN 36.** Plataforma Arquitectura. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/5733/732a/e58e/cee0/7000/001c/slideshow/02\\_Museo\\_Soumaya\\_FREE\\_Fernando\\_Romero\\_p\\_hoto\\_Adam\\_Wiseman.jpg?1462989593](http://images.adsttc.com/media/images/5733/732a/e58e/cee0/7000/001c/slideshow/02_Museo_Soumaya_FREE_Fernando_Romero_p_hoto_Adam_Wiseman.jpg?1462989593).
- IMAGEN 37.** Milenio.com. [En línea] [http://www.milenio.com/tendencias/sensores-chips-edificios-inteligentes-confort-ahorro-energetico-seguridad\\_MILIMA20140422\\_0115\\_8.jpg](http://www.milenio.com/tendencias/sensores-chips-edificios-inteligentes-confort-ahorro-energetico-seguridad_MILIMA20140422_0115_8.jpg).
- IMAGEN 38.** Faqindecor. [En línea] <http://faqindecor.com/assets/images/articles/41/0039665001453729868.jpg>.
- IMAGEN 39.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/86/5f/94/865f947da69400a370c3d29bd0393aa9.jpg>.
- IMAGEN 40.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/1a/7e/46/1a7e4645f9a0daf00ec60e7ae078bc.jpg>.
- IMAGEN 41.** m-ch. [En línea] [http://microcompacthome.com/thumb.php?d=tree\\_1.jpg&b=458&n=0](http://microcompacthome.com/thumb.php?d=tree_1.jpg&b=458&n=0).
- IMAGEN 42.** Flickr.com. [En línea] <https://www.flickr.com/photos/benosaradzic/8453598208/in/photolist-dSViTp-dT1Uef-dM8o5B-72wwL6-uj9wor-vydfwb-dEEtCW-dEEtN-7MAvDM-dEz5DV-dEz5dv-dEETKU-dEz5JZ-dEETj9-dEEues-dpscoK-dEz5S8-dEz6Bc-dEEs8A-dEETsq-dEz5w4-dEErWA-dEETw1-dEET4u-dEET8G-uAAMye-wdBLEh>.



- IMAGEN 43.** Pinterest.com. [En línea] <https://www.pinterest.com/pin/360780620129255630/>.
- IMAGEN 44.** Ctuh.org. [En línea] <http://www.ctuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=c8GIzooATFg%3D&tabid=3845&language=en-US>.
- IMAGEN 45.** Solucionista.es. [En línea] <http://solucionista.es/wp-content/uploads/al-bahar-towers-abu-dhabi-8.jpg>.
- IMAGEN 46.** Solucionista.es. [En línea] <http://solucionista.es/wp-content/uploads/al-bahar-towers-abu-dhabi-7.jpg>.
- IMAGEN 47.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/79/69/91/7969915c645be098c5c8dfedbf349777.jpg>.
- IMAGEN 48.** Wikiarquitectura.com. [En línea] [https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Al\\_Bahar\\_acumulacion\\_geometr.jpg](https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Al_Bahar_acumulacion_geometr.jpg).
- IMAGEN 49.** Wikiarquitectura.com. [En línea] [https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Al\\_Bahar\\_fach\\_2.jpg](https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Al_Bahar_fach_2.jpg).
- IMAGEN 50.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/51ad/51ef/b3fc/4bbb/7a00/001a/large\\_jpg/\\_AAV3746-2.jpg?1370313197](http://images.adsttc.com/media/images/51ad/51ef/b3fc/4bbb/7a00/001a/large_jpg/_AAV3746-2.jpg?1370313197).
- IMAGEN 51.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/51ad/5294/b3fc/4bbb/7a00/002a/large\\_jpg/800px-Instituto\\_del\\_Mundo\\_Arabe7.jpg?1370313362](http://images.adsttc.com/media/images/51ad/5294/b3fc/4bbb/7a00/002a/large_jpg/800px-Instituto_del_Mundo_Arabe7.jpg?1370313362).
- IMAGEN 52.** Pinterest.com. [En línea] <https://www.pinterest.com/pin/507640189231900948/>.
- IMAGEN 53.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/1a/80/34/1a80342e2a313224c9e719c7f4a64cad.jpg>.
- IMAGEN 54.** Wikiarquitectura.com. [En línea] [https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Instituto\\_del\\_Mundo\\_Arabe24.jpg](https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Instituto_del_Mundo_Arabe24.jpg).
- IMAGEN 55.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/51ad/51e2/b3fc/4b22/5b00/0014/large\\_jpg/\\_AAV3728-2.jpg?1370313183](http://images.adsttc.com/media/images/51ad/51e2/b3fc/4b22/5b00/0014/large_jpg/_AAV3728-2.jpg?1370313183).
- IMAGEN 56.** Designboom.com. [En línea] [https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjVrI\\_rwrVVAhXFMYYKHWHBjDjMQjRwIbW&url=https%3A%2F%2Fwww.designboom.com%2Farchitecture%2Fsoma-one-ocean-thematic-pavilion-for-yeosu-expo-2012-complete%2F&psig=AFQjCNFUsWsw627588BGjWXSUCZ5HZdt2A&ust=1501693550337670](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjVrI_rwrVVAhXFMYYKHWHBjDjMQjRwIbW&url=https%3A%2F%2Fwww.designboom.com%2Farchitecture%2Fsoma-one-ocean-thematic-pavilion-for-yeosu-expo-2012-complete%2F&psig=AFQjCNFUsWsw627588BGjWXSUCZ5HZdt2A&ust=1501693550337670).
- IMAGEN 58.** keywordsuggest.org. [En línea] <http://i2.cdn.turner.com/cnnnext/dam/assets/120605125428-yeosu-expo-pav-7-horizontal-large-gallery.jpg>.
- IMAGEN 57.** Expo2012-yeosu-korea.blogspot.com. [En línea] [http://1.bp.blogspot.com/-EZILVb0ot7s/TrD8qNlJwBI/AAAAAAAAAB8Q/cMgGP0VhG0s/s1600/theme\\_pavilion\\_10.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-EZILVb0ot7s/TrD8qNlJwBI/AAAAAAAAAB8Q/cMgGP0VhG0s/s1600/theme_pavilion_10.jpg).
- IMAGEN 60.** Transsolar.com. [En línea] <http://www.transsolar.com/content/2-projects/12-one-ocean-pavillon-expo-2012/cover.jpg>.
- IMAGEN 59.** Knippershelbig.com. [En línea] [http://www.knippershelbig.com/sites/default/files/styles/projekt1494/public/image\\_project/12572-picture.jpg?itok=4WX3STyV](http://www.knippershelbig.com/sites/default/files/styles/projekt1494/public/image_project/12572-picture.jpg?itok=4WX3STyV).
- IMAGEN 61.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/85/92/47/859247838e7c9e11faf36b4a19e47e95f.jpg>.
- IMAGEN 62.** structurae.net. [En línea] [https://files1.structurae.de/files/350high/f007184/s0064321/bild\\_2\\_modellschema\\_der\\_lamellen\\_cropped.jpg](https://files1.structurae.de/files/350high/f007184/s0064321/bild_2_modellschema_der_lamellen_cropped.jpg).
- IMAGEN 63.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/b6/3e/b3/b63eb31aecb265185c01708b844971c1--kiefer-to-obtain.jpg>.
- IMAGEN 64.** Openbuildings.com. [En línea] [http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building3543/media/Kiefer\\_technic\\_Ground\\_Floor.jpg](http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building3543/media/Kiefer_technic_Ground_Floor.jpg).
- IMAGEN 65.** Dailytonic.com. [En línea] <http://www.dailytonic.com/wp-content/uploads/2010/12/Ernst-Giselbrecht+Partner-ZT-Showroom-Kiefer-Technic-06.jpg>.
- IMAGEN 66.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] <http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-icd-itke/folie09.jpg>.
- IMAGEN 67.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke\\_rp13-14\\_process01.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke_rp13-14_process01.jpg).
- IMAGEN 68.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke\\_rp13-14\\_process07.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke_rp13-14_process07.jpg).
- IMAGEN 69.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] <http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-icd-itke/folie24.jpg>.
- IMAGEN 70.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke\\_rp13-14\\_process12.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke_rp13-14_process12.jpg).
- IMAGEN 71.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke\\_rp13-14\\_process16.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-process/icd-itke_rp13-14_process16.jpg).
- IMAGEN 72.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] <http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-icd-itke/folie16.jpg>.
- IMAGEN 73.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] <http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/rp2013-14-halbe/folie4.jpg>.
- IMAGEN 74.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd\\_research\\_pavilion\\_2010/pavilion\\_image\\_08.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd_research_pavilion_2010/pavilion_image_08.jpg).
- IMAGEN 75.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd\\_research\\_pavilion\\_2010/pavilion\\_image\\_04.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd_research_pavilion_2010/pavilion_image_04.jpg).
- IMAGEN 76.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd\\_research\\_pavilion\\_2010/pavilion\\_image\\_06.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd_research_pavilion_2010/pavilion_image_06.jpg).
- IMAGEN 77.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd\\_research\\_pavilion\\_2010/pavilion\\_image\\_17.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd_research_pavilion_2010/pavilion_image_17.jpg).
- IMAGEN 78.** lcd.uni-stuttgart.de. [En línea] [http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd\\_research\\_pavilion\\_2010/pavilion\\_image\\_07.jpg](http://icd.uni-stuttgart.de/wp-content/gallery/icd_research_pavilion_2010/pavilion_image_07.jpg).
- IMAGEN 79.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fd9f/c07a/8071/8e00/0008/large\\_jpg/13.jpg?1397685584](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fd9f/c07a/8071/8e00/0008/large_jpg/13.jpg?1397685584).
- IMAGEN 80.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe5b/c07a/805d/8a00/0009/large\\_jpg/04.jpg?1397685795](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe5b/c07a/805d/8a00/0009/large_jpg/04.jpg?1397685795).
- IMAGEN 81.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fcfe/c07a/801c/dd00/0003/large\\_jpg/08.jpg?1397685430](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fcfe/c07a/801c/dd00/0003/large_jpg/08.jpg?1397685430).
- IMAGEN 82.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe97/c07a/801c/dd00/0007/large\\_jpg/18.jpg?1397685900](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe97/c07a/801c/dd00/0007/large_jpg/18.jpg?1397685900).
- IMAGEN 83.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fd4d/c07a/8071/8e00/0007/large\\_jpg/02.jpg?1397685543](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fd4d/c07a/8071/8e00/0007/large_jpg/02.jpg?1397685543).
- IMAGEN 84.** Archdaily.com. [En línea] [http://images.adsttc.com/media/images/534e/fb66/c07a/801c/dd00/0002/original/GIF\\_11.gif?1397685087](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fb66/c07a/801c/dd00/0002/original/GIF_11.gif?1397685087).





- IMAGEN 85.** Archdaily.com. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe95/c07a/805d/8a00/000c/large\\_jpg/17.jpg?1397685899](http://images.adsttc.com/media/images/534e/fe95/c07a/805d/8a00/000c/large_jpg/17.jpg?1397685899).
- IMAGEN 86.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/5359/34a3/c07a/808a/7200/0004/large\\_jpg/Hanwha\\_Rendering\\_05.jpg?1398355098](http://images.adsttc.com/media/images/5359/34a3/c07a/808a/7200/0004/large_jpg/Hanwha_Rendering_05.jpg?1398355098).
- IMAGEN 87.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/5359/348e/c07a/808a/7200/0003/large\\_jpg/Hanwha\\_05.jpg?1398355081](http://images.adsttc.com/media/images/5359/348e/c07a/808a/7200/0003/large_jpg/Hanwha_05.jpg?1398355081).
- IMAGEN 88.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/5359/3489/c07a/8035/6b00/0003/large\\_jpg/Hanwha\\_06.jpg?1398355076](http://images.adsttc.com/media/images/5359/3489/c07a/8035/6b00/0003/large_jpg/Hanwha_06.jpg?1398355076).
- IMAGEN 89.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/5359/3483/c07a/8035/6b00/0002/large\\_jpg/Hanwha\\_07.jpg?1398355070](http://images.adsttc.com/media/images/5359/3483/c07a/8035/6b00/0002/large_jpg/Hanwha_07.jpg?1398355070).
- IMAGEN 90.** Plataformaarquitectura.cl. [En línea]  
[http://images.adsttc.com/media/images/5359/3494/c07a/8052/7100/0002/large\\_jpg/Hanwha\\_04.jpg?1398355086](http://images.adsttc.com/media/images/5359/3494/c07a/8052/7100/0002/large_jpg/Hanwha_04.jpg?1398355086).
- IMAGEN 91.** Pinterest.com. [En línea] <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/59/a6/8d/59a68dc8a73dd608c5782efbd4050aad.jpg>.
- IMAGEN 92.** Panaust.com.au. [En línea] [http://www.superopticalz.com/img\\_product/photolens1.jpg](http://www.superopticalz.com/img_product/photolens1.jpg).
- IMAGEN 93.** Spanish.alibaba.com. [En línea] <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1FbdJXXXXXaeXXXXXq6xXFXXd/Prima-electrochromic-glass-for-interior-design.jpg>.
- IMAGEN 94.** De.aliexpress.com. [En línea] <https://www.aliexpress.com/item-img/self-adhesive-electric-tint-film/32302180223.html?spm=a2g0x.10010108.1000017.2.4328209dVy3B63>.
- IMAGEN 95.** Issuu.com. [En línea] [https://issuu.com/mattadler/docs/madler\\_thesismidsemeseter\\_f13](https://issuu.com/mattadler/docs/madler_thesismidsemeseter_f13).
- IMAGEN 96.** *Modelo genérico base para el estudio de iluminación al interior del espacio arquitectónico.* . : El autor.
- IMAGEN 98.** *Elevación frontal de fachada genérica y su ventana, para análisis de distribución de luz diurna en el espacio interior arquitectónico.* . : El autor.
- IMAGEN 97.** *Construcción paramétrica para los cálculos lumínicos en ambos casos de estudio.* . : El autor.
- IMAGEN 99.** *Captación de luz mediante los paneles.* . : El autor.
- IMAGEN 100.** *Panel definido para fachada cinética y eje de giro.* . : El autor.
- IMAGEN 100a.** *Fachada cinética separada de la estructura del espacio interior de oficina.* . : El autor.
- IMAGEN 101.** *Grupos de paneles según el eje "y".* . : El autor.
- IMAGEN 101a.** *Ilustraciones de la conformación de la fachada cinética.* . : El autor.
- IMAGEN 101b.** *Ilustraciones de la conformación de la fachada cinética.* . : El autor.
- IMAGEN 101c.** *Ilustraciones de la conformación de la fachada cinética.* . : El autor.
- DIAGRAMA #1.** *Diseño cinético en la Arquitectura (principios mecánicos y tecnológicos).*
- DIAGRAMA #2.** *Conceptos y diferencia entre luminancia e iluminancia.*
- DIAGRAMA #3.** *Síntesis metodológica a seguir para la construcción de un sistema cinético.*
- TABLA #1.** *Factores de luz diurna / iluminancia.*
- TABLA #2.** *Niveles de luz comunes en exterior de fuentes naturales.*
- TABLA #3.** *Niveles de iluminación recomendados según la NEC.*
- TABLA #4.** *Iluminación mínima en ambientes asistenciales y educacionales.*
- TABLA #5.** *Desarrollo del sistema arquitectónico cinético.*



# ANEXOS

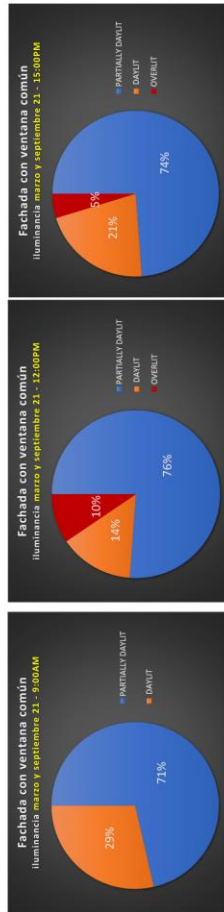
## Cuadros tabulados según iluminancia para análisis en fachada con ventana común

### FACHADA CON VENTANA COMÚN

#### EQUINOCCIOS

##### MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21

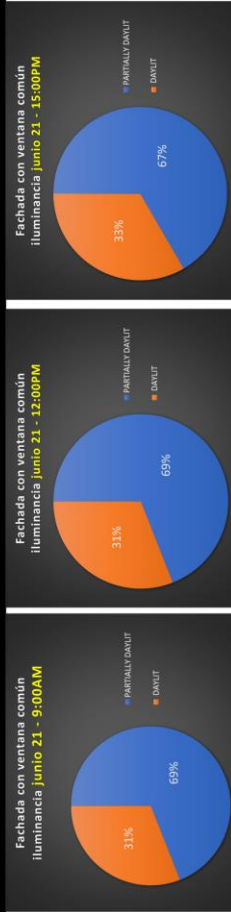
9:00 a. m.	12:00 p. m.	15:00 p. m.
cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>
PARTIALLY DAVUIT 12	PARTIALLY DAVUIT 32	PARTIALLY DAVUIT 31
DAVUIT 1	DAVUIT 6	DAVUIT 3
OVERLIT 0	OVERLIT 0	OVERLIT 2



#### SOLSTICIOS

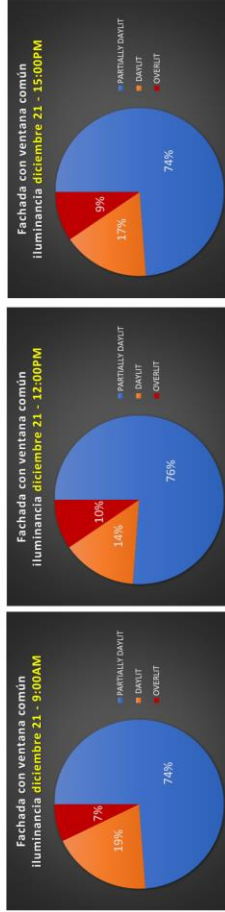
##### JUNIO 21

9:00 a. m.	12:00 p. m.	15:00 p. m.
cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>
PARTIALLY DAVUIT 29	PARTIALLY DAVUIT 13	PARTIALLY DAVUIT 29
DAVUIT 1	DAVUIT 13	DAVUIT 13
OVERLIT 0	OVERLIT 0	OVERLIT 0



##### DECEMBRE 21

9:00 a. m.	12:00 p. m.	15:00 p. m.
cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>	cuadrante en piso según c/m <sup>2</sup>
PARTIALLY DAVUIT 31	PARTIALLY DAVUIT 32	PARTIALLY DAVUIT 31
DAVUIT 8	DAVUIT 6	DAVUIT 7
OVERLIT 0	OVERLIT 0	OVERLIT 0







**EQUINOCCIOS MARZO 21 Y SEPTIEMBRE 21  
9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	+15	+15	0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+60	+45	+45	+30	+30	+15	+15	15		0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10

**12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45
+45	+45	+45	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-30	-30	-30	-45	-45	-45

**15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-50	-50	-50	-60	-60	-60



**SOLSTICIO JUNIO 21**  
**9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+60	+50	+50	+50	+50	+40	+30	+30	+30	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10

**12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35
+35	+35	+35	+25	+25	+25	+10	+10	+10	0	0	0	-10	-10	-10	-25	-25	-25	-35	-35	-35

**15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50
+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	-30	-30	-30	-40	-40	-40	-50	-50	-50



**SOLSTICIO DICIEMBRE 21  
9AM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10
+80	+70	+70	+60	+60	+60	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+10	+10

**12PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

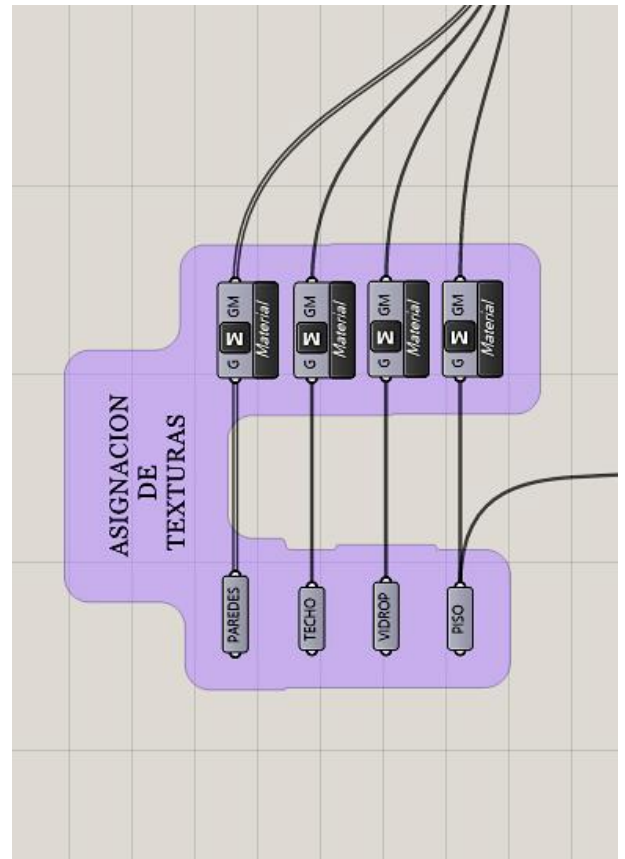
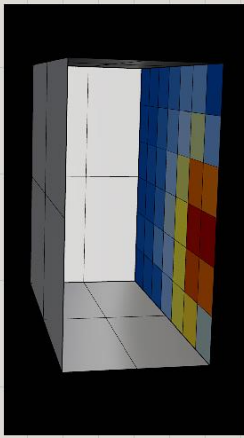
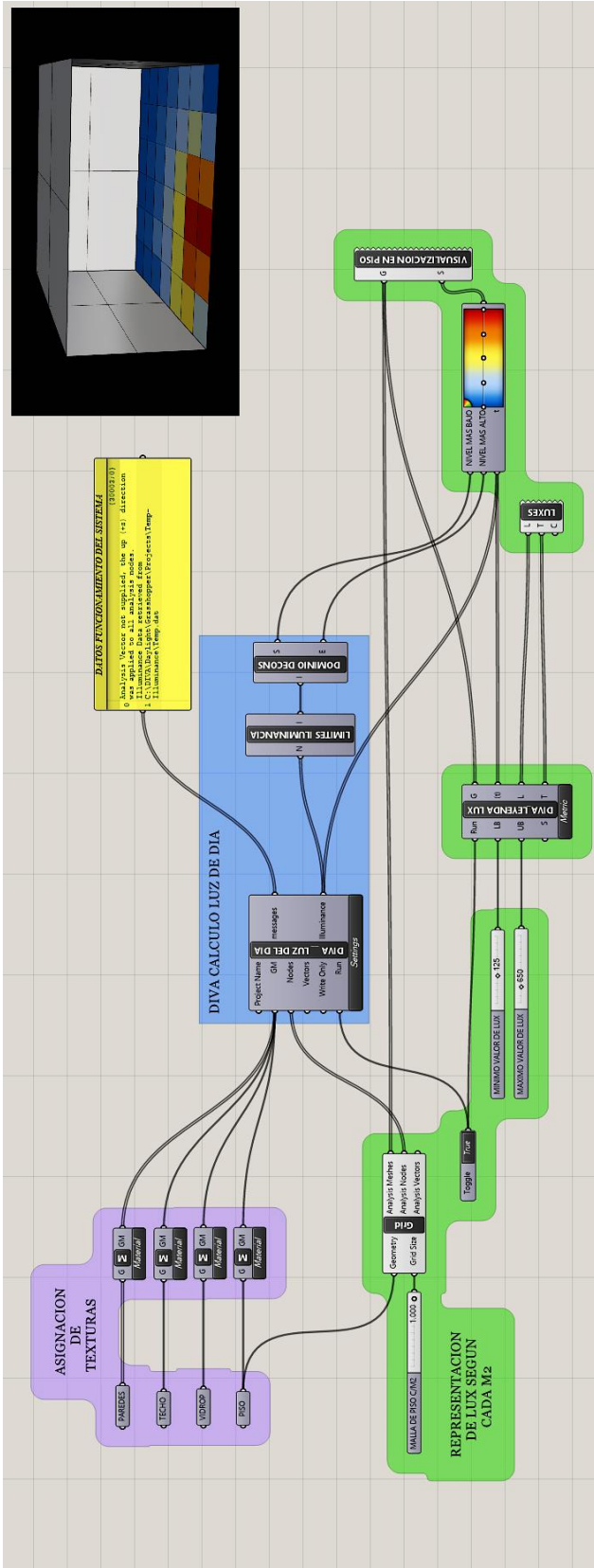
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45
+50	+50	+50	+30	+30	+30	+15	+15	+15	+10	0	-10	-15	-15	-15	-35	-35	-35	-45	-45	-45

**15PM MEJORES RESULTADOS DE ROTACIÓN EN PANELES CINÉTICOS**

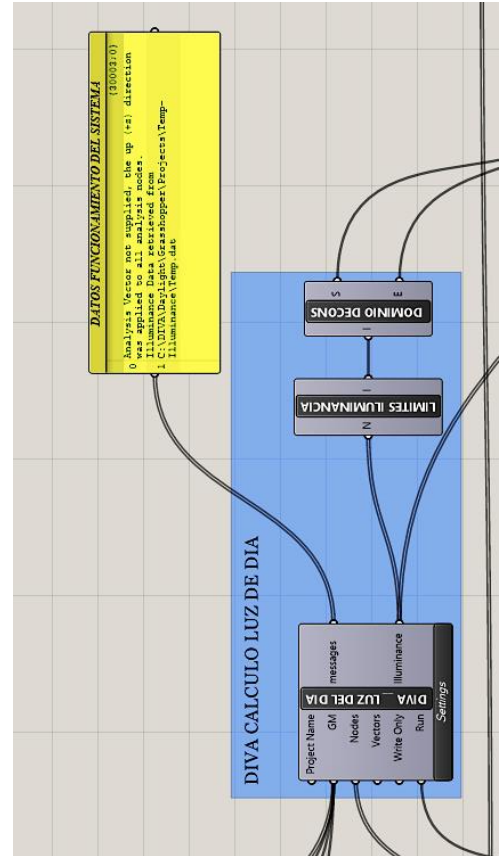
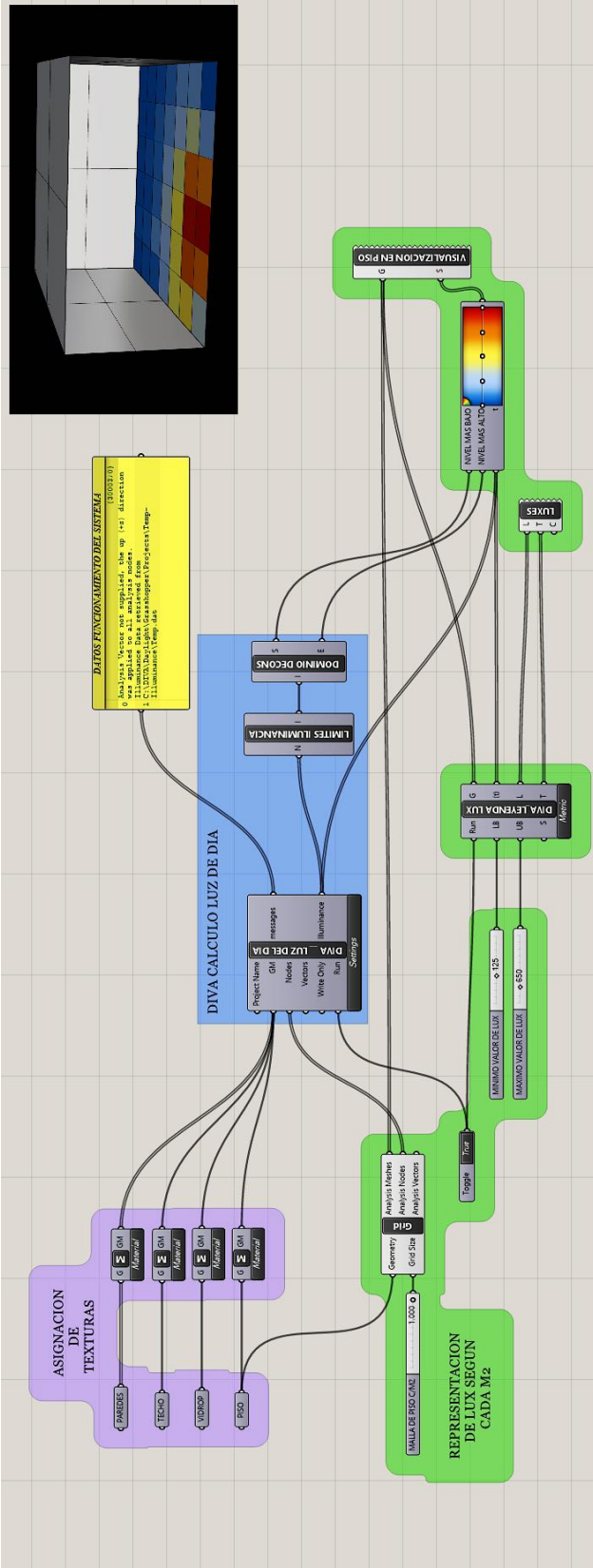
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85
0	0	0	-20	-20	-20	-35	-35	-35	-45	-45	-45	-60	-60	-60	-70	-70	-70	-80	-80	-85



DIVA – GRASSHOPPER construcción paramétrica para los análisis luminicos



DIVA – GRASSHOPPER construcción paramétrica para los análisis lumínicos





DIVA – GRASSHOPPER construcción paramétrica para los análisis luminicos

