



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

En busca de una interpretación moderna de los sistemas
pasivos locales como mejora de la sostenibilidad en
arquitectura

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Martínez Beguer, Jordi

Tutor/a: Vidal Climent, Ciro Manuel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

**En busca de una interpretación moderna de los sistemas pasivos locales como
mejora de la sostenibilidad en arquitectura**

Autor: Jordi Martínez Beguer

Trabajo Final de Grado

Tutor: Ciro Manuel Vidal Climent

Universitat Politècnica de València

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Curso 2022-2023

RESUMEN

Los distintos avances tecnológicos del s. XX han permitido una mejora creciente del confort interior en los edificios. El uso de los sistemas mecánicos ha permitido una arquitectura exportable a casi todo tipo de clima. Sin embargo esta capacidad no ha ido en paralelo a una preocupación por lo local, por lo que se hace necesaria una mirada más atenta a los sistemas tradicionales que emplean soluciones a la vez masivas y ligeras enfocadas a un menor coste de implantación, funcionamiento y mantenimiento. Para esta búsqueda de un confort basado en principios pasivos en los edificios se va a rescatar el enfoque de Louis I. Kahn y Hassan Fathy desde el hilo conductor de la modernidad, así como la figura del Pritzker Francis Keré como referente de las propuestas contemporáneas de mayor relevancia en la actualidad.

PALABRAS CLAVE

Técnicas de construcción locales; sistemas pasivos; confort interior; sostenibilidad; clima local

ABSTRACT

The different technological advances of the 20th century have allowed for a continuous improvement of indoor comfort in buildings. The use of mechanical systems has enabled an architecture that can be applied in almost any type of climate. However, this capacity has not been accompanied by a concern for the local context, in which it is necessary to pay closer attention to traditional systems that employ both massive and lightweight solutions focused on reducing implementation, operation, and maintenance costs. In the search for a comfort based on passive principles in buildings, the approaches of Louis I. Kahn and Hassan Fathy will be revisited, as the thread of modernity, as well as the figure of Pritzker prize Francis Keré, who represents the most relevant contemporary proposals today.

KEY WORDS

Local construction techniques; passive systems; interior comfort; sustainability; local climate

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen	03
Introducción	09
Objetivos	11
Metodología de trabajo	11
Motivaciones	12
Estudio de los sistemas pasivos en la arquitectura: Tradicional, moderna y contemporánea	15
Introducción a los sistemas pasivos para la obtención de confort	17
El factor solar	18
El viento y el sol, principios del enfriamiento pasivo	19
Análisis de referentes	21
Hassan Fathy, el estudio y la recuperación de los siste- mas tradicionales	23
Sistemas pasivos de protección frente al sol	25
Sistemas pasivos de enfriamiento	28
Louis Kahn, el sistema pasivo como elemento coherente	33
Embajada americana en Luanda, Angola	35
Sistemas pasivos de protección frente al sol	36
Sistemas pasivos de enfriamiento	37
Instituto Indio de Administración en Ahmedabad, India	38
Sistemas pasivos de protección frente al sol	39
Sistemas pasivos de enfriamiento	40
Francis Kéré, el empleo contemporáneo de los sistemas pasivos	42
La obra de Kéré en Gando y Burkina Faso	43
Sistemas pasivos de protección frente al sol	44
Sistemas pasivos de enfriamiento	46
Conclusiones	47
Bibliografía	48
Relación de imágenes empleadas	50

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el estudio y la comprensión del uso de los sistemas pasivos de confort en la arquitectura, con el fin de una vez obtenido este conocimiento tener la capacidad de generar nuevas soluciones pasivas implementables en la arquitectura contemporánea.

El interés por esta cuestión surge ante el contexto actual, el evidente cambio climático y el notable aumento de las temperaturas. Ante esta situación, se ve interesante estudiar cómo la arquitectura puede mitigar y controlar los efectos del clima sobre el confort de los usuarios, de manera pasiva, sin consumo de energía y de la manera más sostenible.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la realización de este trabajo, se ha comenzado con un análisis de las motivaciones que llevan a querer estudiar esta cuestión, el uso de sistemas pasivos de confort como mejora de la sostenibilidad en la arquitectura. A continuación, se ha estudiado en qué consisten estos sistemas y cuáles son las fuerzas y principios que hacen que estos funcionen. Una vez sentadas estas bases, se han analizado la presencia de estos sistemas en diferentes obras de arquitectos de referencia así como soluciones relevantes de la arquitectura tradicional.

MOTIVACIONES

Actualmente, nos encontramos en una situación de emergencia climática. Debido a una serie de factores, principalmente de carácter humano, se está experimentando un aumento generalizado de las temperaturas en el planeta, que tienen como consecuencia variaciones en los patrones climáticos. Esta situación, altera el equilibrio natural existente en un entorno incapaz de adaptarse a tan rápido cambio, lo que produce sequías intensas, escasez de agua, incendios cada vez más extensos, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielo de glaciares, tormentas de mayor intensidad y disminución de la biodiversidad, entre otros.

El aumento en las temperaturas, que hasta ciertos niveles puede ser de manera natural debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas importantes, se ha visto impulsado por la actividad humana, desde que se inició la revolución industrial, a partir de la cual ha ido aumentando de forma continua la quema de combustibles fósiles, como carbón, petróleo o gas, lo cual produce emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El efecto invernadero mantiene la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un aumento de la temperatura a nivel global. Si bien este fenómeno ha ocurrido otras veces de forma natural en el planeta, por ejemplo cuando acabó la última glaciación, en la actualidad el aumento de temperatura es el principal desencadenante de los desequilibrios naturales mencionados anteriormente.



Fig.00 Fenómenos atmosféricos inusuales como consecuencia del cambio climático. La dana en España y sus efectos, en imágenes. El País.

En este contexto, la arquitectura y el sector de la construcción tienen un papel fundamental. Desde el WGBC (World Green Building Council) apuntan que el entorno construido es responsable del 40% de las emisiones de CO₂, 50% de la extracción de materiales, 33% del consumo del agua y 35% de los residuos generados. De cara al futuro debido al incremento previsto de población, se espera que las consecuencias negativas asociadas a este solo hagan que aumenten.

Estos datos evidencian que actualmente la arquitectura y el sector de la construcción, son uno de tantos sectores con modelos de funcionamiento que históricamente han soslayado la atención a los criterios de sostenibilidad. Ante esto surge un objetivo, que deberá ser la principal fuerza en el desarrollo de la arquitectura de nuestro tiempo, el desarrollo de un entorno construido y una arquitectura más sostenible.

Instituciones como el WGBC, han aproximado esta cuestión tomando como referencia la huella de carbono (indicador de emisiones de gases de efecto invernadero, medido en masa de CO₂ equivalente) a lo largo del ciclo de vida de una arquitectura, con el objetivo de reducir esta al máximo. En esta visión, se diferencia entre huella de carbono incorporado y huella de carbono operacional. El primero, asociado a la arquitectura en sí, la generada en su proceso de construcción y en la obtención de los materiales para esta. El segundo, vinculado al consumo en el periodo de vida del edificio, iluminación, climatización y energía del mismo.

En este trabajo, se va a reflexionar sobre cómo el buen diseño en la arquitectura, puede ayudar a reducir la huella de carbono operacional. Como el uso de sistemas pasivos puede resolver de manera eficiente el confort interior en la arquitectura, es posible evitar soluciones excesivamente dependientes de sistemas activos de acondicionamiento, sistemas mecánicos, que incrementan la huella de carbono operacional.

Los sistemas pasivos aprovechan las energías naturales para generar espacios confortables. Son soluciones que surgen del conocimiento profundo del lugar y su clima, siendo muy interesante la respuesta de la arquitectura a estos inputs así como la sensibilidad del arquitecto. Se estudiarán estas soluciones en contextos climáticos cálidos, principalmente debido a la actual situación de cambio climático en la que existe un alarmante cambio hacia temperaturas más altas, ante lo que resulta esclarecedor revisar cómo las referencias seleccionadas de Hassan Fathy, Louis I. Kahn y Francis Keré han respondido a estas condiciones.

Fathy nos permite una mirada a las arquitecturas tradicionales mediante su obra "Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates". De Kahn, se estudiarán el proyecto de la Embajada americana en Luanda, Angola y el Instituto indio de administración, en Ahmedabad, India. Keré, nos aportará un enfoque contemporáneo, revisando algunas de las obras de su natal Gando, Burkina Faso.

**ESTUDIO DE LOS SISTEMAS PASIVOS EN LA ARQUITECTURA:
TRADICIONAL, MODERNA Y CONTEMPORÁNEA**

Introducción a los sistemas pasivos para la obtención de confort:

Como se ha mencionado previamente, los sistemas pasivos de confort, son sistemas que aprovechan las energías naturales para generar confort. En cuanto a las energías naturales, estas hacen referencia a las fuerzas presentes en el clima, sol, lluvia, nieve, viento que afectan directamente a la arquitectura.

Para poder implementar estos sistemas en un proyecto, el arquitecto deberá identificar el microclima donde se inserta, buscando conocer con la mayor profundidad cuales son aquellas fuerzas naturales con las que tendrá que trabajar para desarrollar la mejor arquitectura posible y en la que se puedan conseguir las condiciones de habitabilidad del espacio deseadas, iluminación, temperatura, ventilación y humedad.

Esta sensibilidad en el proceso de diseño permitirá la obtención de espacios confortables de forma totalmente pasiva o con baja dependencia de medios mecánicos para la obtención de confort.

Este trabajo estará dirigido a un contexto climático concreto, los climas cálidos. En estos, el arquitecto deberá trabajar principalmente dos cuestiones, la protección frente al calor y medidas para el enfriamiento, siendo especialmente relevantes las variables climáticas del sol y el viento.

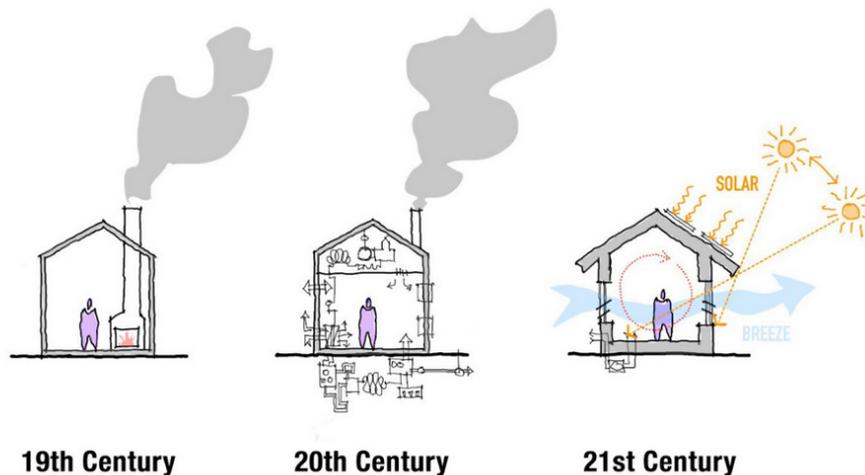


Fig.01 Evolución de la vivienda. Kevin Hui, 2021.

A continuación se explicarán los principios que hacen que estas soluciones funcionen:

El factor solar:

En climas cálidos el sol es la principal fuente de calor. En el proceso de diseño es muy relevante que el arquitecto tenga conocimiento en todo momento de la posición del sol. Si se trabaja en un entorno urbano, se ha de conocer como el sol actúa sobre el contexto existente y como es el microclima resultante. El estudio del sol, es una gran herramienta que informa y guía al arquitecto, por lo que hay que tenerlo en cuenta en la elección de las orientaciones y en la ubicación de huecos.



Fig.02 Análisis solar en el proyecto de arquitectura. Estudio del recorrido solar y horas de exposición solar en el proyecto Greenhouse in Vardo. Elaboración propia.

En cuanto al confort, el sol tiene un papel fundamental, aporta iluminación y calor. Como norma general, se buscará que éste ilumine, pero para controlar la temperatura interior, se estudiará la incidencia directa de sus rayos. En los meses cálidos, se evitará a toda costa la incidencia directa del sol, lo que contribuiría a un ambiente aún más cálido. En los meses fríos, la incidencia del sol puede ser deseada, contribuyendo al confort interior.

Otro aspecto muy relevante en la arquitectura en estos climas es la envolvente, que separa el exterior del interior. Debido a la intensidad solar, la materialidad es un aspecto muy relevante en el aislamiento contra el calor y el acondicionamiento interior. Son deseables envolventes que permitan el mantenimiento de temperaturas de confort estables. El arquitecto prestará especial atención a la envolvente y su materialización, teniendo en cuenta los valores de transmitancia térmica de los materiales que la componen, así como de su inercia térmica conjunta.

Tan importante como la envolvente, que cierra y delimita el espacio interior, es su opuesto, el hueco, que abre y permite relacionar el espacio interior con el exterior. Supone un elemento fundamental para la habitabilidad del espacio, permite la entrada de luz, de aire fresco y la visión interior - exterior. Sin embargo en climas cálidos, estos suponen una dificultad para el acondicionamiento. La arquitectura responde generando soluciones que discriminan las distintas funciones del hueco para cuidar esta relación interior - exterior.

El viento y el sol, principios del enfriamiento pasivo:

En el contexto de los climas cálidos, el enfriamiento de espacios es una misión compleja. Si bien, es posible, mediante el cuidado de la envolvente, tratando que esta mantenga una temperatura de confort estable y mediante soluciones pasivas, que involucrando las fuerzas del viento y el sol, mantengan el aire en movimiento. Así se generan corrientes por convección que evitan que el aire que ocupa un espacio quede parado, se caliente y gane humedad. Es fundamental conocer los patrones en el viento local y en el efecto de este en el contexto urbano si se desea aprovechar el viento para generar corrientes y movimientos de aire.

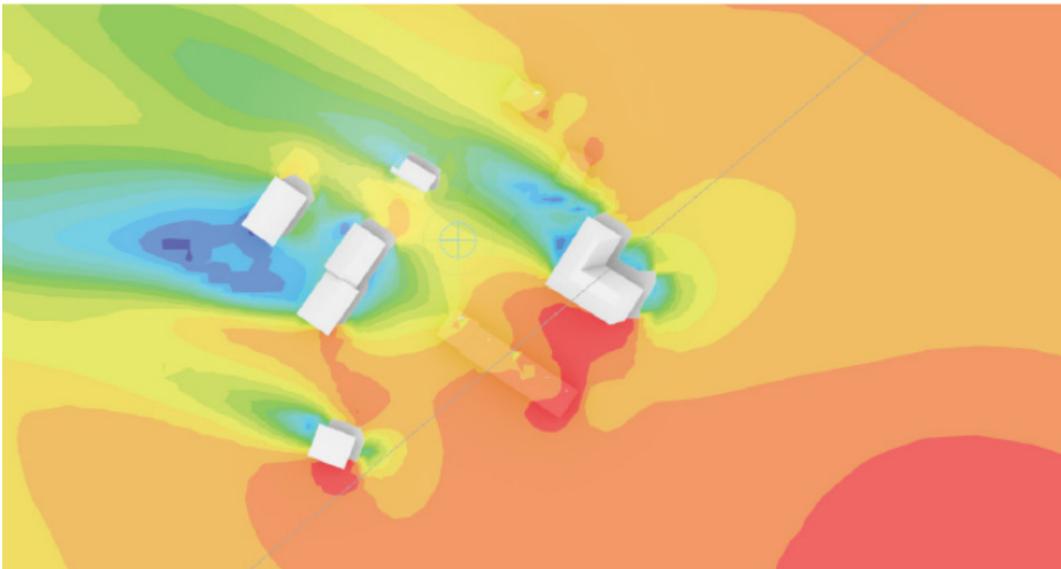


Fig.03 *Análisis de viento en el proyecto de arquitectura. Estudio del efecto del viento en el microclima urbano en el proyecto Greenhouse in Vardo. Elaboración propia.*

El movimiento natural del aire podrá ser obtenido de manera pasiva por la propia arquitectura, mediante un buen diseño que aproveche dos principios básicos para el movimiento del aire, por diferencias de presión y por el fenómeno de la convección.

El primero, por diferencias de presión, son debidas a cómo el viento circulando a gran velocidad se relaciona con la arquitectura, identificando, captando y canalizando el viento incidente. Para ser aplicado, se ha de tener nuevamente conocimiento del clima local y en especial sobre los vientos predominantes.

Este concepto se basa en el efecto Venturi y el movimiento del aire de zonas de mayor a menor presión. Al canalizar el viento este aumenta su velocidad y genera un descenso en su presión. La baja presión atraerá a volúmenes de aire a mayor presión y por lo tanto a menor velocidad, como pueden ser un aire estático a presión atmosférica, que se verá atraído y succionado por la corriente de aire a mayor velocidad. Este concepto puede ser usado en variedad de formas para generar corrientes estables de aire a través de espacios.

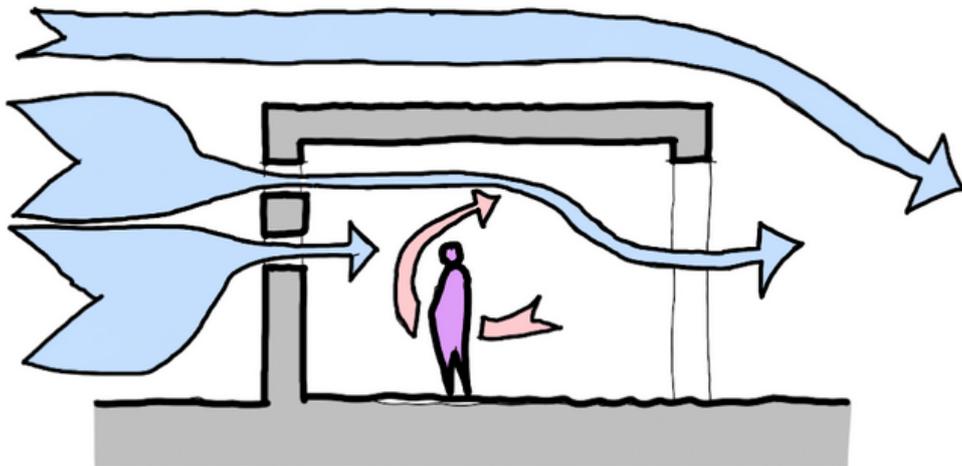


Fig.04 Diagrama explicativo, del efecto del viento en la arquitectura por el efecto venturi y la diferencia de presiones. Elaboración propia.

El segundo principio, la convección, consiste en el movimiento natural del aire debido a su temperatura, según la cual varía su densidad. El aire cálido es menos denso y sube, mientras que uno más frío es más denso y baja. Dado este fenómeno y una fuente de calor constante, se puede establecer un flujo continuo de aire en movimiento.

En la arquitectura tradicional se ha aprovechado este efecto para generar soluciones que usan una superficie calentada por la radiación solar como fuente de calor. Siempre que exista un volumen de aire fresco, cuanto más cálida sea la superficie que actúa como fuente de calor, mayor será la corriente de aire generada.

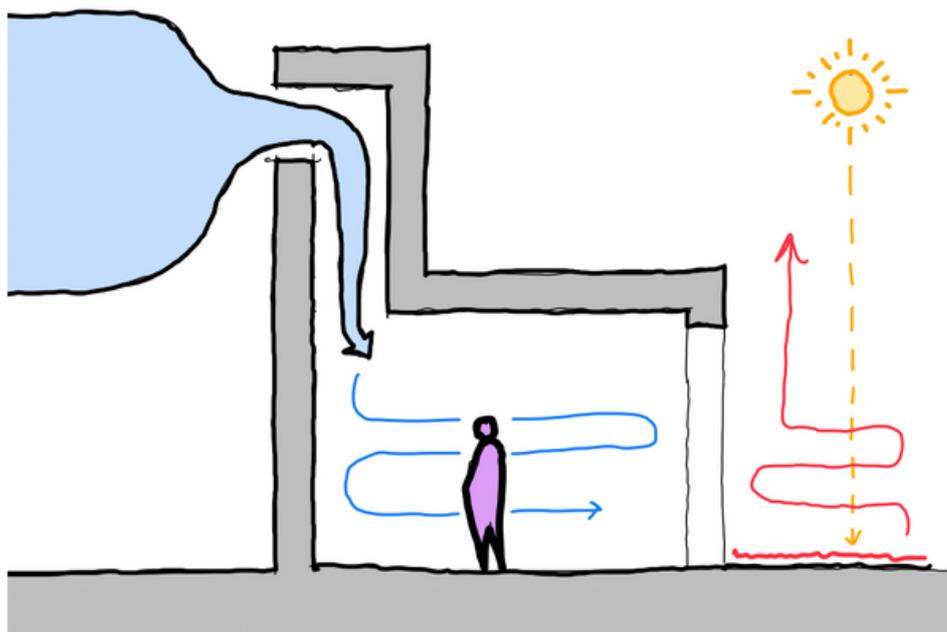


Fig.05 Diagrama explicativo del movimiento del aire interior por convección, diferencias de temperatura. Elaboración propia.

ANÁLISIS DE REFERENTES

En este capítulo, una vez explicados los principios que hacen que los sistemas pasivos de confort funcionen, se van a analizar ejemplos, casos prácticos de estos sistemas, empleados por los referentes de estudio tomados para este trabajo.

Hassan Fathy, el estudio y la recuperación de los sistemas tradicionales:



Fig.06 (Izq.) Hassan Fathy impartiendo clase circa 1985. *The architectural review*.

Hassan Fathy (Alejandría, 1900 - El Cairo, 1989), fue el más relevante arquitecto egipcio del siglo XX. Fathy crece y se forma en un Egipto colonial, bajo la influencia británica, en un contexto en el que los intelectuales egipcios se interesan por sus raíces culturales propias, egipcias y árabes. A lo largo de su carrera, Fathy buscará una arquitectura y un urbanismo, que encuentre de nuevo la arabité (identidad cultural árabe), que considera perdida.

A lo largo de su carrera, Fathy crea una obra respetuosa con el contexto local, influenciada directamente por la arquitectura vernácula y que es capaz de expresar esta arabité. En su carrera, diseña más de 170 proyectos, de entre los cuales destacan el desarrollo de dos pequeños asentamientos, Nueva Gourná (1945) y Nueva Baris (1967). Entre 1957 y 1965, vive y trabaja en Atenas, colaborando con el arquitecto griego Constantinos Dioaxidis, trabaja en grandes proyectos de urbanismo, destacando el Máster Plan de la nueva capital de Pakistán, Islamabad. Los aprendizajes de este periodo, le ayudan en el desarrollo del proyecto para Nueva Baris.

Hacia el final de su carrera, Fathy se dedica a la construcción de villas unifamiliares, para familias acaudaladas egipcias, que aprecian la puesta en valor de la cultura árabe. En sus últimos años se dedicó a la escritura, dejando libros de referencia. Entre estos, uno de especial importancia para el desarrollo de este trabajo, que trata los principios de los sistemas pasivos y su presencia en la arquitectura vernácula, "Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates", 1986.

A continuación, se analizarán sistemas pasivos propios de la arquitectura tradicional en el ámbito de los climas cálidos identificados en la obra escrita mencionada previamente, así como la presencia de estos en la arquitectura proyectada por el propio Fathy.

En cuanto a las soluciones tradicionales, cuya revisión es importante, Fathy apuntaba esto, “estas soluciones de éxito, no surgen de una deliberación científica razonada. Surgen de innumerables pruebas, errores y la experiencia de generaciones de constructores que adoptaron aquellas soluciones que funcionaban y desecharon las que no”. (*Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*)



Fig.07 (izq.) Fathy, junto a sus compañeros en Atenas trabajando para Dioaxidis, circa 1945.
The architectural review.

Sistemas de pasivos de protección frente al sol

El tratamiento de la envolvente , la masa:

La primera solución a destacar puede parecer obvia, pero es muy relevante. En el tratamiento de la envolvente, tal y como se mencionaba en la introducción, resulta fundamental la elección de la materialidad por las propiedades de inercia y aislamiento que ésta pueda aportar.

En la arquitectura tradicional propia de los climas cálidos, el material por excelencia ha sido el adobe. Este material aplicado a la arquitectura mediante muros de espesor considerable, de aproximadamente 50 cm, se ha demostrado muy eficiente, además de ser un material accesible para todos los segmentos de la población.

Estos muros son especialmente efectivos amortiguando los efectos de la radiación solar. Gracias a su densidad y a su espesor, la transmisión de la energía del sol a través del muro se ralentiza y reduce retardando varias horas el efecto de la radiación incidente en la cara exterior sobre la cara interior del muro.

Esta característica permite a estos muros absorber calor durante el día, manteniendo un interior a temperatura estable y, durante la noche, al bajar las temperaturas exteriores, empezar a emitir hacia el interior el calor absorbido, generando confort. Una vez comienza de nuevo la exposición solar, el muro se habrá enfriado y será capaz de empezar de nuevo el proceso.

El uso de la masa, es muy relevante para poner constantemente de manifiesto las ventajas de este material, por su cualidades térmicas, su disponibilidad en el entorno local y por la familiaridad de su uso entre la población local. Fathy emplea el muro de adobe como principal material en sus obras de Nueva Gourná y Nueva Baris, así como en otras de menor entidad.



Fig.08 Fachada suroeste del mercado de Nueva Baris. *Architectural Review*.

El tratamiento del hueco, la Mashrabiya:

La Mashrabiya es un sistema de filtro del hueco mediante celosía de madera. Está compuesta de barras de sección circular, a través de las cuales se produce el paso de luz y aire. El resultado de esta disposición responde a criterios climáticos y de identidad local, pues tiene un valor estético, como una impronta identificativa.

Este sistema resuelve 5 funciones. Controlar y tamizar el paso de la luz y la ventilación, reducir la temperatura del aire en movimiento, aumentar la humedad del aire y obtener privacidad de vistas.

El control de la luz se realiza variando la amplitud de los intersticios de la celosía. La celosía está compuesta de barras de sección circular, lo cual ayuda a suavizar el destello producido por la luz que pasa en contraste con la sombra producida por estos.

Para controlar al máximo el problema de destello, a la altura del ojo humano, se reduce considerablemente el espacio intersticial. Para contrarrestar el oscurecimiento, por encima del nivel del ojo humano, se amplía el espacio intersticial, permitiendo la iluminación desde la parte superior del espacio. Este mayor tamaño de hueco ayuda en la ventilación, ya que facilita la evacuación del aire caliente que se acumula en la parte alta de las estancias.

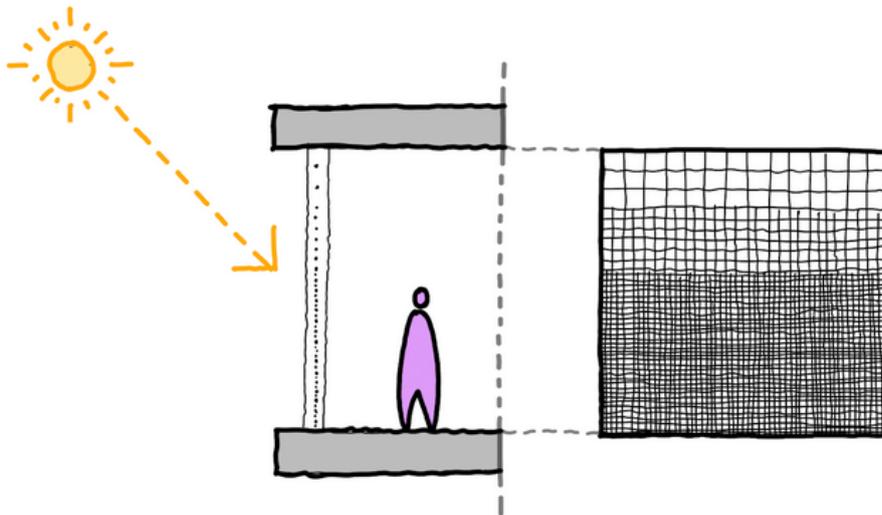


Fig.09 La mashrabiya, en sección y alzado. *Elaboración propia.*

Las funciones de enfriamiento y humidificación, se deben al propio material de la mashrabiya, la madera., pues ésta es capaz de captar la humedad del aire que pasa, en el caso del aire fresco nocturno. Durante el día, al estar expuesta al sol, esta humedad se libera y el aire más cálido y seco del día queda refrescado y humidificado.

En cuanto a la privacidad, debido a la mayor luminosidad exterior, este sistema produce el efecto de un tamiz que evita la vista del interior desde el exterior, mientras que si permite la visión del interior hacia el exterior.

La doble cubierta:

La cubierta es un elemento especialmente sensible a la radiación solar, pues no se considera amortiguación de la radiación, como sí ocurre con las orientaciones de las fachadas. Al estar completamente expuesta a la incidencia solar por conducción puede condicionar significativamente el confort en el nivel inmediatamente inferior. Para evitar este fenómeno, sistemas desarrollados en la arquitectura tradicional generan una cámara de aire entre una primera cubierta ligera y otra de mayor espesor. La primera actúa como barrera ante la intensa radiación solar y la segunda, de mayor espesor actúa como continuación de la envolvente.

En la arquitectura tradicional esta solución tomaba forma mediante la creación de logias o galerías abiertas con cubiertas ligeras, teniendo la doble función de aportar sombra durante el día y un espacio confortable durante la noche.

Otro aspecto a tener en cuenta es la forma de la cubierta, principalmente la que actúa como primera barrera contra la radiación solar. Una cubierta plana recibe radiación solar directa de manera continuada a lo largo del día. Cubiertas inclinadas o arqueadas suponen diseños más eficientes. Estas disponen de una mayor superficie para repartir la radiación solar, pudiendo existir áreas de esta que, en función del momento del día, no estarán afectadas por la radiación solar. También, debido a su forma, permiten generar espacios ventilados de cierta altura, alejando la acumulación de aire caliente del espacio habitado.

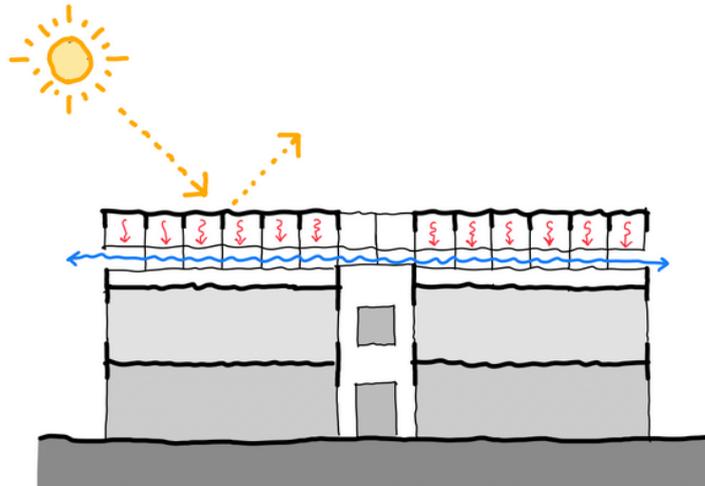


Fig.10 Las corrientes y la protección del sol en la doble cubierta. *Elaboración propia.*

Sistemas pasivos de enfriamiento:

Malqaf:

El Malqaf es un sistema de ventilación pasiva propio de las arquitecturas de climas cálidos. Este sistema mejora uno de los cometidos del hueco, la ventilación, y la lleva a cabo sin introducir de manera inapropiada radiación solar ni deslumbramiento. Consiste en un conducto que se eleva por encima del volumen de la arquitectura, y mediante una abertura hacia la dirección predominante del viento, captura aire fresco. Es un recurso especialmente útil para captar corrientes de viento en contextos urbanos densos.

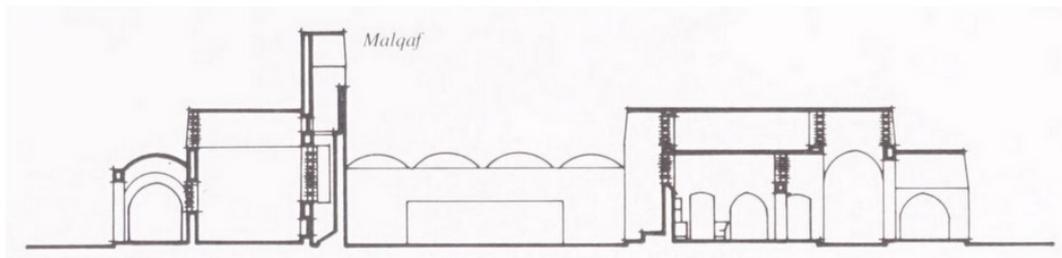


Fig.11 Sección Mercado de Nueva Baris, Hassan Fathy. Fathy, H. (1986). *Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates.*



Fig.12 Mercado de Nueva Baris, Hassan Fathy. Fotografía de Chant Avedissian

El Malqaf, como tal, hace referencia al sistema de captación de viento, el cual introduce aire fresco a una velocidad considerable. Este aire, combinado con otros huecos y sistemas, permite generar corrientes estables que ayudan a disipar el calor y mantener el confort.

Es el caso del Qa'a, un espacio para la recepción de visitas, propio de la vivienda tradicional egipcia. Está compuesto por tres espacios, un espacio central, llamado Dur-qa'a, de mayor altura, con aberturas en celosía al llegar a su cubierta y dos espacios de menor altura a cada lado, en una de los cuales hay un Malqaf.

Este sistema combinado funciona debido a la entrada constante de aire fresco a través del Malqaf, que desciende hasta la parte habitada del espacio, generando confort para los usuarios debido al constante movimiento del aire. En el Dur-qa'a, se produce la extracción de aire, de modo que la circulación de aire es continua. Por convección, el aire caliente, menos denso, asciende hasta la parte alta del Dur-qa'a y escapa por las celosías en su parte alta junto a la cubierta, generando así un flujo constante de aire que ayuda a mantener una temperatura uniforme dando una sensación de confort.

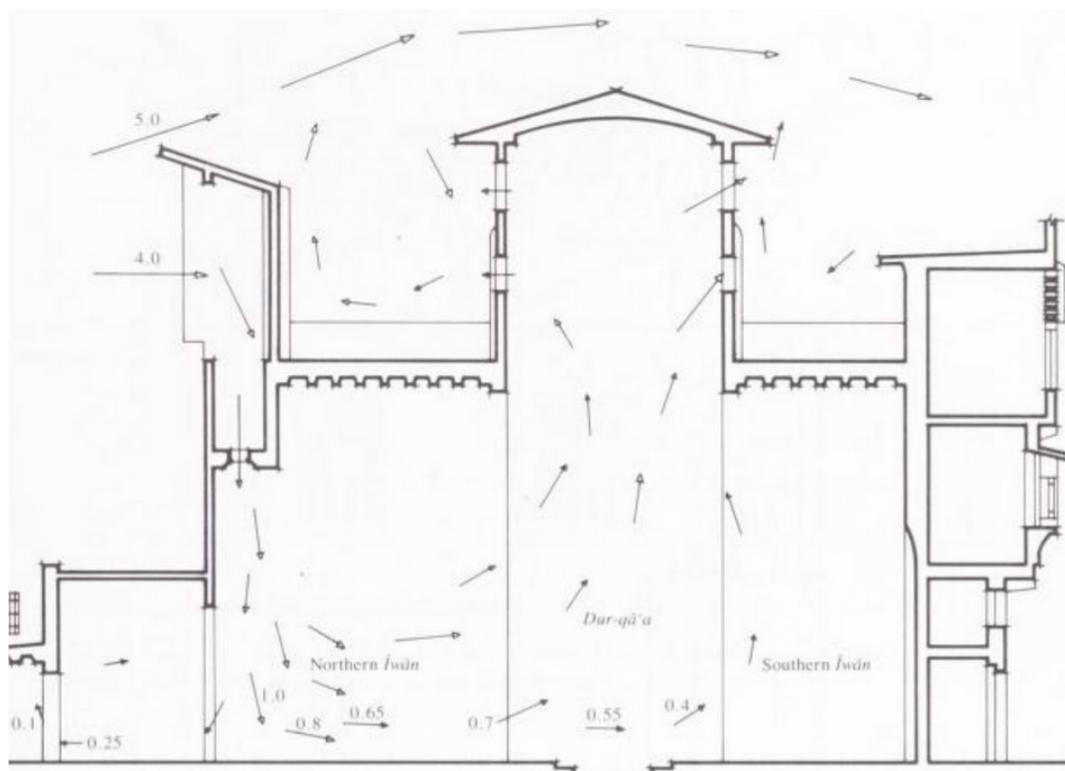


Fig.13 Sección del espacio del Qa'a con flechas de corrientes de aire y velocidades. Fathy, H. (1986). *Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates*.

El Patio:

La casa con patio es un modelo muy extendido en las arquitecturas actuales y tradicionales en áreas de clima cálido. El patio consiste en un espacio exterior abierto al cielo, ajardinado o no, pero rodeado por arquitectura, en el que el principio de la convección mantiene el aire fresco convirtiéndolo en un oasis de frescura.

Este mecanismo para mantener el aire fresco, comienza al caer la noche. El aire caliente del patio acumulado durante el día debido a la radiación solar, asciende y es reemplazado por el aire más fresco de la noche, que desciende y ocupa el patio. Este aire fresco, se acumula en el patio y se filtra en las estancias adyacentes, refrescándolas.

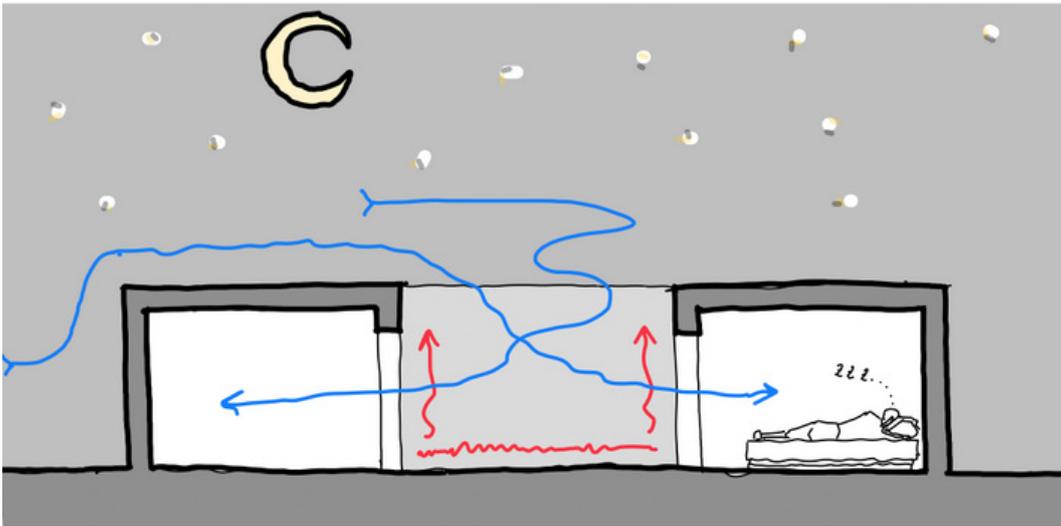
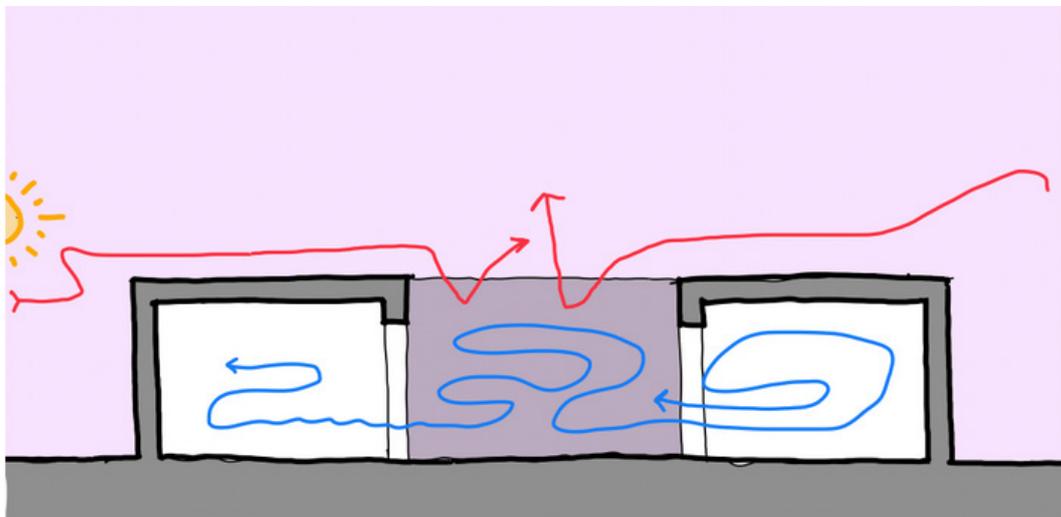
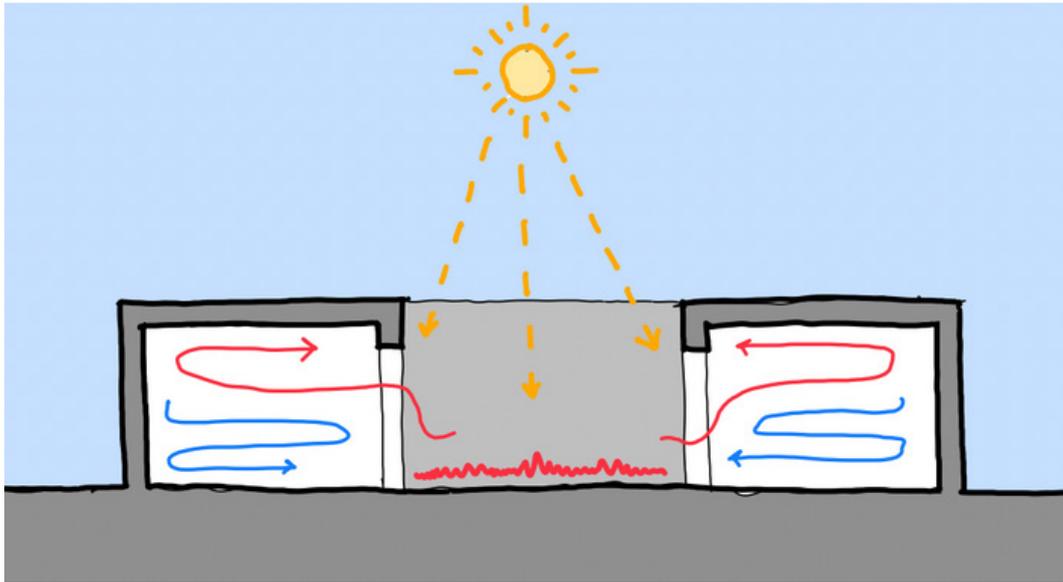


Fig.14 El patio y el movimiento interno del aire en la noche. *Elaboración propia.*

Por la mañana, debido a que el patio es un espacio contenido y, por lo tanto, con una exposición limitada frente al sol, el aire fresco que se mantiene desde la noche, se calienta de manera gradual, hasta las horas centrales del día en las que el sol ya incide directamente sobre el patio.



El patio y el movimiento interno del aire. Fig.15 En las primera horas de la mañana.



Movimiento interno del aire. Fig.16 En la horas centrales del día. Elaboración propia.

Por el principio de la convección, en las primeras horas de la mañana, el aire caliente de los alrededores fluye sobre el patio y la arquitectura, sin acceder al espacio interno, ya que este aire caliente es menos denso que el existente en el patio, enfriado durante la noche, lo que genera pequeños remolinos.

Este efecto permite que el patio funcione como una reserva de frescura. Si bien este fenómeno, solo dura hasta las horas centrales del día, a partir de las cuales el sol ya incide directamente sobre el patio y el aire caliente comienza a acumularse, dando lugar de nuevo al mismo proceso.

El Takhtabush:

Esta solución surge de la variación del patio tradicional y la combinación con otras soluciones. El Takhtabush, es un espacio exterior cubierto propio de la arquitectura tradicional egipcia, situado entre el patio y un espacio exterior abierto de mayores dimensiones.

Mediante el principio de convección, se genera para este espacio una constante brisa. El espacio exterior abierto, de grandes dimensiones, al estar expuesto a la radiación solar, se calienta y genera una corriente de aire caliente ascendente. Este aire que asciende es reemplazado por aire a menor temperatura proveniente del patio, en el espacio intermedio, el Takhtabush, generando un flujo constante de aire fresco.

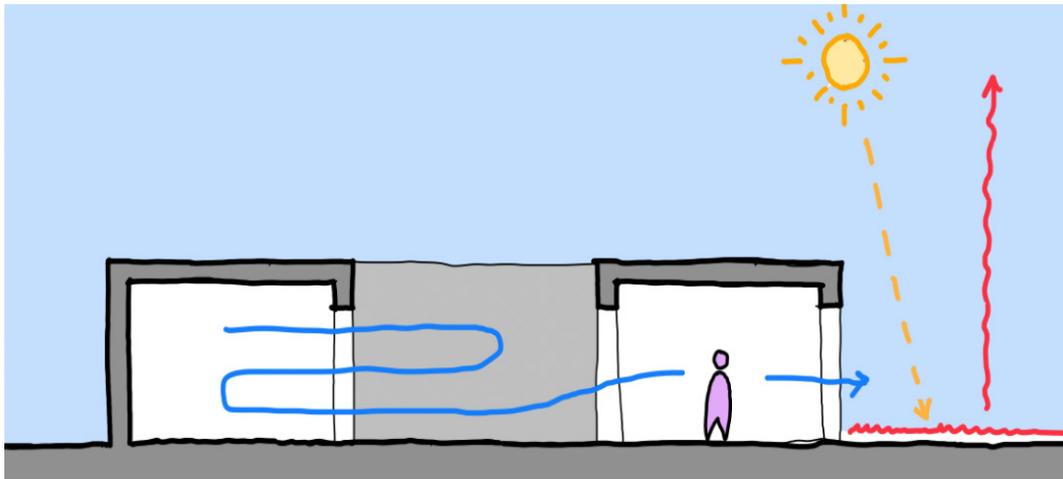


Fig.17 Diagrama de funcionamiento del Takhtabush. Elaboración propia.



Fig.18 Villa As-Suhaymi, El Cairo, Ejemplo tradicional del uso del Takhtabush. Fathy, H. (1986). *Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates.*

Louis Kahn, el sistema pasivo como elemento coherente:

Del arquitecto estadounidense Louis Kahn se estudiará un proyecto y una obra desarrollados en climas cálidos. El proyecto, no construido, es la embajada americana en Luanda, Angola y la obra, acabado el año de la muerte de Kahn, es el Instituto indio de administración en Ahmedabad, India. En estas, dado el clima local, Kahn desarrolla soluciones particulares en las que la arquitectura controla el clima para generar espacios confortables.



Fig.19 *Louis I. Kahn conversando con el arquitecto indio, Balkrishna Doshi, circa 1962. Indian Institute of Management.*

Louis Isadore Kahn (nacido Itze-Leib Schmuilowsky, Isla de Osel, Estonia, 1901 - Filadelfia, EEUU, 1974) es un arquitecto estadounidense de origen estonio. Emigra desde su Estonia natal, junto a su familia a la temprana edad de 4 años. Se forma como arquitecto, obteniendo el título por la Universidad de Pensilvania en 1924. Es considerado uno de los grandes maestros de la arquitectura del siglo XX.

La obra de Kahn se basa en una investigación sobre los principios propios de cada proyecto. Para Kahn la belleza en la arquitectura, se encuentra en su justificación y coherencia con el medio que la rodea. Kahn se rige por un orden arquitectónico cuya lógica procede del cumplimiento de las inmutables leyes de la naturaleza y del lugar. En cada proyecto persigue el esquivo principio generador que le da forma y, en esa búsqueda, desarrolla la solución que de manera más coherente y justificada lo resuelva.

Ante esta voluntad de un diseño justificado y coherente, el clima es una ley natural que de manera muy relevante condicionará la forma de la arquitectura. Esta variable ha sido muy tenida en cuenta por Kahn y en especial en los dos proyectos seleccionados.

Embajada Americana en Luanda, Angola (1961):

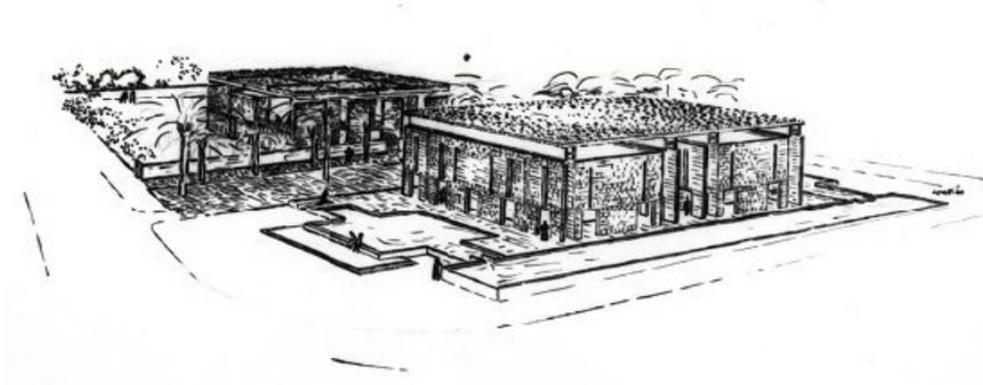


Fig.20 *Perspectiva aérea del conjunto de la embajada, tinta y lápiz. Fuente: Philadelphia architects and buildings.*

“Algo que me impresionó mucho en Luanda fue la marcada luminosidad de la atmósfera... Desde el interior de cualquier edificio resulta imposible mirar hacia las ventanas a causa del fuerte resplandor. Las paredes oscuras que enmarcan la brillante luz exterior lo hacen a uno sentirse muy incómodo. Se experimenta la tendencia a alejar la vista de las ventanas. Otra cosa que me impresionó fue la importancia de la brisa...que arrastra el aire acumulado alrededor del edificio. Pensé que sería bueno encontrar una expresión arquitectónica para los problemas del resplandor.” (Kahn, L.I. (1961). Forma y diseño.)

En este fragmento de una entrevista a Kahn en 1961, él describe lo que más le impactó del clima al llegar a Luanda. Ante este input y dado su enfoque hacia la arquitectura que por encima de todo busca justificación y coherencia, Kahn perseguirá controlar del sol y la brisa para generar un confort que pueda sentar las bases de la ocupación humana del espacio.

Para Kahn la arquitectura no consiste meramente en cubrir las áreas prescritas por el cliente, sino en la creación de espacios que evoquen el sentimiento de su uso adecuado. Kahn no solo piensa en la mejor organización del programa funcional, sino también en poder controlar el tema del confort humano amplificando la sensación espacial, visual y lumínica del usuario.

Sistemas de pasivos de protección frente al sol:

La doble envolvente:

Frente al problema del deslumbramiento, Kahn busca referencias en la arquitectura local y detecta soluciones como celosías de mampostería o madera (quizás similar a la mashra-biya). Sin embargo, estas no le convencen pues considera el efecto de los diamantes de luz, que se filtran entre los intersticios, como desagradables. Es mediante la observación de los hábitos de la población local cuando Kahn detecta una posible solución, pues estos trabajan hacia la pared, aprovechando la luz indirecta, reflejada en la gran superficie de los muros.

Ante esto, Kahn piensa en colocar frente a cada hueco una pared, para introducir en todo momento la luz de manera indirecta, si bien esta solución no era completamente satisfactoria, ya que impedía la visión. Kahn decide formalizar huecos en esta pared, convenientemente distanciada para evitar la entrada directa de luz. Generando una segunda envolvente, en la que había huecos sin marcos, lo que le recordaba la belleza de las ruinas.

Esta respuesta arquitectónica recuerda a otra respuesta propia de la arquitectura tradicional, la doble cubierta, que mediante una primera cubierta ligera tamiza la excesiva radiación solar, después existe una cámara de aire que sirve para ventilar y refrescar, y finalmente una segunda cubierta de mayor entidad cierra la envolvente del resto del edificio.

Esta solución está tradicionalmente asociada a la cubierta, zona por excelencia receptora de radiación solar. Kahn la reinterpreta y la lleva a la fachada, controlando la incidencia directa de radiación solar mediante huecos repartidos en la segunda piel, que actúa así como el diafragma en una cámara de fotos. Entre las dos hojas o pieles del cerramiento se produce una brisa que arrastra el aire caliente acumulado alrededor del edificio y también, inspirado en la manera de trabajar de los locales, se introduce luz de manera indirecta por reflexión en esta doble piel.

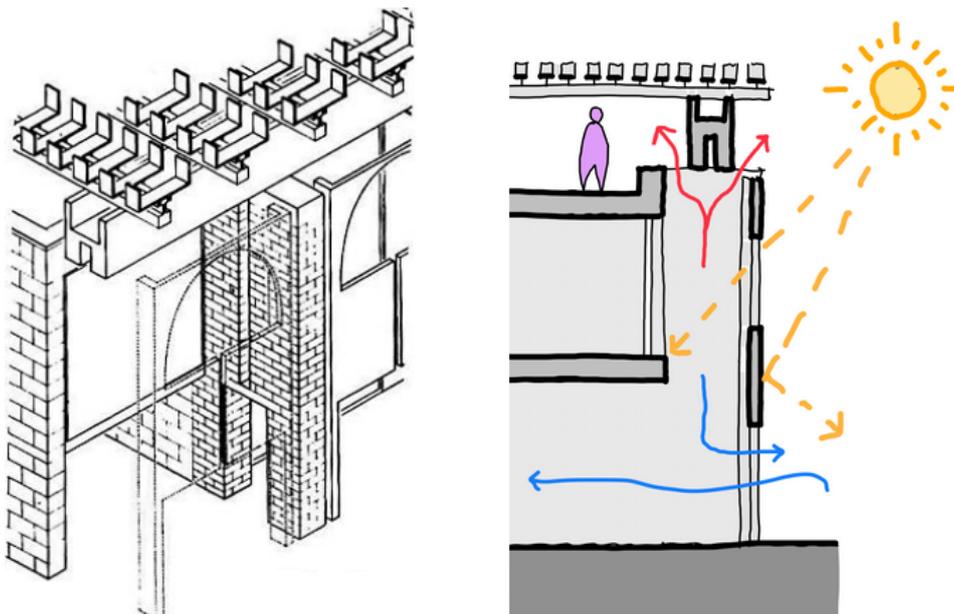


Fig.21 (Izq.) Axonometría, fuente: ktmSPACE.com. **Fig.22** (Dcha.) Dibujo explicativo de envolvente, protección frente al sol y corrientes de aire, elaboración propia.

La reinterpretación de la doble cubierta:

En cuanto a la cubierta, Kahn de nuevo se fija en el contexto local, Kahn detecta en las construcciones de Luanda una separación en la cubierta, con pequeñas aberturas, a través de las cuales, pasa la brisa y ventila. Solución similar a aquellas tradicionales, de las que fathy hablaba, que generaban una cámara de aire ventilada, entre una primera cubierta ligera y otra de mayor espesor, que actuaba como continuación de la envolvente.

Toma esta solución como referencia y la reinterpreta. Kahn propone una cubierta en dos planos separados, uno ligero que proteja del sol, un espacio intermedio de 1,80m y una cubierta de mayor espesor, con todos sus debidos componentes, que lidiara con la lluvia.

A diferencia de las soluciones tradicionales, la primera cubierta, no cubre, únicamente actúa como parasol. Formado por unas piezas cerámicas, en forma de U extruida, que actúan como hojas en una especie de árbol para sol.

Mediante esta solución, Kahn incluso se plantea eliminar por completo el aislamiento térmico de la capa más espesa, ya que controlando la radiación solar con el parasol y aliviando el calor, mediante la ventilación del espacio intermedio, la necesidad de aislamiento térmico ya estaría satisfecha.

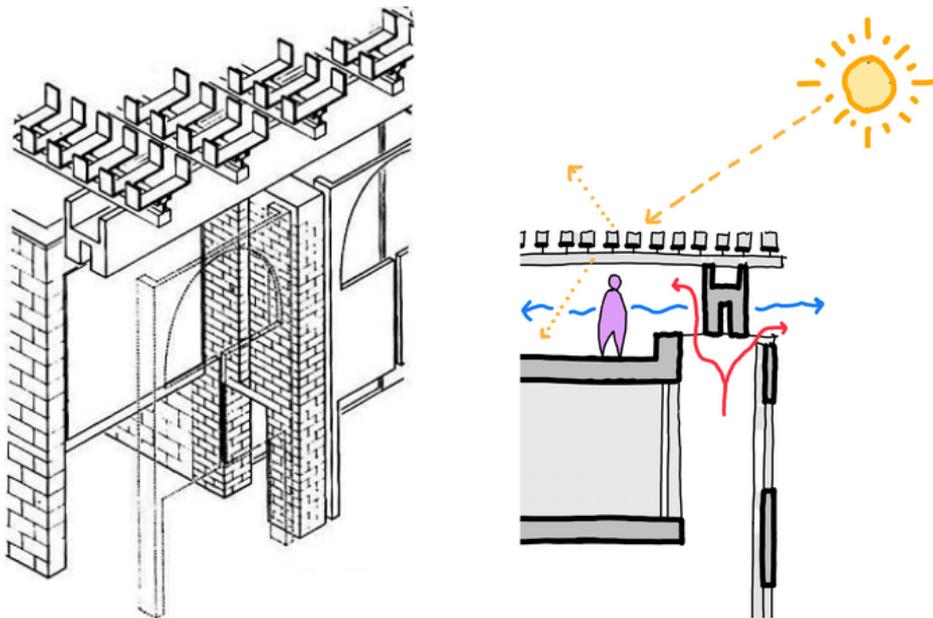


Fig.23 (Izq.) Axonometría, fuente: *ktmspace.com*. **Fig.24** (Dcha.) Dibujo explicativo de cubierta, protección frente al sol y corrientes de aire, elaboración propia.

Sistemas pasivos de enfriamiento:

El enfriamiento pasivo no está específicamente tratado en ningún sistema, si bien, en la aproximación de Kahn al proyecto de Luanda si existe una preocupación en mantener una brisa, que arrastre y mantenga en movimiento el aire caliente acumulado alrededor del edificio.

Las soluciones de cubierta y fachada mencionadas previamente, mediante la creación de una cámara de aire, generan un espacio sombreado, en el que fluyen corrientes de aire fresco, generando de manera indirecta soluciones que enfrían de manera pasiva.

Además, Kahn reflexiona sobre la importancia de la ventilación natural en el contexto social y económico de Angola a principios de la década de los 60. La tecnología era poca y poco desarrollada, e importar un sistema de climatización no hubiera sido una decisión coherente, especialmente debido a que con el limitado desarrollo tecnológico, una respuesta ante cualquier avería habría sido una tarea compleja.

Instituto Indio de Administración en Ahmedabad, India (1962-1974):

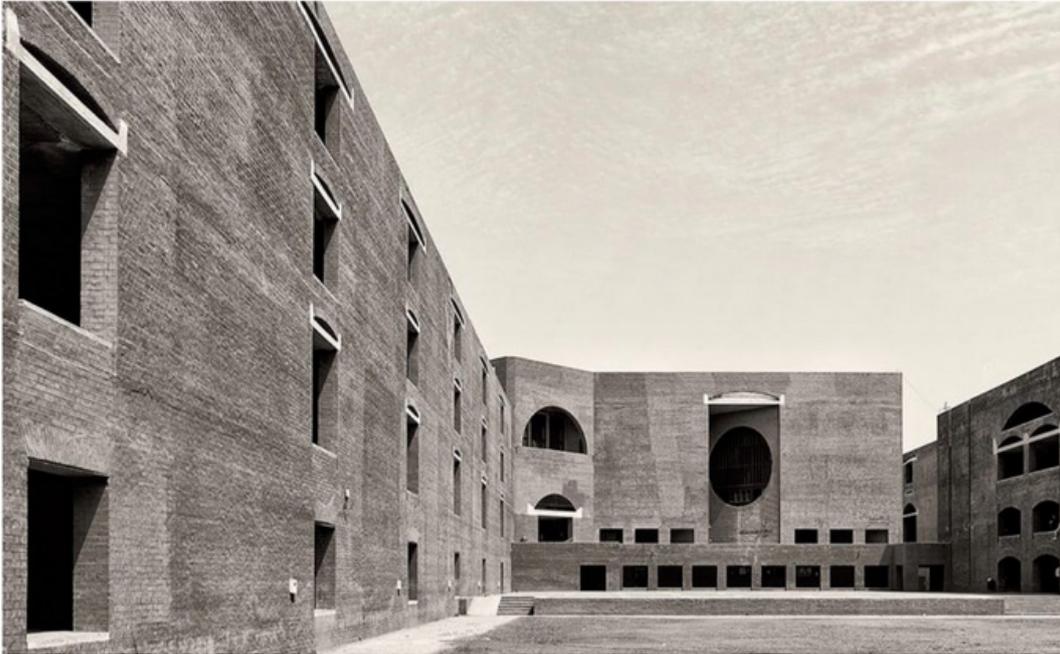


Fig.25 *Vista desde el Patio. Cemal Emden.*

En torno al año 1962, mientras Kahn trabajaba en el proyecto de la Asamblea Nacional de Bangladesh, conoció, entre otros, al joven arquitecto indio Balkrishna Doshi, quien acababa de recibir el encargo para el Instituto Indio de Administración. Este le propuso desarrollar el proyecto de manera conjunta.

El proyecto requería la construcción de distintos edificios, escuelas y residencias tanto para estudiantes como para profesores. El conjunto está materializado con un mismo lenguaje arquitectónico, mediante imponentes muros de ladrillo sobre los que se generan monumentales huecos.

Doshi contactó a Kahn para juntos poder desarrollar una escuela innovadora, para los mejores y más brillantes de la India. El proyecto busca romper con los modelos existentes de escuelas, que situaban el aula como espacio por excelencia del conocimiento. Kahn y Doshi trasladan esta relevancia a los espacios de transición y reunión, corredores y plazas, espacios que favorecen la interacción entre alumnos y profesores, generando así espacios para compartir ideas y relacionarse.

En el proyecto estos espacios están especialmente pensados para ser confortables, para que el usuario desee pasar tiempo en ellos y así se establezcan las condiciones óptimas para el intercambio de ideas y el aprendizaje. La propuesta desarrolla un sistema de ventilación pasiva que garantiza el confort en estos espacios.

Sistemas de pasivos de protección frente al sol:

La protección frente al sol es muy evidente, mediante la masa, mediante muros de fabrica de ladrillo, un material con disponibilidad local, que además aporta excelentes cualidades de aislamiento. Con este material, Kahn genera grandes volúmenes, prácticamente ortogonales, que acogen todo el programa.

Para protegerse de la radiación solar se controla mucho la posición y orientación de los huecos, limitando su posicionamiento hacia sur y oeste y favoreciendo a norte y este. En cuanto a su forma, estos son realizados de manera monumental, algunos incluso con formas curvas, reforzando la imagen de un gran volumen macizo que ha sido perforado, Muchos de ellos son de gran escala y separan considerablemente la ventana del hueco, por lo que se controla aún más la radiación solar.



Fig.26-27 Fotografías del Instituto Indio de Administración. Fuente: Harshan Thompson Photography

Sistemas pasivos de enfriamiento:

Son los sistemas más relevantes en el proyecto, que buscan generar confort en los espacios más importantes del proyecto, los corredores y las plazas. Estos espacios de interacción, que son espacios no climatizados, se ubican dentro de la arquitectura, pero a través de estos fluye el aire exterior.

La gran envolvente másica de ladrillo, permite mantener el calor fuera, las grandes aberturas y en particular la orientación del conjunto respecto a los vientos predominantes, permite generar flujos de aire que garantizan el confort en estos espacios.

La orientación que el conjunto permite es sureste - noroeste. Los vientos predominantes en Ahmedabad fluyen de noreste a suroeste y, por lo tanto, inciden de manera perpendicular sobre la arquitectura. Los principales huecos en la fachada, las monumentales aberturas, se ubican en las orientaciones noreste-suroeste, permitiendo la entrada directa del viento. La arquitectura capta y luego los canaliza, formando estos espacios de relación como grandes ejes, por los que pueda fluir el aire interior, dando lugar a corrientes de aire fresco en los espacios de relación.

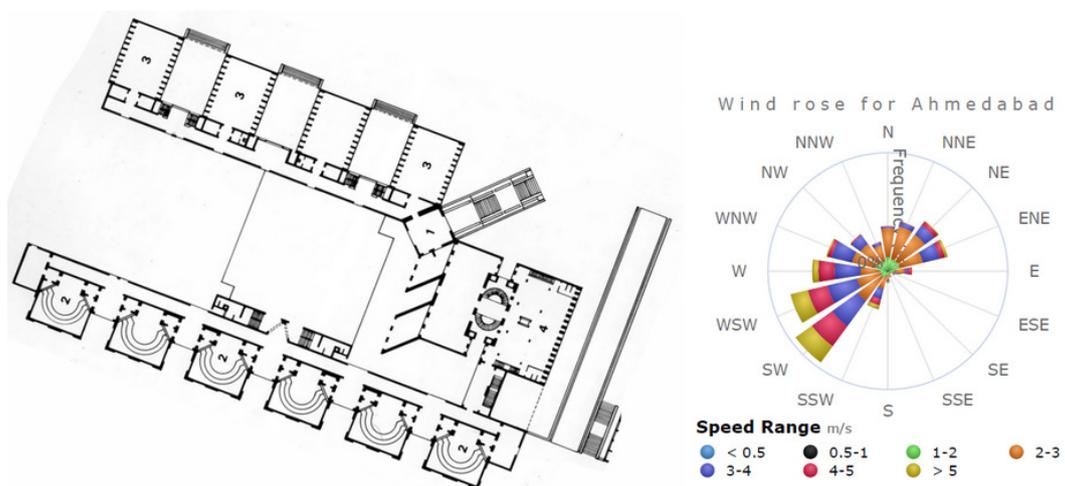


Fig.28 (Izq.) Planta del edificio de docente del Instituto Indio de Administración. Orientado con el norte hacia arriba. Fuente: ArchEyes. **Fig.29** (Dcha.) Rosa de los vientos de Ahmedabad. Fuente: IndianClimate.com



Fig.30 *Recorridos en planta baja. Harshan Thompson Photography*

Francis Kéré, el empleo contemporáneo de sistemas pasivos:



Fig.31 Francis Kéré en su estudio. RIBA journal.

Diebedo Francis Kere (1965), nace en Gando, Burkina Faso, en uno de los países más empobrecidos y con mayores tasas de analfabetismo del mundo. A la edad de 7 años, se separa de su familia para atender a las escuelas en la localidad vecina de Tenkodongo, debido a la ausencia de escuelas en su Gando natal, siendo el primero de su comunidad en atender a la escuela.

En 1985 recibe una beca vocacional para formarse en Berlín, Alemania como carpintero. En 1995 recibe una beca para atender la Universidad Técnica de Berlín. En 2004 se gradúa como arquitecto por esta universidad.

Pese a su tiempo en el extranjero, Kéré mantiene en su cabeza a sus raíces. En 1998 desarrolla una fundación, actualmente conocida como Kere Foundation, que tiene como objetivo el desarrollo de espacios para la formación de los más jóvenes en Gando, luchando por la causa y recaudando fondos.

En 2001, con la ayuda de su fundación, su trabajo como arquitecto y la colaboración con la población local, construye su primer edificio, la Escuela Primaria de Gando. El éxito de esta iniciativa, le lleva a construir más obras en su Gando natal, viviendas para los maestros (2004), la ampliación de la escuela primaria (2006), la biblioteca de la escuela primaria (2010), una escuela secundaria (2011).

En 2005 abre su propio estudio, y comienza a desarrollar proyectos por todo el mundo, especialmente en el continente africano, en países como Burkina Faso, Kenia, Mozambique y Uganda.

El éxito de sus obras le lleva a recibir gran reconocimiento a nivel mundial, recibiendo entre otros el Premio Aga Khan de arquitectura en 2004, por la Escuela Primaria de Gando y en 2022 es galardonado con el Premio Pritzker.

La obra de Kere en Gando y Burkina Faso:

La obra de Kéré en Gando y en Burkina Faso está caracterizada por una misión que va más allá de la arquitectura pero está estrechamente relacionada con esta. La misión, la educación de la población joven, como acción para el impulso del desarrollo.

Ante esto, Kere y su fundación buscarán materializar los espacios que ayuden a que la educación tenga un lugar, con espacios de calidad, confortables y realizables, a pesar de la escasez económica, tecnológica y de recursos.

Con este fin, Kéré trabaja mano a mano con la comunidad de Gando. La escasez de recursos se combate mediante el empleo de materiales locales y la escasez tecnológica mediante el buen diseño, contextualizado con el clima local, que permita la obtención de confort a través de sistemas pasivos.

A continuación se estudiará el uso de los sistemas pasivos de confort, en una de las obras de Gando, la ampliación de la Escuela Primaria de Gando, construida en 2006.



Fig.32 Fachada oeste, Ampliación Escuela Primaria de Gando. Kéré Architecture.

Compuesta por dos espacios contenidos para aulas y un espacio intermedio abierto de relación social. El conjunto se cubre por una cubierta metálica ligera, de forma abovedada, sostenida por una estructura de cerchas.

Sistemas de pasivos de protección frente al sol:

La envolvente:

En las arquitecturas de Kéré en Burkina Faso, una elección material para la envolvente se ha mantenido consistente en todos sus proyectos, el bloque de arcilla. Esta decisión ha sido favorecida principalmente por la disponibilidad del material así como por el conocimiento de la población local en cuanto a su uso. Este, es extraído del propio terreno local y aporta unas excepcionales cualidades térmicas.

Bloque de arcilla está hecho a partir de arcilla extraída del terreno, que se moldea en forma de bloque y se prensa para que esta adquiera resistencia. Mediante la combinación de estos, Kéré configura gruesos muros, que amortigua considerablemente los efectos del calor. Como punto desfavorable, la vulnerabilidad de la envolvente al agua. Requiriendo de la ayuda de otros elementos de la arquitectura en la protección frente a la lluvia. Este sistema y el criterio de elección dada su disponibilidad en el entorno local, es común a las obras de otro de nuestros arquitectos referente, Hassan Fathy en Nueva Gouna y Nueva Baris.

El tratamiento del hueco, la persiana veneciana:

Los huecos de la envolvente, tienen como objetivo principal permitir la ventilación y la entrada de luz, pero evitar la entrada directa de la radiación solar. Kéré, genera grandes huecos rectangulares, abiertos a este y oeste, repetidos aproximadamente cada metro.

Para conseguir los objetivos del hueco, Kéré emplea un recurso tradicional ligeramente reinventado. Las persianas venecianas, con lamas fijas orientadas horizontales, que controlan la dirección y la cantidad de luz, que busca en todo momento una iluminación correcta del espacio. Como novedad, Kéré implementa esta solución en un formato plegable con dos hojas de persiana veneciana, fija en el extremo superior.



Fig.33 El uso de la persiana veneciana plegable. Fuente: Kéré Architecture.

El relieve de fachada:

Tanto en planta como en alzado destaca la presencia de unos relieves en fachada, materializados con el mismo material del cerramiento. Estos actúan tanto como relieve estructural como elemento de protección solar.

Los volúmenes de las aulas se colocan en orientación Norte - Sur, con sus huecos abriendo hacia este y oeste. Estos relieves se ubican junto a los huecos en su lado sur y tienen como objetivo generar una protección extra frente a la radiación solar horizontal, de sureste y suroeste, generada en las primeras y últimas horas del día.

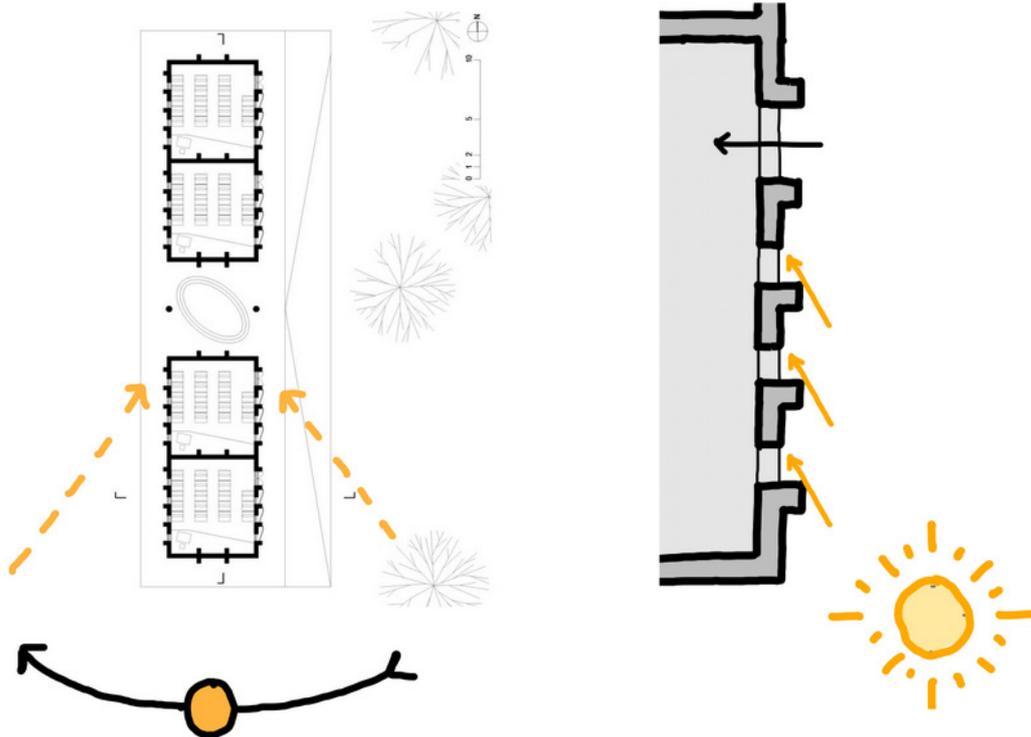


Fig.34 (Izq.) Planta, Ampliación Escuela Primaria de Gando. Kéré Architecture. **Fig.35** (Dcha.) Esquema de detalle del relieve en fachada e incidencia solar. Elaboración propia.

Sistemas de pasivos de enfriamiento:

La doble cubierta ventilada y el techo perforado:

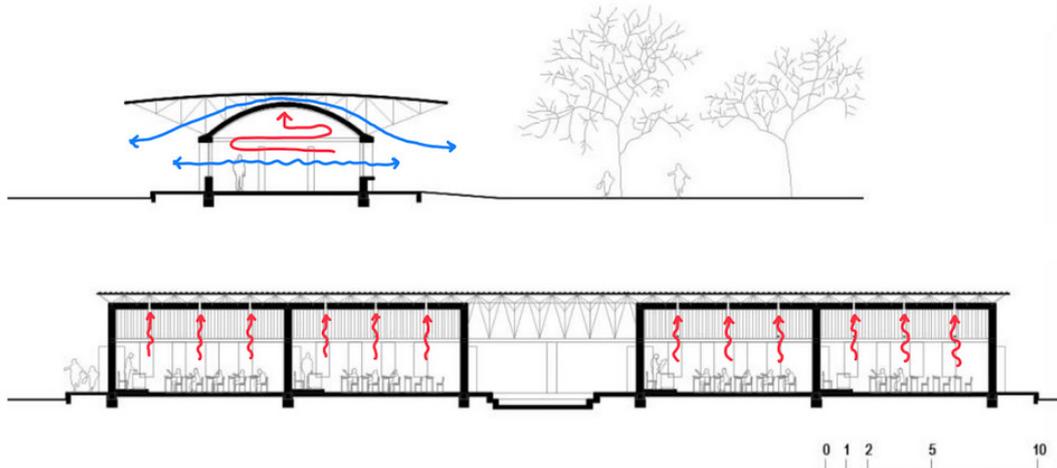


Fig.36 Secciones longitudinal y transversal, Ampliación Escuela Primaria de Gando. Kéré Architecture.

La manera de cubrirse de la ampliación de la escuela, es mediante una doble cubierta. Esta solución ya ha sido explorada en este trabajo, en la arquitectura tradicional y en el proyecto para la Embajada americana en Luanda, Angola. Si bien, en este proyecto, Kéré, hace una propuesta muy interesante de este sistema.

El sistema de la doble cubierta, consiste en una cubrición ligera, una cámara de aire ventilada y una segunda cubierta de mayor espesor. En este proyecto la primera cubrición, tiene una dimensión considerablemente mayor respecto a los volúmenes de las aulas, genera una importante sombra sobre el conjunto y, dada su materialidad de chapa metálica, protege del agua de lluvia al conjunto y, en especial, a los muros, hechos de bloques de arcilla sensibles al agua.

La capa intermedia, una cámara de aire de espesor variables, en la que se dispone la estructura en cercha, que sujeta la lámina metálica. Permite la ventilación y la desaparición del calor acumulado por la radiación del sol a través de la primera cubierta.

Bajo la cámara de aire, el techo interior, materializado de la misma manera que la envolvente con bloque de arcilla, en forma abovedada, apoyando sobre unas vigas de hormigón armado que coronan los muros de la envolvente. Este techo tiene la particularidad de estar perforado y, por lo tanto, permite la evacuación del aire caliente acumulado en los espacios de las aulas.

Estas perforaciones son especialmente relevantes porque garantizan la creación de un sistema con movimiento constante de aire. El aire caliente existente en las aulas asciende por convección y escapa por las perforaciones en el techo, en la cámara de aire circula aire a gran mayor velocidad, que por el efecto Venturi succiona el aire caliente exterior. El aire extraído de las aulas es sustituido por aire que entra a través de los huecos, controlados por la solución de persiana veneciana plegable, a uno y otro lado del espacio de las aulas.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo se pueden extraer una serie de conclusiones. Pese a que cada proyecto es único y responde en cada caso a unas necesidades y a un contexto único, se pueden establecer métodos de trabajo para obtener de manera consistente resultados óptimos. Este trabajo demuestra que el conocimiento del clima y microclima en el que se emplaza una arquitectura es fundamental. El estudio climático permite conocer las fuerzas naturales que modelan e influyen en el proyecto de arquitectura y aquellas con las que el arquitecto deberá determinar con cuáles se relacionará y de cuáles se protegerá.

En el contexto de los climas cálidos se han demostrado útiles soluciones que mantienen el aire en movimiento, por los distintos métodos explicados, también soluciones en las que se duplica la piel arquitectónica en contacto con el exterior, una protegiendo del sol y otra que limita el espacio interior, creando entre estas un espacio para que el aire fluya y se evite la acumulación de aire caliente.

El uso de estas técnicas se deberá tener en cuenta para la arquitectura de mi generación, La arquitectura no deberá emplear métodos de obtención de confort únicamente pasivos, sino que tendrá que superponer métodos activos y pasivos, tratando de que el consumo debido a los sistemas activos de confort quede aliviado al máximo por el buen acondicionamiento del espacio interior debido a los sistemas pasivos integrados en la arquitectura.

BIBLIOGRAFÍA:

Libros:

Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates. University of Chicago Press.

Ingels, B. (2015). Hot to Cold: Odyssey of architectural adaptation. Taschen.

Kahn, L.I. (1961). Forma y diseño. Ediciones Nueva Visión.

VV. AA. (2018). Francis Kéré: Primary Elements. Fundación ICO.

Artículos académicos:

Guitart, M. (2022). Desvistiendo sistemas arquitectónicos: tecnología pasiva y envolventes en masa. State University of New York at Buffalo.

Mareque, S. (2021). Adaptación a climas áridos cálidos. La arquitectura de Francis Kéré en Burkina Faso (trabajo de fin de grado). Universidade da Coruña.

Mohamed, M. (2010). Traditional ways of dealing with climate in Egypt. Zagazig Department of Architecture, Zagazig University.

Neila, J. (2000). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. Universidad Politécnica de Madrid.

Palomares Figueres, María Teresa; Vidal Climent, Ivo Eliseo; Vidal Climent, Ciro Manuel (2014). Mechanism of traditional screen in the architecture of Louis I. Kahn. International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture. CRC Press.

Rodríguez, E. (2019). Hacia un desarrollo sostenible. Francis Kéré (trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid.

Zuaiter, L. (2015). Vernacular Passive Cooling Strategies in hot - dry regions of Middle East and North Africa. Sustainable residential Buildings in UAE. College of engineering and computer science, Abu Dhabi University.

Páginas web:

AD classics: Indian Institute of management / Louis Kahn. Archdaily. <https://www.archdaily.com/83697/ad-classics-indian-institute-of-management-louis-kahn>

Louis Kahn, 1962, Vincent Scully. Quondam. <https://www.quondam.com/40/4003r.htm>

Louis Kahn. ArchXDe. <https://archxde.com/arquitectos/kahn-louis-isidore/>

Louis Kahn's Indian Institute of Management in Ahmedabad. ArchEyes Timeless architecture. <https://archeyes.com/indian-institute-of-management-louis-kahn/>

New Baris Village. Hidden Architecture. <https://hiddenarchitecture.net/new-barrid-village/>

United States Consulate and residence. Philadelphia architects and buildings. https://www.philadelphiabuildings.org/pab/app/pj_display.cfm/5361

Diebedo Francis Kéré. The Pritzker architecture prize. <https://www.pritzkerprize.com/laureates/diebedo-francis-kere>

Gando Primary School Extension. Kéré architecture. <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

Gando Primary School. Kéré architecture. <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3>

Hassan Fathy (1900-1989). The architectural review. <https://www.architectural-review.com/essays/reputations/hassan-fathy-1900-1989>

Hassan Fathy. Architectuul. <https://architectuul.com/architect/hassan-fathy>

How Does Francis Kéré use Materials to Respond to Local Climate Conditions?. Archdaily. <https://www.archdaily.com/978851/how-does-francis-kere-use-materials-to-respond-to-local-climate-conditions>

Indian Institute of Management, Ahmedabad. Harshan Thomson Photography. <http://harshanthomson.com/modern-classics/louis-kahn/#ms-16>

Lycée Schorge. Kéré architecture. <https://www.kerearchitecture.com/work/building/lycee-schorge>

¿Qué es el cambio climático?. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

¿Qué es el efecto invernadero?. Nasa, Global Climate Change. <https://climate.nasa.gov/faq/70/que-es-el-efecto-invernadero/>

¿What is a net zero carbon building?. World Green Building Council. <https://worldgbc.org/advancing-net-zero/what-is-a-net-zero-carbon-building/>

RELACIÓN DE IMÁGENES EMPLEADAS:

Fig.00 La dana en España y sus efectos, en imágenes. El País. https://elpais.com/espana/2023-09-02/la-dana-en-espana-efectos-e-inundaciones-en-imagenes.html#foto_gal_25

Fig.01 Kevin Hui, Archimarathon. <https://www.youtube.com/watch?v=35a6rcbNPoY>

Fig.02 - 05 Elaboración propia.

Fig.06 - 08 The Architectural Review. <https://www.architectural-review.com/essays/reputations/hassan-fathy-1900-1989>

Fig.09 - 10 Elaboración propia.

Fig.11 Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates.

Fig.12 Chant Avedissian. <https://hiddenarchitecture.net/wp-content/uploads/2016/04/new-baris-village-egypt-hassan-fathy-image-christopher-little.jpg>

Fig.13 Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates.

Fig.14 - 17 Elaboración propia.

Fig.18 Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates.

Fig.19 <https://ngs-space1.sgp1.digitaloceanspaces.com/am/uploads/mediaGallery/image/1616761333846.jpg-org>

Fig.20 Philadelphia architects and buildings. <https://www.philadelphiabuildings.org/pab-images/medium-display/aaup.030.cd20/aaup.030.I.A.555.28.jpg>

Fig.21 <http://www.kmtspace.com/kahn.htm>

Fig.22 Elaboración propia.

Fig.23 <http://www.kmtspace.com/kahn.htm>

Fig.24 Elaboración propia.

Fig.25 Cemal Emden. <https://i0.wp.com/archeyes.com/wp-content/uploads/2016/09/Indian-Institute-Management-Louis-Kahn-9.jpg?w=1250&ssl=1>

Fig.26 - 27 Harshan Thompson Photography. <http://harshanthomson.com/modern-classics/louis-kahn/>

Fig.28 ArchEyes. <https://i0.wp.com/archeyes.com/wp-content/uploads/2016/09/Indian-Institute-Management-Louis-Kahn-22.jpg?ssl=1>

Fig.29 IndianClimate.com. <https://www.indianclimate.com/show-data.php?request=LWVOE8000J>

Fig.30 Harshan Thompson Photography. <http://harshanthomson.com/modern-classics/louis-kahn/>

Fig.31 RIBA journal. <https://darkroom.ribaj.com/800/b02385fe5d07e790d96dfadc-5c7a7328:8e3a6c57c78a92a6d74e3ca5b27348f9/diebedo-francis-kere-in-his-studio-in-berlin>

Fig.32-34 Kéré Architecture. <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

Fig.35 Elaboración propia.

Fig.36 Kéré Architecture. <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

Valencia
Septiembre 2023

