

ADAPTACIÓN A CLIMAS ÁRIDOS CÁLIDOS

LA ARQUITECTURA DE FRANCIS KÉRÉ EN BURKINA FASO

SOFÍA MAREQUE MARTÍNEZ
TFG | ETSAC | UDC | 24.06.2021



ADAPTACIÓN A CLIMAS ÁRIDOS CÁLIDOS

LA ARQUITECTURA DE FRANCIS KÉRÉ EN BURKINA FASO

*Adaptación a climas áridos cálidos.
A arquitectura de Francis Kéré en Burkina Faso.*

*Adaptation to hot arid climates.
Francis Kéré's architecture in Burkina Faso.*

Sofía Mareque Martínez

Traballo Fin de Grao
Fecha de entrega: 24.06.2021
Tutor: **Santiago Pintos Pena**
Construcciones arquitectónicas.
*Arquitectura pasiva / Construcciones
adaptadas al medio*

Curso 2020-2021
Grao en Estudos de Arquitectura
ETSAC – Universidade da Coruña



Fig. 0.01 Imagen de portada. Escuela secundaria en Gando. Fotografía de Kéré Architecture.

Agradecimientos:

A mi familia por apoyarme y permitirme estudiar.

A Xabier López Rodríguez por escucharme siempre con atención.

A todas las personas que me han animado y ayudado con este trabajo.

ÍNDICE

0.	RESUMO/RESUMEN/ABSTRACT	4
1.	MOTIVACIONES	5
2.	OBJETO Y METODOLOGÍA	6
3.	ANÁLISIS DEL CONTEXTO	7-10
3.1	El clima en Burkina Faso	7-8
3.2	Contexto social y económico	9-10
4.	PARÁMETROS AMBIENTALES	11-19
4.1	Características climáticas	12-15
4.2	Otros factores ambientales	16-19
5.	FRANCIS KÉRÉ. Estrategias pasivas de control climático	20-42
5.1	Estrategias recurrentes	22-29
5.2	Estrategias ocasionales	30-42
6.	CONCLUSIONES	43-44
7.	RELACIÓN DE FIGURAS	45-46
8.	BIBLIOGRAFÍA	47

o. RESUMO

No presente traballo expónse un análise da obra de Francis Kéré en Burkina Faso desde a perspectiva da adaptación ó medio.

Fronte un contexto no que as estratexias pasivas de control climático son a única solución que ofrece condicións óptimas de confort, preséntase un estudo dos factores ambientais propios deste territorio co obxectivo de anticipar as respostas que serán máis axeitadas.

Percorrendo a obra de Kéré, recoñécense as diferentes estratexias pasivas de adaptación empregadas dando lugar a un documento orixinal no que se rexistran e ordean os datos da investigación. Partindo deste documento, propónse unha clasificación persoal das estratexias utilizadas, e desenvólvese un estudo detallado de cada unha no cal, por medio de análises gráficas e teóricas, se revela o seu funcionamento, o seu deseño e, finalmente, a transcendencia da adaptación ó medio na arquitectura de Kéré.

Adaptación | Ambiente | Confort
Estratexias pasivas | Francis Kéré

o. RESUMEN

En el presente trabajo se expone un análisis de la obra de Francis Kéré en Burkina Faso desde la perspectiva de la adaptación al medio.

Ante un contexto en que las estrategias pasivas de control climático son la única solución que ofrece condiciones óptimas de confort, se presenta un estudio de los factores ambientales propios de este territorio con el objetivo de anticipar las respuestas que resultarán más adecuadas.

Recorriendo la obra de Kéré, se reconocen las diferentes estrategias pasivas de adaptación empleadas dando lugar a un documento original en que se registran y ordenan los datos de la investigación. A partir de este documento, se propone una clasificación personal de las estrategias utilizadas, y se desarrolla un estudio detallado de cada una en que, mediante análisis gráficos y teóricos, se revela su funcionamiento, su diseño y, finalmente, la transcendencia de la adaptación al medio en la arquitectura de Kéré.

Adaptación | Ambiente | Confort
Estrategias pasivas | Francis Kéré

o. ABSTRACT

This study presents an analysis of Francis Kéré's work in Burkina Faso from the perspective of environmental adaptation.

In a context in which passive climate control strategies are the only solution offering optimal conditions of comfort, a study of the environmental factors specific to this territory is presented with the aim of anticipating the most appropriate responses.

By examining Kéré's work, the different passive adaptation strategies used are recognised and an original document is drawn up to record and organise the research data. From this document, a personal classification of the strategies used is proposed, and a detailed study of each one is developed in which, through graphic and theoretical analysis, their functioning, their design and, finally, the importance of adaptation to the environment in Kéré's architecture are revealed.

Adaptation | Enviroment | Confort
Passive strategies | Francis Kéré

1. MOTIVACIONES

El presente trabajo es el resultado de la preocupación personal con respecto a uno de los grandes retos de este tiempo, la crisis climática. Hace décadas que la comunidad científica internacional alerta de la sobreexplotación de recursos naturales, las emisiones de gases nocivos y las consecuencias del abuso al que está sometido el planeta actualmente. Las causas, consecuencias y soluciones a esta crisis climática constituyen uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS) y para tratar de mitigar su impacto es necesaria la cooperación mundial e interdisciplinar. En este contexto, la arquitectura juega un papel fundamental en todos los niveles, desde la planificación urbanística hasta la reducción del impacto del proceso constructivo.

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA) "Los edificios y el sector de la construcción combinados son responsables de más de un tercio del consumo global de energía y de casi el 40% del total de emisiones de CO₂." ¹ Para reducir estos valores de demanda energética a lo largo de toda su vida útil, es necesario que la arquitectura tenga en cuenta las condiciones climáticas a las que tendrá que responder. Desde las primeras fases del diseño han de considerarse recursos que aprovechen las condiciones del medio en que se emplaza cada construcción. De esta manera, podrá garantizarse el confort en condiciones normales mediante estrategias pasivas con un consumo energético nulo, y confiar en estrategias activas únicamente cuando las condiciones sean extraordinarias.

El reto es mayor cuanto más extremas son las condiciones climáticas con las que lidiar, y se multiplica si, además, los recursos económicos y materiales disponibles son limitados. Es precisamente en este contexto, en el que Francis Kéré desarrolla su arquitectura en su país natal, Burkina Faso. Enfrentarse al clima extremadamente cálido y árido de la zona con los ínfimos recursos de uno de los países más pobres del mundo, presenta las estrategias pasivas de confort; no solo como herramienta de diseño, sino como pilar fundamental de su arquitectura.

"Quizá la belleza sea, en sí misma, un objetivo para los que construyen sin problemas de dinero. Pero lo que a mí me hace más feliz es que mis edificios funcionen del mejor modo posible por el mínimo coste. Eso sí que es hermoso." ²

Francis Kéré

¹ «Buildings», IEA, accedido 20 de octubre de 2020, <https://www.iea.org/topics/buildings>.

² Francis Kéré «Diébédo Francis Kéré», entrevista por Llätzer Moix. En *Arquitectura: más por menos*, ed. Luis Fernández-Galiano (Madrid: Fundación Arquitectura y Sociedad, 2010), 130.

2. OBJETO Y METODOLOGÍA

El objeto de este trabajo es el estudio de las estrategias pasivas de adaptación al clima subsahariano a través de la obra del arquitecto burkinés Francis Kéré.

En la fase de documentación, se han consultado toda clase de fuentes con la intención de abarcar la mayor cantidad de información fiable posible. Desde publicaciones tradicionales y académicas, como libros, revistas y planos; hasta otras digitales como portales oficiales o conferencias y exposiciones online. Se ha prestado especial atención a las palabras del propio Francis Kéré a través de las entrevistas, debates y ponencias en las que ha participado, a las cuales se ha accedido gracias a vídeos y transcripciones disponibles en la red.

A través de este trabajo, se expondrán los condicionantes fundamentales del clima en cuestión, qué estrategias resultan más adecuadas para hacerle frente, qué recursos utiliza Francis Kéré para mejorar el confort de los usuarios y cómo afectan esos recursos a su arquitectura.

Con este fin, el estudio se estructura de la siguiente manera.

1. **Análisis del contexto.** El marco climático de Burkina Faso así como los condicionantes sociales y económicos que afectan a la arquitectura.
2. **Parámetros ambientales.** Los factores ambientales, su efecto sobre las condiciones de confort y las estrategias de control apropiadas para este clima.
3. **Francis Kéré.** El clima como pilar fundamental de su arquitectura. Análisis de las estrategias pasivas características de su obra para responder a las condiciones climáticas.
4. **Conclusiones.**

3. ANÁLISIS DEL CONTEXTO

3.1 EL CLIMA EN BURKINA FASO

En palabras de la doctora en geografía Catherine Souch, *"el clima es el resultado de la acción (variable según las estaciones) de la energía solar en la superficie terrestre, moderada por los efectos de los grandes continentes, los océanos y sus corrientes, las cadenas montañosas, las grandes masas de agua interior y los modelos regionales de cobertura del suelo, ya sea vegetación, nieve o hielo."*³ Además, su efecto varía a lo largo del año y a través de toda la geografía terrestre generando un amplio espectro de climas. Pese a ser una variación gradual, atendiendo a las condiciones climáticas medias de cada zona, es posible establecer áreas con climas similares para clasificar el planeta en distintas regiones climáticas.

Una de las clasificaciones más utilizadas es el sistema Köppen-Geiger (1961) que se basa en el análisis de la vegetación autóctona como expresión más directa del clima. Este sistema ha sido criticado por la rotundidad de los límites que establece entre las distintas regiones al no corresponderse con la transición gradual que presenta el clima natural. Con todo, esta clasificación es muy popular ya que ofrece un marco de referencia metódico y preciso, y servirá, en este trabajo, para analizar las características del clima en cuestión.

Desde un punto de vista geográfico, Burkina Faso es un estado interior situado en el oeste del continente africano, entre el Ecuador y el Trópico de Cáncer. En esta área el sistema Köppen-Geiger establece tres regiones climáticas diferentes. Una pequeña zona del extremo norte, está incluida en la región geográfica del Sahel y presenta un clima desértico extremadamente seco y caluroso (BWh). No obstante, la amplia mayoría del territorio del país está dividido en dos regiones climáticas principales. La mitad norte corresponde al clima seco cálido árido (BSh) mientras que la mitad sur se incluye en el clima tropical seco (Aw).



Fig 3.01 Burkina Faso. Clasificación Köppen-Geiger.

³ Sandra Piesik y Remedios Diéguez Diéguez, *Hábitat: arquitectura vernácula para un planeta cambiante*, 2017, 28.

La obra de Francis Kéré se distribuye principalmente en la zona de transición entre ambas regiones climáticas. Sin embargo, teniendo en cuenta la crítica a esta clasificación con respecto a la rotundidad de sus límites, se analizarán las características climáticas compartidas en conjunto, indicando claramente aquellos aspectos que supongan una diferencia.

La temperatura media puede considerarse homogénea en todo el país, marcada en los 28'2°C y sin variaciones significativas en el territorio. La variación de la temperatura a lo largo del año es de 7'7°C; el período más cálido se enmarca entre los meses de marzo y junio, cuando se llegan a registrar temperaturas medias de hasta 34'5°C, mientras que el período más moderado corresponde al mes de enero con temperaturas medias de 24'7°C.⁴

Los niveles de radiación solar son, en la mayor parte del territorio, ligeramente superiores a la radiación solar media mundial, según los datos de la aplicación Atlas Solar Global promovida por el Banco Mundial.⁵

En cuanto a las precipitaciones sí existen diferencias teóricas entre las dos regiones climáticas mencionadas. En Burkina Faso, estas diferencias suponen una variación gradual entre las regiones del norte, que registran alrededor de 450mm anuales, y las regiones del sur, que alcanzan los 1000mm anuales. Sin embargo, en el área a analizar se registran precipitaciones medias

alrededor de los 800mm anuales. En todo el territorio, el período que concentra las mayores precipitaciones coincide entre los meses de julio y septiembre, considerándose el resto del año como la estación seca.⁴

Estas características climáticas influyen de manera decisiva en el paisaje de la zona, que presenta las imágenes típicas de la estepa subsahariana. La vegetación, muy escasa y dispersa, cede el protagonismo a las interminables llanuras de arcilla rojiza.



Fig 3.02 Paisaje en Gando. Burkina Faso. Fotografía de Daniel Schwartz.

⁴ Datos extraídos de «Burkina Faso Clima», Climate-Data, accedido 2 de noviembre de 2020, <https://es.climate-data.org/africa/burkina-faso-14/>.

⁵ Datos extraídos de «Global Solar Atlas», accedido 2 de noviembre de 2020, <https://globalsolaratlas.info/map?s=12.726084,-1.582031&m=site&c=6.83917,-24.433594,2>.

3.2 CONTEXTO SOCIAL Y ECONÓMICO

Burkina Faso ocupa el puesto 182 de 189 en la clasificación de países según su índice de desarrollo recogida en el Informe sobre Desarrollo Humano 2019 publicado por la ONU.⁶ Es, por tanto, uno de los países más pobres del mundo.

El 70'6% de la población vive en áreas rurales en pequeñas comunidades con grandes carencias, como el acceso a agua potable limpia, a la atención sanitaria o a recibir algún tipo de educación o formación. La población de este país es extraordinariamente joven, con una edad media de 17'6 años, sin embargo, la tasa de malnutrición infantil severa es del 21'1% y la esperanza de vida apenas supera los 60 años.

Las ciudades concentran las infraestructuras y los equipamientos, a los que la mayor parte de la población no tiene la posibilidad de acceder, lo que explica su baja tasa de alfabetización. Únicamente el 34.6% de los adultos ha podido aprender a leer, limitando sus posibilidades de formarse en algún oficio y las opciones productivas del país, que se ven reducidas casi en su totalidad a la ganadería y la agricultura.⁷

En este contexto, la comunidad cobra un papel protagonista. La cooperación entre los miembros de cada comunidad

es imprescindible para garantizar la subsistencia del grupo, y explica los fuertes lazos sociales que unen a los individuos.

*"La gente no sabe tampoco de arquitectura. Por lo tanto, si les ayudas a construir su casa te lo agradecerán de por vida. Los lazos allí son fuertes. La solidaridad no es una opción, sino una necesidad, una solución."*⁸

Francis Kéré

Francis Kéré conoce bien esta realidad ya que él mismo nació y se crio en una pequeña aldea, Gando, donde los recursos y las oportunidades eran tremendamente limitados. Sin embargo, gracias al esfuerzo de toda la comunidad, pudo trasladarse a la ciudad para ir a la escuela y, siendo un niño, se convirtió en el primer habitante de su pueblo que aprendió a leer y escribir. Posteriormente consiguió una beca para estudiar en Alemania donde más tarde se graduaría en arquitectura.



Fig 3.03 Vista aérea. Gando. Fotografía de Daniel Schwartz.

⁶ «2019 Human Development Index Ranking», Human Development Reports, accedido 11 de noviembre de 2020, <http://hdr.undp.org/en/content/2019-human-development-index-ranking>.

⁷ Datos extraídos de «Burkina Faso», Human Development Reports, accedido 11 de noviembre de 2020, <http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/BFA>.

⁸ Kéré, «Diébédo Francis Kéré», 128.

Desde el principio, Francis Kéré ha sentido la responsabilidad de utilizar su aprendizaje para repercutir positivamente en su pueblo y en su país, concentrando su obra y su esfuerzo en mejorar la calidad de vida y las oportunidades de las nuevas generaciones.

*"Pero, ¿qué hago con este privilegio? Desde que era estudiante quería brindar mejores oportunidades a otros niños en Gando."*⁹

Francis Kéré

El ejercicio de la arquitectura no está libre de todos los condicionantes socioeconómicos mencionados y será necesario encontrar soluciones que operen con los pocos recursos disponibles. La elección de materiales de construcción se ve reducida a los materiales locales. Los medios mecánicos y tecnológicos habituales en el proceso constructivo de los países desarrollados son inasequibles. El personal disponible para la construcción carece de formación técnica. Las redes de instalaciones se concentran únicamente en las zonas urbanas quedando la mayoría de la población sin acceso a electricidad, abastecimiento de agua o saneamiento.

Ante esta situación, Francis Kéré tratará de ofrecer una respuesta a cada uno de los obstáculos que enfrenta. *"Te ves obligado a construir con materiales locales, porque no hay dinero para traerlos de lejos."*

*Es así de fácil. Te ves obligado a convertir a los vecinos en albañiles, porque no se puede contratar a una constructora ni pagar grandes salarios a tus colaboradores. Te ves obligado a aplicar métodos de aireación natural, porque el país no tiene dinero para comprar aparatos de aire acondicionado ni para pagar cada mes una factura de electricidad elevada."*¹⁰

Este marco inusual afecta a la misma concepción de la arquitectura que defiende Kéré: *"en lo más profundo, la arquitectura consiste en servir a la humanidad."*¹¹ Del mismo modo, influye en su opinión acerca de la gestión de los recursos económicos y materiales. *"El dinero gastado para construir más de lo que es necesario, de lo que es imprescindible, es dinero despilfarrado."*¹²

⁹ Diébédo Francis Kéré, «How to build with clay... and community - TED», video, YouTube, accedido 15 de noviembre de 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=MD23gllr52Y&list=PL5D3c1OGzsJfQSnMTgK-uaoZ1tVBOSYno&index=3&t=103s>.

¹⁰ Kéré, «Diébédo Francis Kéré», 128.

¹¹ Francis Kéré «El visionario humilde», entrevista por Eduardo Prieto. En *Francis Kéré: primary elements*. (Madrid: Fundación ICO, 2018), 232.

¹² Kéré, «Diébédo Francis Kéré», 126.

4. PARÁMETROS AMBIENTALES

Una de las tareas principales de la arquitectura es la búsqueda del confort, el diseño de ambientes agradables para desarrollar una determinada acción. En la arquitectura reciente, la tendencia habitual ha sido la de aislar las construcciones y apoyarse en sistemas artificiales que reproduzcan las condiciones ambientales deseadas en el interior, independientemente de las características exteriores del entorno. Como se ha mencionado previamente, este sistema genera una gran demanda energética posicionando la climatización artificial de los edificios como uno de los factores más nocivos en la crisis climática actual.

Frente a este modelo, la arquitectura pasiva se presenta como aquella que procura la gestión energética óptima de las edificaciones. Este tipo de construcción se adapta y se apoya en los factores ambientales para diseñar una respuesta arquitectónica que, a través de sistemas pasivos de control ambiental, garantiza valores de confort adecuados en el edificio. El resultado es una arquitectura vinculada a la realidad local, en que los avances técnicos y los conocimientos tradicionales se combinan para ofrecer una respuesta lógica. En contextos con recursos limitados como el que enfrenta la obra de Kéré, se presenta no solo como la opción más eficiente, sino como la única solución viable.

"Yo no construí una escuela ecológica y sostenible por razones ideológicas, para defender una línea de actuación o proclamar una

*línea de pensamiento. Lo hice porque me parecía lo más lógico y, también, porque no tenía otro remedio."*¹³

Francis Kéré

Las características ambientales del lugar tienen, en este caso, un papel principal en el diseño arquitectónico por lo que es necesario conocer sus efectos en las condiciones de bienestar para proponer las soluciones adecuadas. Serra Florensa y Coch Roura en el libro *Arquitectura y energía natural*¹⁴ presentan un minucioso estudio sobre el efecto de los fenómenos ambientales en la percepción del confort. En el texto se define como preexistencias ambientales a las características climáticas, biológicas o tecnológicas que será necesario conocer para determinar la respuesta más eficiente que la arquitectura debe ofrecer al lugar.

Tomando como referencia el libro antes mencionado, se analiza a continuación el territorio en que se emplaza la obra de Francis Kéré. Se estudian las consecuencias de las **características climáticas** así como los efectos **otros factores ambientales** que influyen en los valores de bienestar. Se considerarán también aquellos parámetros descritos en otras publicaciones que complementen la investigación.

El estudio de estos parámetros ambientales servirá para conocer el entorno al que deberá responder la arquitectura de Kéré, así como para anticipar las estrategias que resultarán más eficaces en su búsqueda del confort.

¹³ Kéré, «Diébédo Francis Kéré», 128.

¹⁴ Rafael Serra Florensa y Helena Coch Roura, *Arquitectura y energía natural*, (Barcelona: Edicions UPC, 1995).

4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la principal fuente de energía del planeta e influye de manera determinante en todos los fenómenos climáticos. Los fenómenos radiantes son los principales responsables de la variación térmica que "(...) *con bajas velocidades de aire depende de este parámetro en un 50%*" por lo que es sensato considerar que "*cualquier estudio del funcionamiento térmico de la arquitectura debería comenzar por la radiación*".¹⁵

La incidencia de la radiación solar varía a lo largo de la superficie terrestre dependiendo, principalmente, del espesor de la atmósfera a atravesar hasta alcanzar el terreno. Debido a su proximidad al ecuador, en el área a estudiar la incidencia de la radiación solar resulta muy intensa por lo que sus efectos en el ambiente serán también especialmente importantes.

La energía de la radiación solar se transmite a través de ondas electromagnéticas y se manifiesta en forma de energía lumínica, luz, y energía térmica, calor. Su aporte energético final sobre un elemento dependerá de varios componentes, la radiación directa que incide sobre el elemento, la radiación difusa reflejada por la atmósfera o las superficies del entorno y la radiación reemitida por otros elementos cargados de energía térmica.

En el territorio a analizar la **radiación directa** es muy intensa durante la mayor

parte del año y con una incidencia muy marcada en las direcciones este, oeste y cenital. En consecuencia, el aporte térmico provoca temperaturas muy altas que suponen un desafío esencial para lograr el confort en este clima. El intenso asoleo provoca fuertes contrastes entre las áreas afectadas por el sol o la sombra.

En este contexto resulta imprescindible limitar al máximo la incidencia de la radiación directa sobre los edificios y en los espacios interiores. Será favorable la orientación norte-sur de los volúmenes, limitar el tamaño de las aberturas y proteger los cerramientos con elementos que impidan la incidencia directa de la radiación, priorizar la sombra.

Con respecto a la **radiación difusa** la respuesta es similar a la anterior, limitar la incidencia de la luz implica limitar la energía térmica asociada a esta radiación y, por tanto, reducir el aumento de temperatura.

La obra de Kéré se desarrolla en áreas rurales con baja densidad de edificación por lo que la radiación reflejada estará redirigida principalmente por el terreno. Además es necesario considerar dos situaciones específicas de este territorio: el cielo cubierto en la temporada de lluvias y las nubes de polvo en suspensión. En ambos casos las partículas contenidas en el aire implican un aumento de la radiación difusa.

Este tipo de radiación procede de múltiples direcciones por lo que, para limitar sus efectos sobre las edificaciones, será conveniente disponer

¹⁵ Rafael Serra Florensa, *Arquitectura y climas*, GG Básicos (Barcelona: Editorial G. Gili, 1999), 33.

sistemas de filtrado que protejan el volumen en cualquier dirección. Es especialmente arriesgada la radiación difusa que pueda entrar a través de los huecos. En este caso, además del aporte térmico, la intensa luminosidad concentrada en las aberturas genera fuertes contrastes lumínicos en el espacio interior lo que dificulta la visibilidad en la sala. Ante esta situación es necesario disponer en los huecos elementos que amortigüen y redirijan la radiación para garantizar una correcta iluminación en el interior del edificio.

Los elementos afectados por la radiación, directa o reflejada, absorben parte de esta energía y la retransmiten generando su propio efecto radiante. Esta **radiación reemitida** aporta también energía térmica pero, en este caso, no está asociada con el aporte de luz por lo que resulta más difícil de reconocer.

Las edificaciones expuestas a radiaciones intensas reemiten esta energía hacia los espacios interiores lo que puede generar importantes sobrecalentamientos. En el clima a estudiar el aporte térmico por radiación reemitida de los cerramientos debe ser considerado para ofrecer valores adecuados de confort en los edificios. Para limitar los efectos de esta radiación es favorable la construcción pesada y el uso de materiales densos que retrasen lo máximo posible la transmisión de energía al interior amortiguando la variación térmica en la sala. Del mismo modo, resulta eficaz proteger los cerramientos y especialmente la cubierta con cámaras de aire ventiladas que permitan la disipación del calor antes de que alcance el interior.

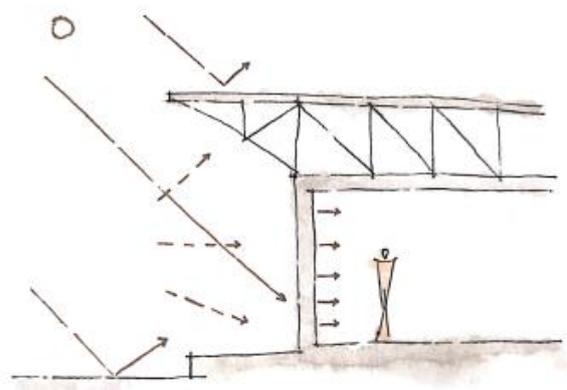


Fig 4.01 Radiación solar. Esquema de incidencia de las distintas radiaciones. Elaboración propia.

TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura del aire depende principalmente de entorno energético producido por la radiación. Las superficies afectadas por la radiación transmiten parte de su energía térmica por convección al aire calentándolo o enfriándolo. En el caso de estudio la intensa radiación solar provoca que el aire llegue a alcanzar **temperaturas extremadamente altas**.

La temperatura del aire estará influida también por diversas características geográficas del territorio a analizar. En el área de Burkina Faso no se encuentran grandes masas de agua en superficie que puedan amortiguar las oscilaciones térmicas. El relieve se considera plano en todo el país sin perfiles de altura suficiente para percibir un descenso notable de la temperatura. La vegetación es muy escasa en la mayor parte del territorio por lo que sus efectos sobre la temperatura del aire son limitados.

En consecuencia, las temperaturas del aire serán muy altas durante el día y moderadas durante la noche. Para garantizar el bienestar en las construcciones es necesario prever sistemas de ventilación y pretratamiento de aire que alivien el ambiente interior manteniendo una temperatura confortable durante todo el día.

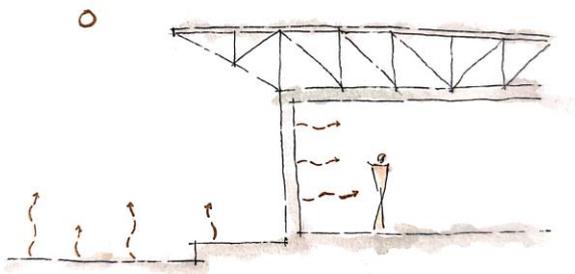


Fig 4.02 Temperatura del aire. Esquema. Elaboración propia.

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

La humedad relativa expresa el porcentaje de vapor de agua contenido en el aire con respecto al valor máximo de vapor que ese aire puede contener. La capacidad máxima del aire de contener vapor de agua aumenta progresivamente al aumentar su temperatura. En consecuencia, si la cantidad de vapor de agua no varía, el porcentaje de humedad relativa será inversamente proporcional a la temperatura del aire.

El ambiente en el que se desarrolla la arquitectura de Kéré presenta humedades relativas bajas o moderadas por lo que se considera un **ambiente seco**. Las altas temperaturas y la escasez de elementos que puedan aportar vapor al ambiente, como grandes masas de agua o vegetación, suponen que el contenido de vapor de agua en el aire esté lejos de alcanzar su máximo. Este amplio margen resulta favorable en el proceso de refrigeración del cuerpo humano ya que permite un **gran potencial evaporativo**.

El cuerpo humano expuesto a altas temperaturas activa el sistema de transpiración para tratar de mantener una temperatura constante. Este mecanismo compensa el exceso de energía térmica empleando esta energía en el proceso de evaporación de agua.

En ambientes con porcentajes altos de humedad relativa la cantidad de vapor de agua de transpiración que el aire puede admitir es reducida al estar próximo su límite de capacidad. Por el contrario, en ambientes secos el aire tiene capacidad para admitir grandes cantidades de vapor y por tanto es

posible lograr mayores pérdidas de calor por transpiración.

Por otra parte, cuando la humedad del aire es muy baja puede provocar malestar físico al resecar las mucosas llegando a dificultar la respiración. Ante esta situación es conveniente incorporar en el diseño arquitectónico elementos que puedan aumentar la cantidad total de vapor de agua contenido en el aire.

MOVIMIENTO DEL AIRE

El movimiento de aire está influenciado por múltiples factores ambientales siendo el principal *"la existencia de masas de aire a diferente temperatura (y presión) por efecto de la radiación"*.¹⁶ En este caso, la repercusión de las características locales es especialmente importante. La topografía, la vegetación o la presencia de grandes masas de agua pueden variar los movimientos de aire por lo que es necesario un estudio específico para cada emplazamiento a analizar.

El territorio de Burkina Faso está afectado por dos vientos predominantes muy diferenciados que, a pesar de no ser muy intensos, generan un impacto significativo en las condiciones ambientales.

Durante los meses de invierno el país está afectado por vientos del noreste originados en el Sáhara. Este viento es cálido y está **cargado de polvo** tras su paso por el desierto por lo que causa una gran incomodidad en el ambiente. Además de las molestias físicas, como irritaciones o dificultades respiratorias, el impacto continuo de las partículas de polvo puede provocar la erosión de los

materiales y por tanto la degradación de las construcciones. Para evitar estos efectos perjudiciales se deben limitar las superficies expuestas a estos vientos e incorporar elementos de filtrado que reduzcan el impacto.

En verano el aire se mueve en la dirección opuesta. El viento procede del suroeste, de las regiones ecuatoriales, por lo que es también un viento cálido pero en este caso **cargado de humedad**. En consecuencia, durante este período aumenta la humedad relativa del aire provocando la temporada de precipitaciones.

En ambas situaciones el movimiento de aire puede emplearse para **favorecer la ventilación** en los espacios interiores. Diseñando sistemas de renovación y pretratamiento de aire que aprovechen los vientos es posible mejorar de forma notable las condiciones de confort interior en las edificaciones.

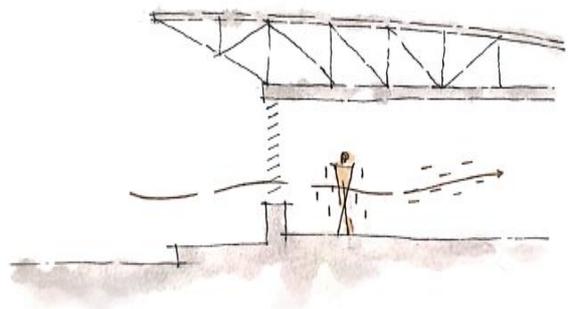


Fig 4.03 Potencial evaporativo. Esquema. Elaboración propia.

¹⁶ Serra y Coch, *Arquitectura y energía natural*, 182.

4.2 OTROS FACTORES AMBIENTALES

PRECIPITACIONES

Como se ha mencionado previamente, el clima en este territorio es fundamentalmente seco durante la mayor parte del año. Las escasas precipitaciones se concentran en los meses de verano mientras que el resto del año presenta largas temporadas de sequía. Los territorios situados al sur, más próximos a la zona ecuatorial, reciben las mayores precipitaciones, mientras que su frecuencia disminuye gradualmente hacia las áreas del norte más próximas al desierto.

Durante el verano, la superficie del terreno, calentada por la radiación, transmite su temperatura a los vientos húmedos del sur provocando un movimiento ascendente de aire. Al enfriarse con la altura, la humedad contenida en el aire condensa provocando lluvias breves e intensas. Debido a la aridez y la naturaleza arcillosa del suelo, el terreno filtra muy lentamente el agua de lluvia por lo que es habitual que se produzcan **inundaciones** durante este período.

La lluvia y las inundaciones son mencionadas por Kéré como algunas de las condiciones climáticas que más afectan a las construcciones tradicionales en Burkina Faso, cuyo principal material de construcción es la arcilla del terreno. Este material resulta favorable con respecto a las altas temperaturas, pero es vulnerable frente a la **degradación** causada por el agua, por lo que habitualmente es necesaria la reconstrucción de las edificaciones tras la temporada de lluvias.

Ante esta situación, resultan eficaces las estrategias que eviten o limiten el contacto del agua con los materiales susceptibles de ser degradados. Además, es conveniente incorporar sistemas de canalización y almacenamiento de agua en previsión de los períodos de sequía.

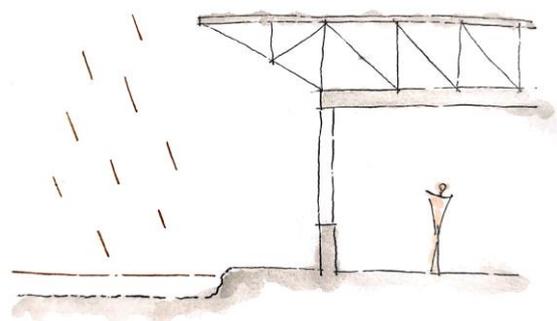


Fig 4.04 Precipitaciones. Esquema de degradación causada por el agua. Elaboración propia.

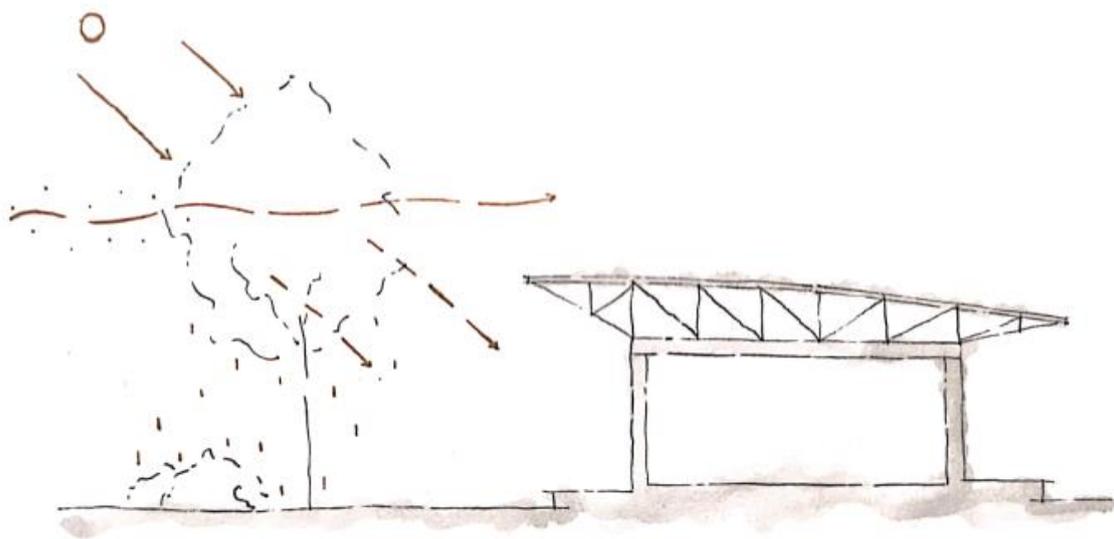
VEGETACIÓN

La vegetación existente puede influir de manera determinante sobre algunos de los factores descritos previamente. El tipo de vegetación, su altura o su frondosidad pueden afectar, positiva o negativamente, a los valores de confort de la zona. En términos generales, *"en todas las zonas cálido-secas, el efecto beneficioso de incluso la vegetación más ligera es bastante considerable y el diseñador debe tener en cuenta todas las plantas existentes"*.¹⁷

En este tipo de clima la vegetación representa la primera defensa contra las condiciones del medio, la **sombra**. La cubierta vegetal limita la radiación solar directa que alcanza el suelo reduciendo la cantidad de calor que el terreno acumula y transmite al aire. Los árboles generan bajo su copa un espacio en sombra y ventilado donde es posible protegerse de la radiación, por lo que se presentan habitualmente como un elemento simbólico y de reunión muy importante para las comunidades.

Al mismo tiempo, en los terrenos cubiertos de vegetación se reduce la cantidad de partículas del suelo arrastradas por los vientos. Además, los elementos vegetales frondosos actúan como **filtro** frente al polvo contenido en el aire ayudando a reducir sus efectos perjudiciales.

La mera presencia de elementos vegetales tiene efectos también sobre las condiciones térmicas de confort. Al estar expuestas a temperaturas tan elevadas las plantas activan su propio sistema de regulación térmica por **evapotranspiración**. Para evitar sobrecalentamientos la energía térmica se invierte en el proceso de evaporación del agua contenida en el interior de las plantas. En consecuencia, el ambiente experimentará un aumento de la humedad relativa del aire y un descenso de su temperatura. Como se ha mencionado, el aumento de humedad relativa resulta incluso beneficioso en el contexto climático a estudiar.



¹⁷ Allan Konya, *Design primer for hot climates* (London: Architectural Press, 1980), 36. (Traducción propia)

Fig 4.05 Vegetación. Esquema de los efectos de la vegetación. Elaboración propia.

En el territorio de Burkina Faso la disminución gradual de las lluvias hacia el desierto implica una variación paralela de la vegetación. Por tanto, las construcciones de Kéré distribuidas por este territorio se emplazan en entornos también variables.

En las regiones del sur las precipitaciones y la vegetación son más abundantes y es habitual que el terreno esté cubierto de hierbas con bastantes árboles y arbustos dispersos. En estas circunstancias es posible aprovechar sus efectos beneficiosos a partir de la conservación de la vegetación preexistente e incluso intervenir sobre ella incorporando nuevos elementos vegetales que resulten favorables.

La vegetación disminuye de manera gradual hacia los territorios del norte dando paso a terrenos muy áridos, con algunos arbustos espinosos y árboles muy escasos y dispersos. En este caso serán necesarios sistemas complementarios de riego si se pretende generar una estructura vegetal que reduzca la hostilidad del entorno. La vegetación pasa a entenderse como una estrategia de diseño y no como una preexistencia.

TORMENTAS DE ARENA

Se trata de un fenómeno local, propio de los territorios más áridos, provocado por vientos intensos que arrastran y elevan una gran cantidad de partículas de arena del suelo. Esta situación es menos frecuente pero mucho **más agresiva** que los vientos con polvo en suspensión ya mencionados. Las altas velocidades del viento y el mayor tamaño de las partículas de arena pueden provocar graves daños físicos y materiales.

Debido a su peso, la arena no se eleva tanto como el polvo y tiende a acumularse en las superficies de los edificios provocando una sobrecarga que debe ser considerada en el diseño de los elementos estructurales. En áreas donde este fenómeno sea habitual es conveniente prever barreras perimetrales que reduzcan el impacto directo sobre las construcciones y diseñar espacios protegidos que sirvan como refugio.

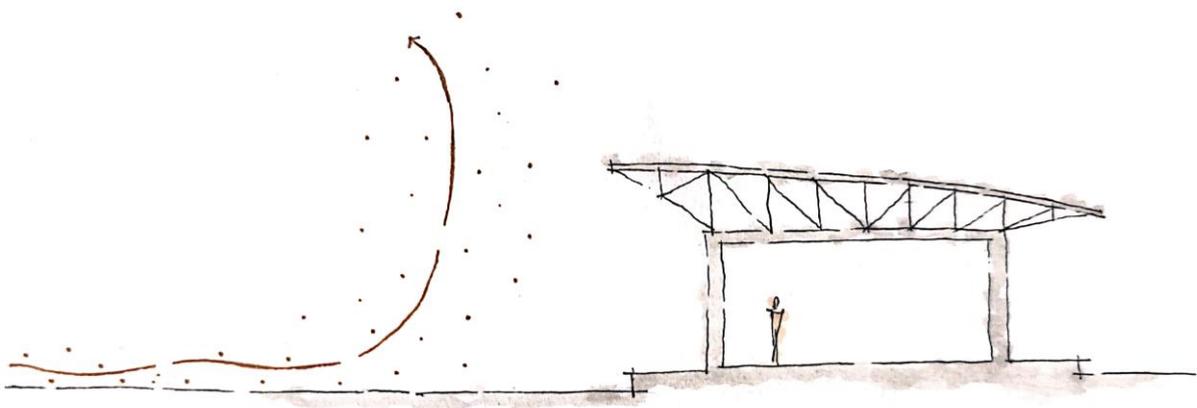


Fig 4.06 Tormentas de arena. Esquema. Elaboración propia.

INSECTOS

Los insectos pueden suponer una amenaza importante para las condiciones de bienestar. En algunos casos, además de una molestia, conllevan mayores riesgos que será importante tener en cuenta desde el diseño arquitectónico para poder garantizar espacios seguros. La presencia de insectos es un factor característico de los climas cálidos que depende en gran medida de las condiciones locales de cada región.

En el territorio burkinés, al igual que en otros muchos países, los **mosquitos** representan uno de los principales peligros para la población debido a la transmisión de graves enfermedades infecciosas. Para proteger los espacios interiores es fundamental incorporar en los huecos elementos que impidan el paso de estos insectos, especialmente durante la noche al ser las horas más vulnerables. Los mosquitos y otros insectos se concentran en zonas húmedas y aguas estancadas por lo que es necesario aislar y proteger cuidadosamente cualquier elemento de almacenamiento de agua para evitar su proliferación.

Además de los mosquitos, la abundancia de **termitas** en este territorio es un factor destacado a considerar. En este caso no representan una amenaza sanitaria pero sí un riesgo para las construcciones. Estos insectos son muy agresivos con los elementos de madera, papel o textiles y pueden llegar a causar importantes niveles de degradación en estos materiales. Es conveniente examinar el terreno previamente a la construcción y evitar aquellos lugares donde se encuentren signos de nidos que pueden estar enterrados o en la superficie. Adicionalmente es prudente evitar el contacto directo con el terreno de aquellos materiales susceptibles de ser degradados por las termitas.

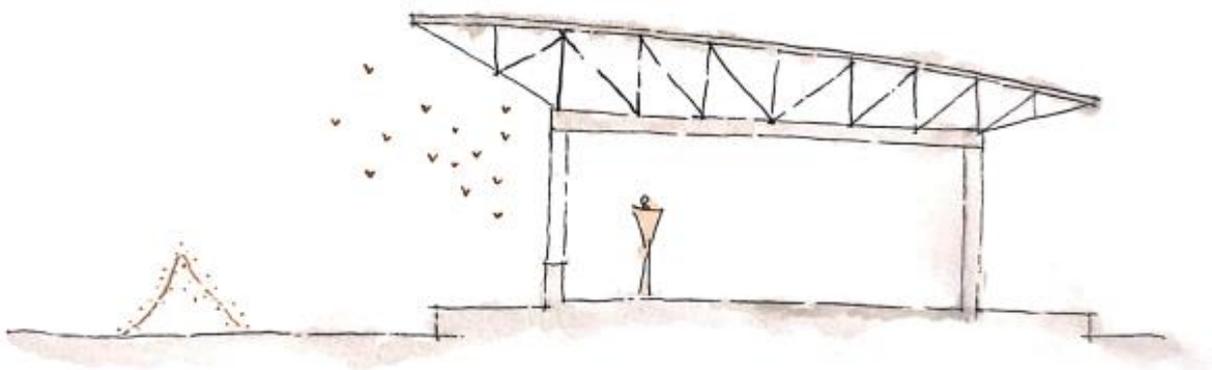


Fig 4.07 Insectos. Esquema de las principales amenazas: mosquitos y termitas. Elaboración propia.

5. FRANCIS KÉRÉ. ESTRATEGIAS PASIVAS DE CONTROL CLIMÁTICO

Como se ha mencionado anteriormente, en este trabajo se realiza una aproximación a la obra de Francis Kéré desde el punto de vista de la adaptación al clima. Según sus propias palabras, su curiosidad por la arquitectura surgió al observar la ineficiencia de los edificios frente a las condiciones climáticas, concretamente, la degradación durante la temporada de lluvias y el intenso calor en el interior de las aulas. *"Ambas impresiones tempranas me hicieron reflexionar y despertaron en mí la voluntad de intentar mejorar las cosas."*¹⁸

Sin dejar de considerar otros aspectos determinantes de su obra; como la identidad cultural, la participación de la comunidad o la repercusión social; la investigación se centra en **identificar y analizar los sistemas pasivos** con los que Kéré trata de responder a las preexistencias ambientales previamente descritas, y garantizar el confort en su arquitectura.

Se han estudiado un total de 15 obras, todas situadas en el marco climático y social anteriormente planteado. La principal fuente de información ha sido la web oficial del estudio Kéré Architecture¹⁹ y se ha completado con datos extraídos de otras publicaciones entre las que destaca la monografía *Francis Kéré: primary elements*²⁰. Finalmente, se han seleccionado aquellos proyectos de los que se ha recogido información suficiente para el

análisis, y se ha organizado la documentación generando una base de datos de cada una de las obras.

Todos los proyectos se han estudiado individualmente examinando planos, diagramas, fotografías y textos, y se ha elaborado una nueva documentación personal en la que se exponen las estrategias pasivas de control climático empleadas en cada uno. Como punto de partida se ha escogido la primera construcción de Kéré, la **escuela primaria en Gando**. Esta obra resulta casi un manifiesto en el que se observan algunos de los elementos que serán representativos de su arquitectura.

Los datos extraídos del proceso de investigación de cada una de las obras se recogen y clasifican en la siguiente tabla (Fig. 5.01). Tras examinar los datos en conjunto, es posible identificar un patrón constante de determinados elementos repetidos, que se verán complementados por otros ocasionales según las condiciones específicas de cada proyecto. A partir de esta diferenciación, se propone organizar el análisis de los sistemas de adaptación de la obra de Kéré en dos categorías: estrategias recurrentes y estrategias ocasionales.

Se presenta a continuación el estudio y análisis gráfico de cada una de las estrategias pasivas de control climático reconocidas en la obra de Francis Kéré, su funcionamiento y su integración en el diseño arquitectónico.

¹⁸ Francis Kéré, «El visionario humilde», 222.

¹⁹ «Kéré Architecture», accedido 7 de enero de 2021, <https://www.kerearchitecture.com>.

²⁰ *Francis Kéré: Primary elements* (Madrid: Fundación ICO, 2018).

Fig. 5.01 Estrategias pasivas en la obra de Francis Kéré. Elaboración propia.

	CERRAMIENTO	ELEVACIÓN	CUBIERTA VENTILADA	TECHO PERFORADO	PERSIANAS DE LAMAS	RELIEVE FACHADA	ENVOLVENTE CALADA	GEOMETRÍA HUECOS	PATIOS INTERIORES	RECOGIDA AGUAS	ESTANQUES	PROTECCIÓN VIENTO	VEGETACIÓN	INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE	CHIMENEAS
ESCUELA PRIMARIA GANDO	•	•	•	•	•	•									
AMPLIACIÓN ESCUELA GANDO	•	•	•	•	•	•									
VIVIENDAS MAESTROS GANDO	•	•	•	•	•					•					
BIBLIOTECA GANDO	•	•	•	•	•	•	•					•			
ESCUELA SECUNDARIA GANDO	•	•	•	•	•	•	•			•		•	•	•	
CENTRO DE MUJERES GANDO	•	•	•	•	•										
ATELIER GANDO	•	•	•	•					•				•		
ESCUELA SECUNDARIA DANO	•	•	•	•	•							•	•		
OPERA VILLAGE LAONGO	•	•	•	•	•	•				•		•	•		•
CENTRO SALUD LAONGO	•	•	•	•	•			•	•	•		•	•		
CENTRO SALUD LÉO	•	•	•	•	•			•		•			•		
VIVIENDAS MÉDICOS LÉO	•	•	•	•	•			•		•	•	•	•		
LICEO SCHORGE KOUDOUGOU	•	•	•	•	•		•			•		•	•		•
ORFANATO NOOMDO KOUDOUGOU	•	•	•	•	•				•			•	•		
BIT INSTITUTO DE TECNOLOGÍA KOUDOUGOU	•	•	•	•			•			•		•	•		•

5.1 ESTRATEGIAS RECURRENTE

Se trata de estrategias comunes, presentes en todos o la mayor parte de los proyectos.

Condicionan y conforman la arquitectura de Kéré. Se presentan como elementos primarios que responden a principios básicos de su diseño. Son en gran medida responsables de la imagen característica y reconocible de su obra.

Su relevancia esencial confirma la premisa de las estrategias pasivas de control climático como uno de los pilares fundamentales de su arquitectura.

CERRAMIENTO

En cada uno de los proyectos, la construcción de los muros de cerramiento está vinculada a los materiales disponibles en su entorno inmediato. La decisión de utilizar materiales locales supone una evidente ventaja económica al eliminar los costes de transporte y, por tanto, un gran alivio cuando se trata de proyectos con presupuestos tan limitados.

Los muros de cerramiento se ejecutan con materiales extraídos del terreno en que se emplazan. La solución más habitual son los bloques de tierra comprimida, fabricados a partir de la arcilla del terreno modelada con prensas manuales. En algunas regiones el terreno contiene piedra laterita que, gracias a su sencilla extracción y manipulación, resulta también adecuada para estas construcciones.

En ambos casos, Kéré utiliza los bloques de arcilla o laterita formando gruesos muros que no aíslan, sino amortiguan los efectos de la radiación solar en el interior. La opacidad del cerramiento bloquea el paso de la radiación solar directa y reflejada, pero parte de esta radiación es absorbida por los muros. Gracias a la densidad del material y el espesor del cerramiento, la transmisión de esta energía se ralentiza y se reduce la oscilación térmica de la cara interior. La radiación que el muro reemite es más regular y la transmisión de calor al interior de la estancia más estable y moderada.

Además de favorecer el ahorro económico y el confort interior, estos cerramientos se presentan como un elemento integrador. Establecen un vínculo entre la obra de Kéré y la comunidad al emplear materiales propios de la arquitectura vernácula que generan un inmediato sentimiento de identidad.

Estos materiales presentan un inconveniente, son muy vulnerables frente a la acción del agua, del mismo modo que las edificaciones locales construidas con adobe. Tradicionalmente, *"tras la temporada de lluvias hay que reparar los edificios, que pueden quedar muy dañados"*²¹ lo que implica un continuo trabajo de reconstrucción. Para reducir este esfuerzo de mantenimiento, Kéré diseña sistemas específicos de protección frente a la lluvia que previenen la degradación de los muros.



Fig 5.02 Construcción de muro doble de bloque de piedra laterita. Escuela secundaria en Dano. Fotografía de Kéré Architecture.

²¹ Kéré, «Diébédó Francis Kéré», 130.

ELEVACIÓN SOBRE EL TERRENO

Los diferentes volúmenes se construyen sobre una o varias plataformas ligeramente elevadas sobre el terreno. De esta forma, es posible evitar que sean alcanzados por las inundaciones habituales durante la temporada de lluvias y, en consecuencia, evita también la degradación causada por el agua. Kéré define este elemento como *"un lugar seco, que protege y resulta acogedor, y que, en la medida en que lo hace, sostiene, por así decir, a la comunidad."*²²

Generalmente se construyen plataformas macizas de tierra compactada o piedra aunque existen excepciones ejecutadas en hormigón armado. En estos casos es posible concentrar los apoyos de la plataforma en determinados puntos para permitir, además, la ventilación inferior que favorece la disipación de calor del interior del volumen.

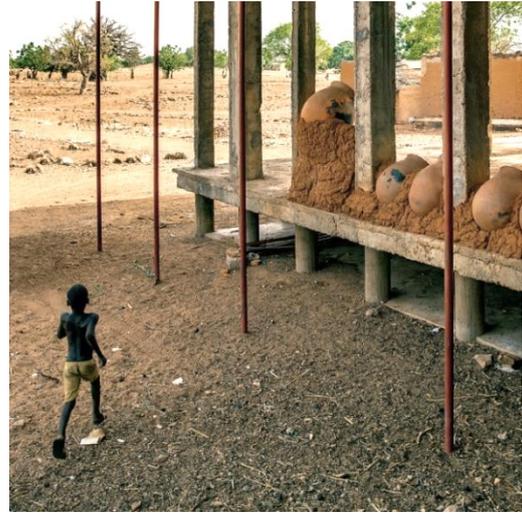


Fig 5.03 Plataforma elevada y ventilada. Centro de mujeres en Gando. Fotografía de Daniel Schwartz.

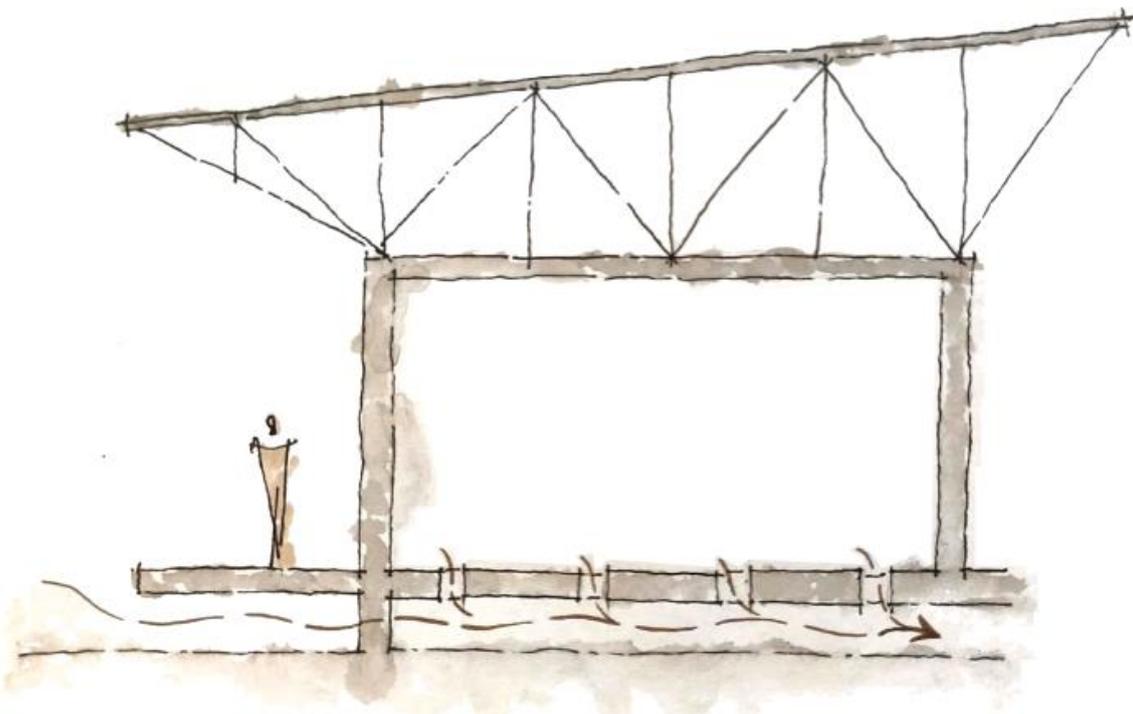


Fig 5.04 Elevación sobre el terreno. Esquema de ventilación inferior. Elaboración propia.

²² Kéré, «El visionario humilde», 228.

CUBIERTA VENTILADA

Las construcciones están cubiertas por un gran tejado ligero compuesto por una o varias láminas metálicas y apoyado sobre un entramado de barras que lo mantiene separado del techo interior.

Esta solución supone una innovación en la región donde, si bien existen experiencias previas de cubiertas ejecutadas con este material, habían supuesto un fracaso para el confort interior. En el diseño de estas piezas Francis Kéré pone en práctica conceptos y habilidades adquiridos a lo largo de sus años de formación técnica.

Además de ser uno de los elementos más reconocibles de estas construcciones, es también una parte determinante en el comportamiento del edificio ya que cumple una triple función: *"protege el edificio de la lluvia, del calor excesivo, y además favorece la ventilación natural. Eso sí fue una novedad importante."*²³

En primer lugar, esta solución proporciona sombra al conjunto. Durante las horas centrales del día la cubierta es la superficie más expuesta y su gran dimensión limita la radiación solar directa que alcanza los muros. El calor se concentra en la lámina metálica pero no se transmite a los espacios interiores ya que no están en contacto directo, por lo que se disipa a través del espacio de separación generado por las barras.



Fig 5.05 Cubierta ventilada. Ampliación de escuela primaria en Gando. Fotografía de Erik-Jan Ouwerkerk.



Fig 5.06 Cámara ventilada bajo cubierta. Escuela primaria en Gando. Fotografía de Kéré Architecture.

²³ Kéré, «Diébédo Francis Kéré», 130.

De igual manera, en la temporada de lluvias, los grandes aleros de esta estructura protegen los cerramientos de arcilla de la degradación causada por el agua. Se resuelve así una de las principales amenazas para las construcciones tradicionales de la zona que, habitualmente, requieren de una reconstrucción parcial o total tras el período de precipitaciones.

Esta solución de cubierta supone además una pieza clave en la estrategia de ventilación del conjunto. Como se ha mencionado, la separación entre la lámina y el techo interior genera una cámara continuamente ventilada por la que se disipa el calor que asciende desde el interior y evita el sobrecalentamiento de la sala. El aire caliente acumulado bajo la plancha metálica se desplaza hacia el exterior provocando un efecto de succión del aire de la estancia. Este aire interior es extraído a través de una serie de perforaciones en el techo generando así una circulación de aire continua que reduce la temperatura de la estancia y ayuda a mantener un adecuado confort térmico.

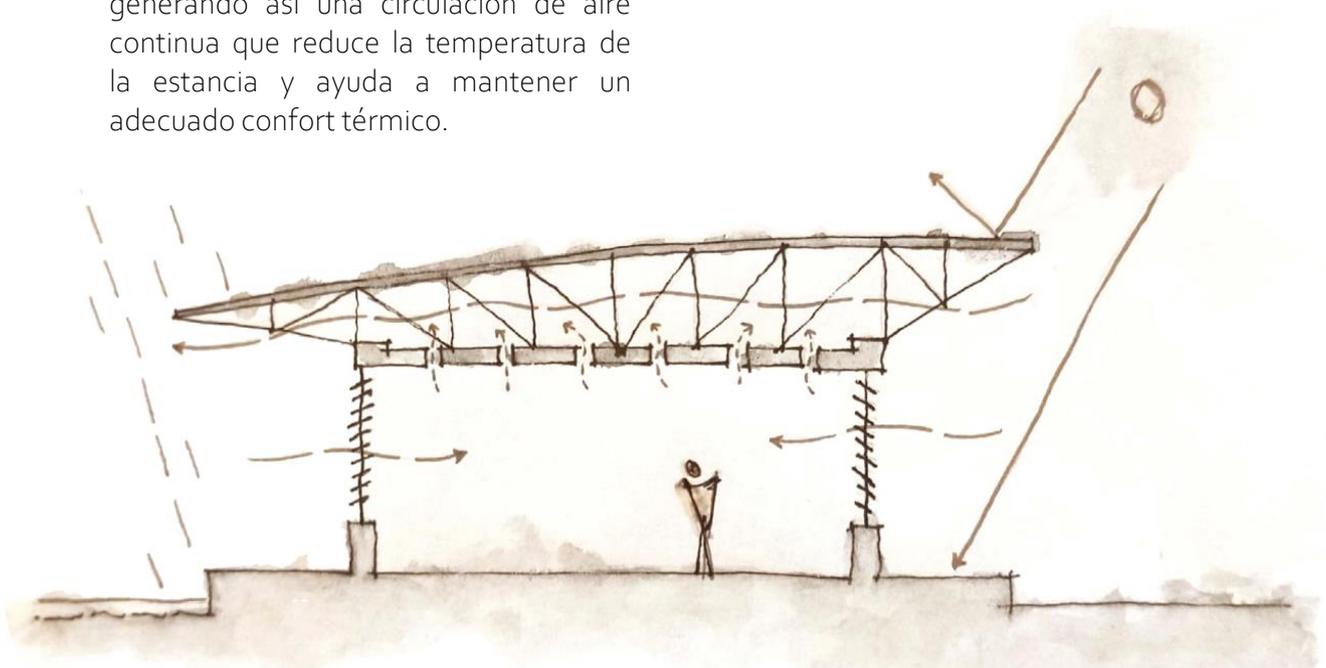


Fig 5.07 Sistema de ventilación pasiva. Esquema conjunto de los elementos de ventilación. Elaboración propia.

TECHO INTERIOR PERFORADO

Inmediatamente bajo la estructura de la cubierta se encuentra el forjado que conforma el techo interior del volumen. Este elemento se construye con materiales con características térmicas similares a las del material empleado para los muros de cerramiento, habitualmente bloques de arcilla comprimida u hormigón armado.

A lo largo de esta superficie se sitúa una serie de perforaciones que permite la extracción del aire caliente del interior impulsada por la solución de cubierta previamente descrita. De esta forma, los orificios del techo complementan el sistema de ventilación de los espacios favoreciendo la renovación de aire y por tanto regulando la temperatura interior.

La geometría del forjado varía según el proyecto desde superficies horizontales hasta formas más elaboradas como catenarias. Sin embargo, la solución más utilizada es la bóveda construida con bloques de arcilla comprimida que, por su forma, es incluso beneficiosa para la extracción del aire interior.

En algunos proyectos, los orificios de ventilación adquieren además una función plástica. Destaca la **Biblioteca de Gando**, donde el techo se conforma mediante una lámina de hormigón armado en la que se incrustan vasijas tradicionales seccionadas. De esta forma se genera un patrón irregular de perforaciones que, además de extraer el aire, ilumina el espacio interior convirtiéndolo en un elemento simbólico e identitario.



Fig 5.08 Orificios de ventilación del techo. Ampliación de escuela primaria en Gando. Fotografía de Erik-JanOuwerkerk.



Fig 5.09 Patrón de luces generado por los orificios de ventilación. Biblioteca en Gando. Fotografía de Kéré Architecture.

PERSIANAS DE LAMAS

Para completar el proceso de ventilación, se disponen en los muros una serie de grandes ventanas que actúan como entrada de aire. Estos huecos están únicamente cubiertos por persianas de lamas, de manera que el mismo elemento regula la iluminación y permite la ventilación del espacio interior.

Esta solución mantiene el sistema de ventilación del edificio en constante funcionamiento ya que la entrada de aire no se ve en ningún momento interrumpida. En algunos proyectos se aprovecha este flujo continuo situando elementos de asiento en el exterior de los huecos. De esta forma se configuran espacios de descanso confortables gracias a la corriente de aire que los atraviesa.

Las persianas controlan la dirección y la cantidad de luz que traspasa al interior tratando de garantizar una iluminación del espacio correcta en todo momento. De no ser así, la gran intensidad de la luz solar que accedería por los huecos generaría fuertes contrastes de luces y sombras en la estancia interior, dificultando gravemente la visibilidad en la sala. Es por eso que se regulan y dirigen los rayos de luz hacia el techo del local, de manera que se reflejen de forma difusa por todo el espacio provocando una iluminación indirecta y uniforme.



Fig 5.10 Asiento exterior de las ventanas. Liceo Schorge en Koudougou. Fotografía de Daniel Schwartz.

Además de esta función lumínica, las persianas sirven también una función térmica. Regular la entrada de luz implica, a su vez, regular la entrada de la energía que porta la radiación solar y, por tanto, la cantidad de calor que esta energía provoca en el interior. En este caso, las persianas regulan la radiación solar directa así como la radiación reflejada por las superficies del entorno, convirtiéndose en un elemento fundamental para el confort térmico del edificio.

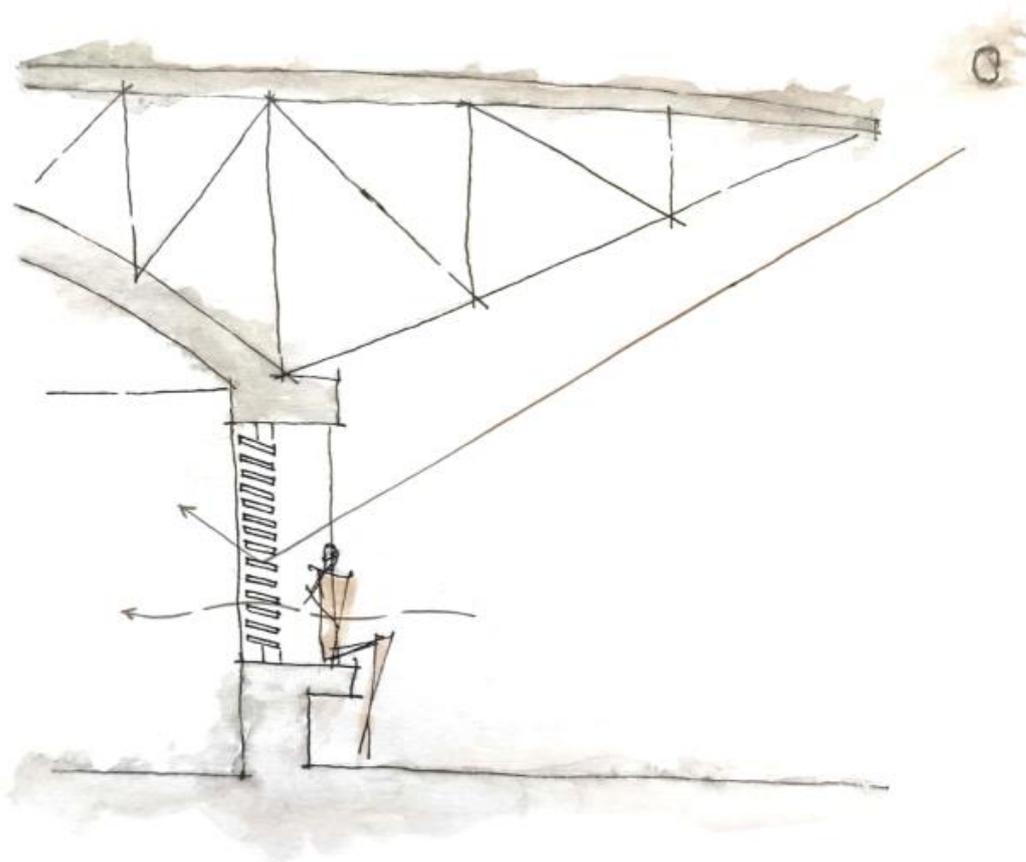


Fig 5.11 Persianas de lamas. Las persianas de lamas regulan la entrada de luz sin interrumpir el flujo de aire. Elaboración propia.

5.2 ESTRATEGIAS OCASIONALES

Se trata de elementos presentes únicamente en alguna o algunas obras. Muchos complementan y refuerzan las estrategias habituales descritas anteriormente, mientras que otros responden a condiciones concretas de cada proyecto.

Son elementos con los que Kéré experimenta tratando de mejorar el sistema de adaptación al medio de su arquitectura. Procuran un beneficio añadido en función de los objetivos y el contexto de cada obra. En algunos casos se presentan como elementos icónicos, representativos y característicos de la imagen propia del edificio.

RELIEVE EN FACHADA

En algunos volúmenes marcadamente longitudinales se acoplan a la fachada una serie de elementos verticales sobresalientes. Estos elementos, ejecutados con el mismo material que el cerramiento, se sitúan en los márgenes de cada ventana recorriendo la altura total del muro de manera que se crea un patrón regular que modula la fachada. Al disponerse perpendicularmente a la superficie y estar apoyados sobre el terreno, funcionan, a su vez, como refuerzo estructural que mejora la estabilidad de los largos muros.



Fig 5.12 Incidencia de la luz al atardecer. Ampliación de escuela primaria en Gando. Fotografía de Erik-JanOuwkerk.



Fig 5.13 Modulación de fachada a partir de los elementos sobresalientes que flanquean los huecos. Escuela primaria en Gando. Fotografía de Erik-JanOuwkerk

Esta secuencia de elementos en relieve ayuda, además, a reducir la radiación solar directa que alcanza el cerramiento. Durante las primeras y las últimas horas del día, la radiación solar es principalmente horizontal por lo que los aleros de la cubierta no proyectan suficiente sombra sobre el volumen. En esta situación, son los elementos sobresalientes los que reciben la mayor parte de la radiación solar, protegiendo los muros y las ventanas de la exposición directa y limitando el consecuente aumento de temperatura.

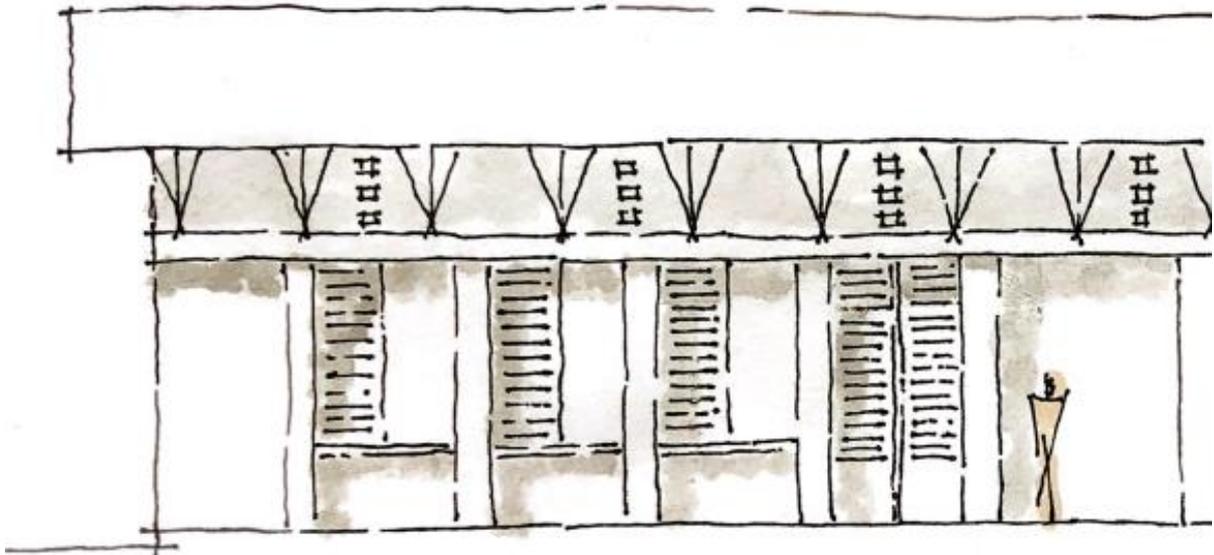


Fig 5.14 Relieve en fachada. Esquema de la proyección de sombras sobre el muro. Elaboración propia.

ENVOLVENTE CALADA

A lo largo de las fachadas exteriores de algunos edificios se instala una segunda piel formada por una empalizada de madera de eucalipto. La separación entre esta celosía y el muro principal de cerramiento genera una galería perimetral. Este recurso actúa sobre el cerramiento como una **cámara ventilada**, de manera similar a la cubierta ventilada descrita anteriormente.

La envolvente calada reduce de manera significativa la incidencia de la radiación solar directa e indirecta que alcanza el muro, facilitando el control de la temperatura y la iluminación del interior. Además, al estar ventilada, el flujo continuo de aire favorece la disipación del calor interior. Por otro lado, la celosía actúa como filtro frente al viento y reduce la erosión de los muros provocada por las partículas de arena.

La galería conforma un espacio de transición entre el interior y el exterior que se utiliza como zona de descanso y recreo. Al estar protegido del sol y atravesado continuamente por la corriente de aire, este espacio resulta especialmente agradable y popular.



Fig 5.15 Galería perimetral. Liceo Schorge en Koudougou. Fotografía de Iwan Baan.

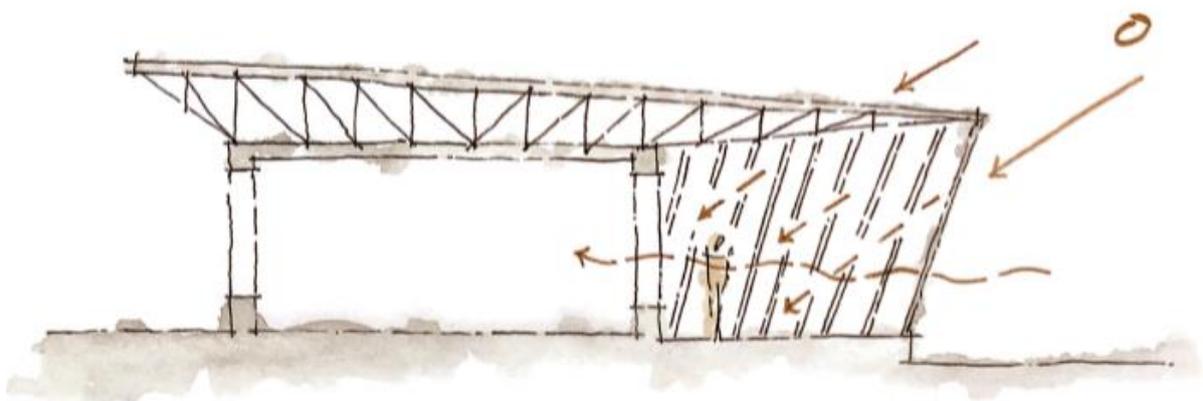


Fig 5.16 Envolvente calada. Esquema de cámara ventilada. Elaboración propia.

GEOMETRÍA DE LOS HUECOS

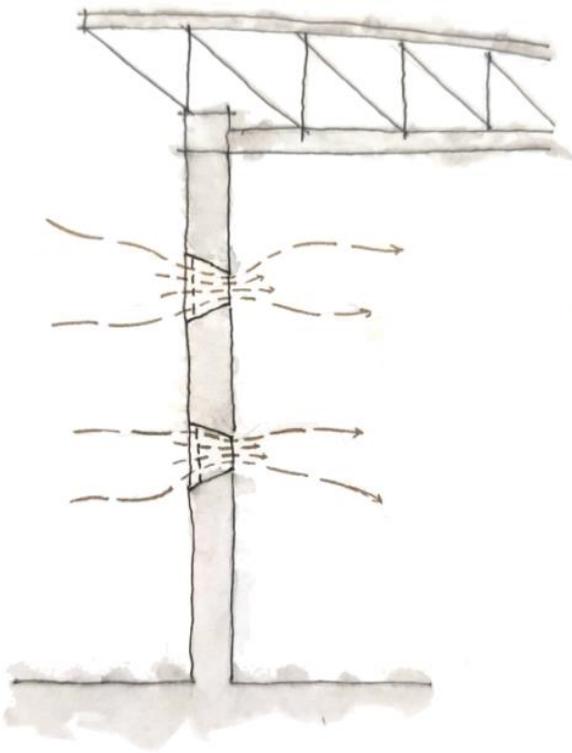


Fig 5.17 Ventanas abocinadas. Esquema de ventilación impulsada. Elaboración propia.

La solución habitual de los huecos puede no resultar apropiada en proyectos en los que se requiera un mayor nivel de privacidad, como centros sanitarios o viviendas. En estos casos Kéré propone distintos tipos de ventanas que responden a necesidades concretas del espacio sin dejar de formar parte de la estrategia de adaptación del conjunto.

Una de las propuestas son las **ventanas abocinadas** que emplea en el **Centro de Salud de Laongo**. Los muros están cubiertos por un patrón irregular de huecos abocinados hacia el interior del volumen. Esta geometría se basa en el efecto Venturi mediante el cual se impulsa el flujo de aire hacia el interior al reducir progresivamente la sección para un mismo caudal de aire y, por tanto, aumentar su velocidad. Esta solución permite una mayor privacidad al tratarse de huecos más pequeños y, al mismo tiempo, potencia la circulación natural de aire en la estancia.

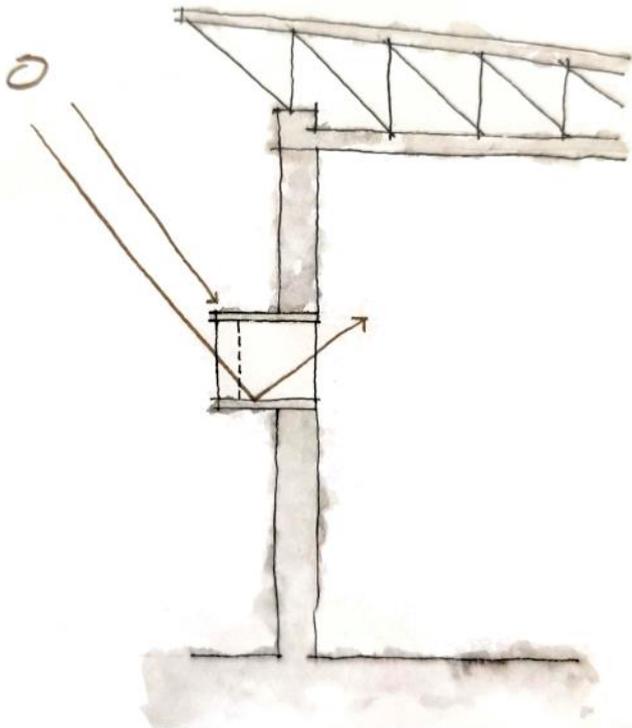


Fig 5.18 Ventanas en cajón. Esquema de radiación solar reflejada. Elaboración propia.

En otros proyectos se instalan **ventanas en cajón** que enmarcan cada una de las aberturas. Este elemento sobresale hacia la cara exterior del muro y, gracias a su profundidad, arroja sombra sobre el hueco. De esta forma, la radiación solar directa que alcanza el interior se ve limitada únicamente a aquella que la superficie del cajón refleja. Habitualmente se cubren estos huecos con mosquiteras que impiden el paso de insectos sin interrumpir la entrada de aire y permitiendo la ventilación del local.

RECOGIDA DE AGUAS

Como se ha mencionado previamente, en la estación de lluvias las precipitaciones pueden llegar a causar inundaciones en las áreas del país con mayor incidencia. En estas zonas, resulta especialmente importante proteger las construcciones de la lluvia por lo que se instalan sistemas de canalización en las cubiertas y el terreno.

El agua recogida es, a su vez, almacenada en grandes depósitos subterráneos donde se reservará para el riego durante la estación seca, permitiendo así la preservación de la vegetación a lo largo de todo el año.



Fig 5.21 Canalización de aguas. Viviendas para maestros en Gando. Fotografía de Erik-JanOuwerkerk.



Fig 5.22 Recogida de aguas. Clínica quirúrgica y centro de salud en Léo. Fotografía de Kéré Architecture.

ESTANQUES



Fig 5.23 Terraza con estanque. Viviendas para médicos en Léo. Fotografía de Andrea Maretto.

A partir del sistema de recogida de aguas, Kéré se permite ensayar nuevas soluciones como la propuesta en las **viviendas para médicos en Léo**.

En este proyecto, parte del agua recogida se acumula en una serie de estanques en las terrazas de las viviendas. Estos elementos ayudan a reducir la temperatura ambiental de su entorno por **refrigeración evaporativa**.

Durante el proceso de evaporación la masa de agua del estanque extrae energía del entorno, en este caso captando calor del aire. Así, disminuye la temperatura del flujo de aire en contacto con los estanques y se genera un ambiente exterior más fresco y húmedo.

Ante las intensas temperaturas diurnas los estanques podrían llegar a secarse por completo, por lo que se incorporan elementos vegetales, como nenúfares, que limitan y regulan el proceso de evaporación del agua. Junto con la vegetación, cada estanque alberga también peces que, al ingerir las larvas depositadas en el agua, evitarán la proliferación de insectos transmisores de enfermedades.

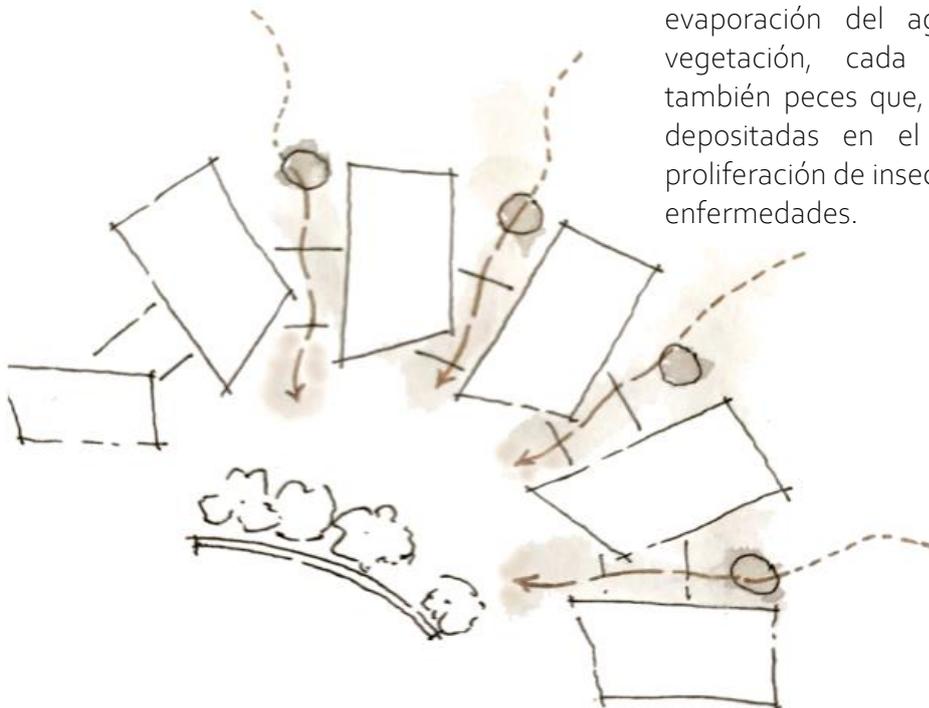


Fig 5.24 Estanques. Esquema del efecto de refrigeración ambiental. Elaboración propia.

PROTECCIÓN FRENTE AL VIENTO

Las construcciones situadas en este territorio se ven habitualmente afectadas por la erosión producida por el viento de la sabana. La escasa presencia de vegetación y la aridez del terreno permiten que el viento se cargue de partículas de polvo y arena que, al incidir sobre los cerramientos, los degradan y debilitan.

Este intenso viento no solo afecta a las construcciones, sino que incomoda y perjudica además a los individuos y sus actividades, por lo que es necesario establecer medidas de protección. En su obra, Kéré se enfrenta a esta situación de diferentes formas.

En algunos casos, es la propia **organización de los volúmenes** la que actúa como sistema de amparo. Las piezas se distribuyen encerrando un espacio central común resguardado que podrá ser utilizado incluso en los días más ventosos.



Fig 5.25 Protección frente al viento. Orfanato Noomdo en Koudougou. Fotografía de Iwan Baan.

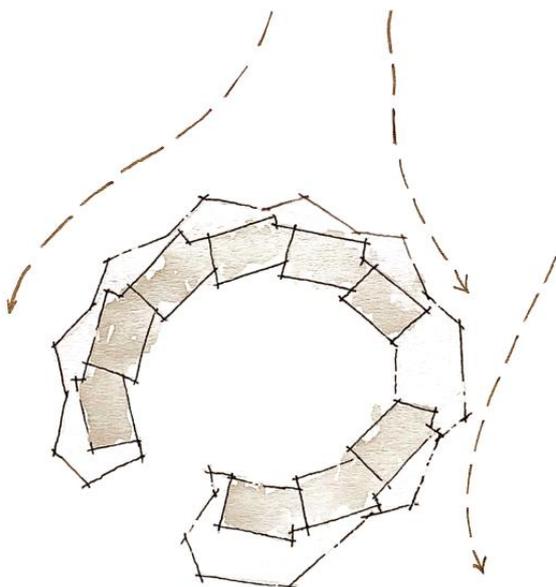


Fig 5.26 Disposición de las piezas como protección frente al viento. Esquema en planta del Liceo Schorge en Koudougou. Elaboración propia.

Las superficies exteriores expuestas a las principales direcciones del viento son protegidas con gestos que obstaculizan el flujo de aire. Se trata habitualmente de **elementos de filtrado** como celosías que envuelven el perímetro del volumen.

Frente a este agente climático, el complejo de la **Escuela Secundaria de Gando** (en construcción) responde de manera contundente e implica un factor determinante en su diseño. En este proyecto la protección frente al viento se traduce en el modelado del terreno que rodea el conjunto. De esta forma se crea una gran barrera perimetral que desvía la incidencia del viento dirigiéndola al nivel de la cubierta. Esta solución no solo evita la incidencia del aire, sino que concentra la corriente en la cubierta potenciando su efecto en la ventilación del edificio.

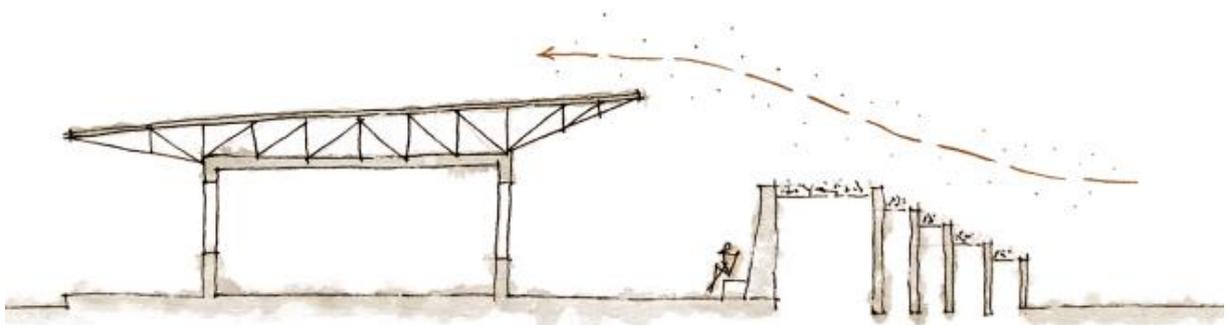


Fig 5.27 Modelado del terreno como protección frente al viento. Esquema de la Escuela Secundaria en Gando. Elaboración propia.

VEGETACIÓN

En los climas áridos la vegetación es, por definición, terriblemente escasa y, por tanto, tremendamente preciada. Los asentamientos suelen situarse en torno a un árbol, que representa la primera defensa contra este clima, la sombra. Es por eso que el almacenamiento de agua para el riego, descrito anteriormente, supone una conquista trascendental. El sistema de riego permite mantener la vegetación a lo largo del año y, además, diseñarla para aprovechar sus beneficios. En algunas obras, Francis Kéré proyecta toda una **estructura vegetal** que complementa el sistema de adaptación de las construcciones.

Como protección frente al viento, una secuencia de elementos vegetales de diferentes alturas genera una primera barrera que actúa como filtro y reduce eficazmente la velocidad y la cantidad de partículas contenidas en el aire.



Fig 5.28 Barrera vegetal. Esquema en planta de filtrado del viento y el polvo. Elaboración propia.

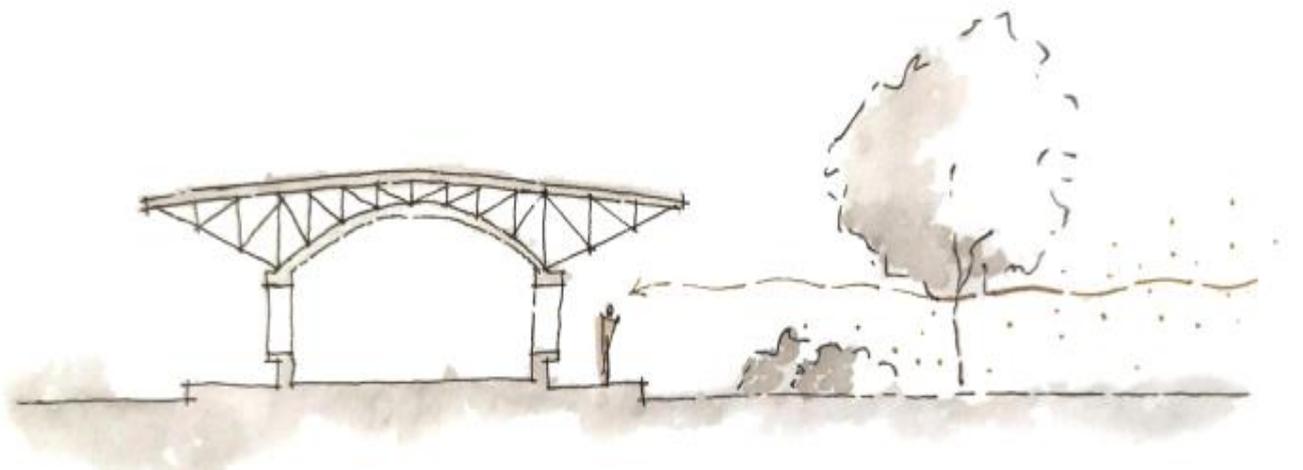


Fig 5.29 Barrera vegetal. Esquema en sección de filtrado del viento y el polvo. Elaboración propia.



Fig 5.30 Vegetación central y perimetral. Liceo Schorge en Koudougou. Fotografía de Iwan baan.

Un segundo recurso consiste en concentrar la vegetación en los patios exteriores centrales. De esta forma, los árboles actúan como una cubierta vegetal que genera un espacio exterior en sombra y ventilado.

Finalmente, la mera presencia de vegetación favorece un ambiente exterior confortable. Para regular su propia temperatura, las plantas requieren una gran cantidad de energía que active el proceso de transpiración. Esta energía es absorbida de la radiación y el calor del entorno, lo que provoca un descenso de la temperatura ambiental.

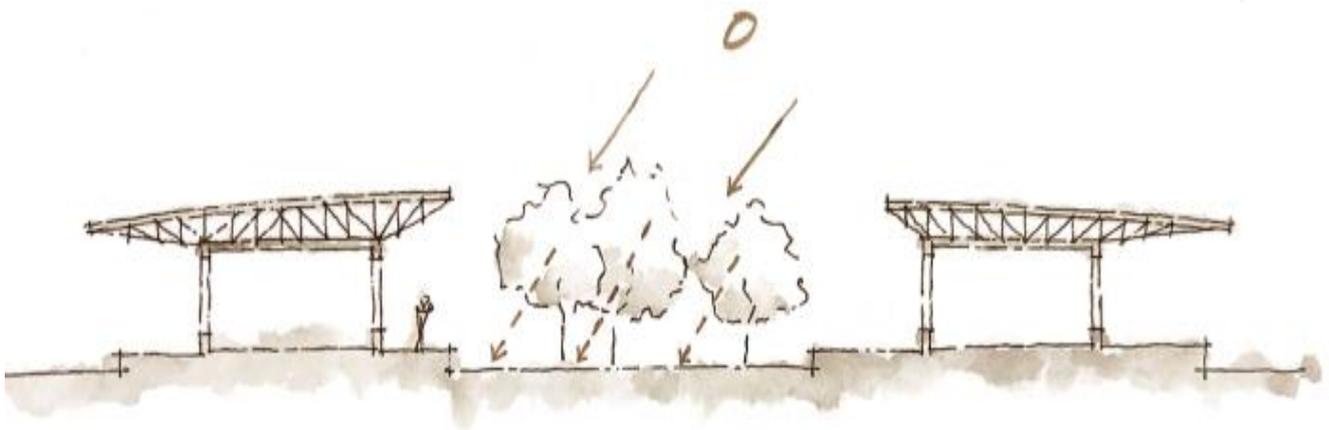


Fig 5.31 Vegetación en patio central. Esquema de cubierta vegetal. Elaboración propia.

PATIOS INTERIORES

A pesar de los estrechos lazos sociales en estas comunidades, en ocasiones son necesarios espacios que preserven la intimidad de sus usuarios. Es el caso de los orfanatos o los centros de salud. Ante esta situación, Francis Kéré recurre a un elemento que no solo ofrece privacidad, sino que refuerza a su vez el sistema de ventilación, los patios interiores.

Estos proyectos se organizan en torno a una serie de patios cubiertos parcialmente, de manera que se genera un espacio exterior protegido del sol y privado. La cubierta está abierta en su punto más alto para permitir la ventilación, y además, su forma abocinada hacia fuera impulsa la salida del aire como se ha descrito en el caso de las ventanas abocinadas.

La ventilación de los patios no solo mantiene un confort adecuado en estos espacios, sino que favorece también la ventilación del conjunto. Las estancias que rodean el patio orientan los huecos hacia él obteniendo un doble beneficio.

El aire captado a través del patio habrá reducido previamente su temperatura gracias a la sombra y los elementos vegetales exteriores. A su vez, la extracción de aire del patio induce también la extracción de aire de los espacios interiores conectando el flujo de ventilación de todo el edificio.



Fig 5.19 Patio interior. Centro de salud y promoción social en Laongo. Fotografía de Kéré Architecture.

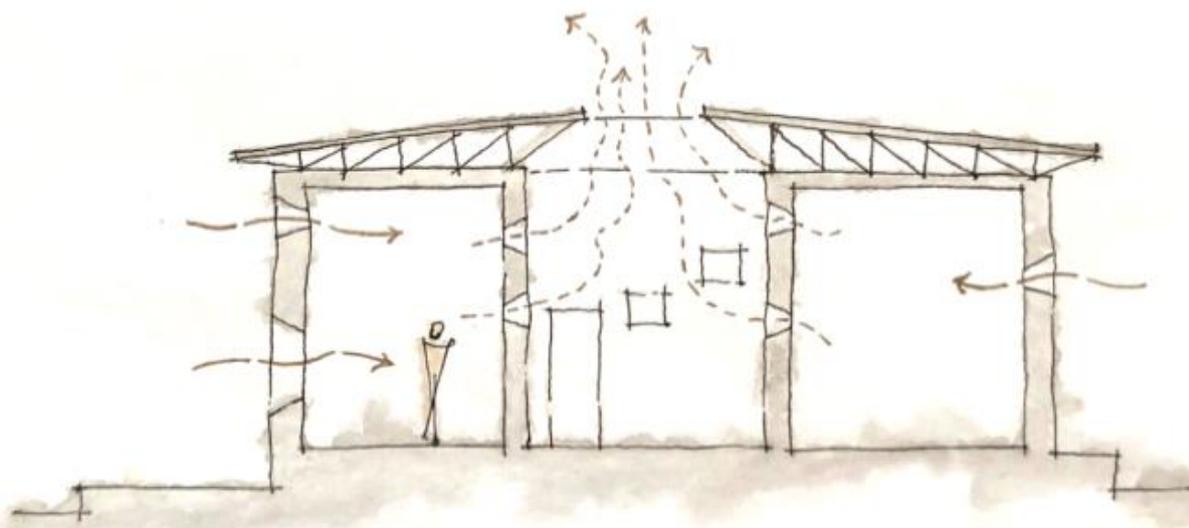


Fig 5.20 Patios interiores. Esquema de ventilación a través del patio. Elaboración propia.

INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE

Cada nuevo proyecto ofrece a Kéré una oportunidad para evolucionar sus técnicas de adaptación. Es el caso de la **Escuela Secundaria de Gando** (en construcción) donde se ensaya un nuevo elemento que mejora los sistemas de captación de aire.

Se trata de una red de conductos subterráneos que actúa como un intercambiador tierra-aire. Este sistema capta el aire exterior y lo canaliza a través del terreno para inyectarlo finalmente en el interior del volumen.

La gran masa del terreno es capaz de mantener bajo la superficie una mayor estabilidad térmica que la atmósfera exterior. Incluso en situaciones de calor extremo, es posible encontrar temperaturas próximas a los valores de bienestar en profundidades cercanas a la superficie.

Es por esto que, a lo largo de las canalizaciones, el aire cede calor hasta adoptar la temperatura del subsuelo, mucho más moderada que el ambiente exterior. Los conductos desembocan en los espacios interiores a través de orificios en el pavimento, de manera que se inyecta continuamente, al nivel del suelo, una corriente de aire refrescado. A medida que se calienta, este aire asciende hasta disiparse por los orificios del techo, permitiendo que un nuevo flujo de aire refrescado ocupe el espacio y manteniendo la temperatura interior en niveles adecuados.

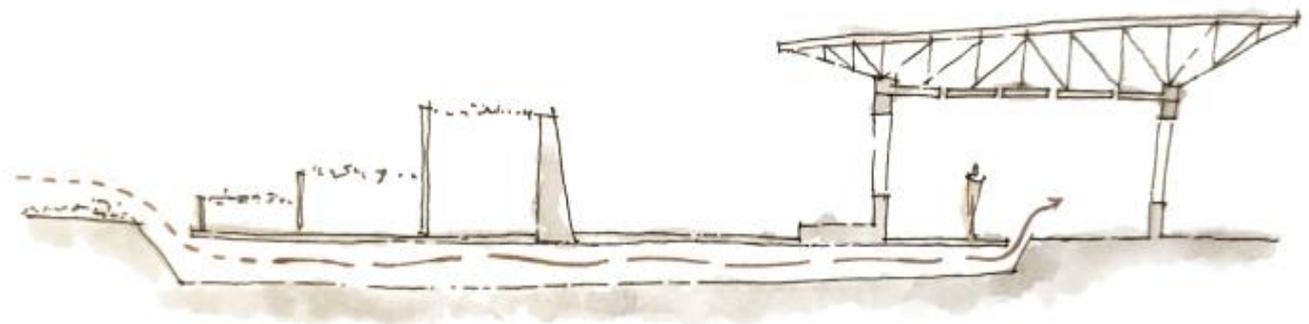


Fig 5.32 Conductos subterráneos. Esquema del sistema de ventilación subterránea de la Escuela Secundaria en Gando. Elaboración propia.

CHIMENEAS

Al igual que los sistemas de captación de aire, las técnicas de extracción son también revisadas y perfeccionadas en busca de una mayor eficiencia. Por este motivo, en algunos proyectos recientes, Francis Kéré añade sobre la cubierta una pieza que complementa el sistema de extracción del aire interior, las chimeneas.

El aire caliente acumulado en la sala tiende a ascender debido a su baja densidad con respecto al aire frío. A partir de esta circunstancia, se diseña la geometría del techo de manera que dirija el aire hacia el conducto de la chimenea, situado en el punto más alto del volumen. El movimiento ascendente del aire caliente provoca su propia extracción.

Al facilitar la salida de aire se genera un flujo de renovación constante que reduce la acumulación de calor y alivia el ambiente interior. Este movimiento induce los demás sistemas de ventilación alimentando una circulación continua de aire a través del volumen.

En presencia de vientos constantes este sistema de extracción puede verse potenciado por el efecto Venturi. La subpresión generada por el flujo de viento provoca una aspiración a través de la chimenea que aumenta la velocidad de renovación del aire interior.

En algunas publicaciones se denomina este elemento como **chimeneas solares**, sin embargo, a lo largo de este análisis se ha optado por el término **chimeneas** ya que las piezas diseñadas por Francis Kéré carecen de un elemento captador de calor imprescindible en el desarrollo de las chimeneas solares.

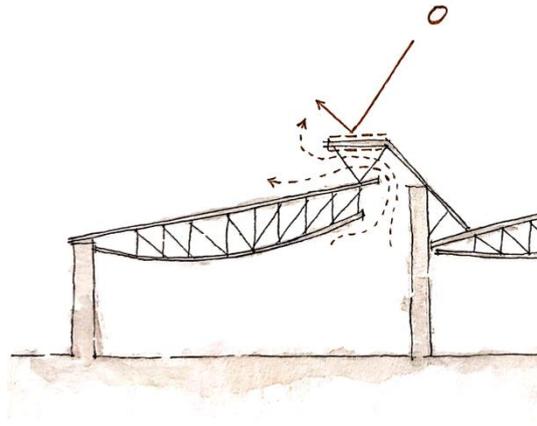


Fig 5.33 Chimeneas. Esquema de extracción de aire. Elaboración propia.



Fig 5.34 Cubierta con chimeneas. Universidad IT en Koudougou. Fotografía de Jaime Herraiz.



Fig 5.35 Chimenea. Liceo Schorge en Koudougou. Fotografía de Sophie García.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una investigación a cerca de los sistemas pasivos de adaptación en climas áridos cálidos a través de la obra de Francis Kéré. Se presenta un estudio sobre los parámetros ambientales en el territorio de Burkina Faso así como un análisis de las estrategias de adaptación con las que la arquitectura de Kéré responde a las condiciones del medio.

La investigación revela una situación inicial especialmente desfavorable, en la que los recursos limitados y las hostiles condiciones climáticas, evidencian la arquitectura pasiva como única solución viable y eficaz para alcanzar condiciones óptimas de confort. Para Kéré, este modelo no solo es adecuado en esta situación, sino que lo considera la manera lógica y natural de construir.

Con el objetivo de conocer los factores que afectan a las condiciones de confort se desarrolla un estudio de los **parámetros ambientales** en el territorio en que se emplaza la obra de Kéré. Se analizan las características climáticas y, además, se incluyen en el estudio otros factores ambientales significativos en este territorio que influyen en las condiciones de bienestar.

Como resultado, este análisis expone un contexto climático extremo, dominado por la aridez y las elevadas temperaturas causadas, principalmente, por la intensa radiación solar. Adicionalmente, el entorno se ve afectado por otros fenómenos ambientales como inundaciones, nubes de polvo o tormentas de arena, así como por factores biológicos como la escasez de vegetación o la presencia de insectos.

Tras analizar cómo los parámetros ambientales influyen sobre los valores de confort, se plantea examinar la respuesta que propone Kéré, y, con este fin, se ha revisado su obra desde el punto de vista de las estrategias de adaptación. Se han seleccionado 15 proyectos y se ha estudiado cada uno individualmente reconociendo en ellos los sistemas pasivos empleados. Los datos extraídos de esta investigación se registran y ordenan dando lugar a una **tabla comparativa original (Fig. 5.01)** que aúna todas las estrategias de adaptación de cada una de las obras.

A partir de las revelaciones de la investigación se propone una clasificación personal de las estrategias utilizadas según la frecuencia con la que Kéré las incluye en su diseño, diferenciando entre las que resultan recurrentes y aquellas que son ocasionales. Siguiendo esta clasificación, se desarrolla un **estudio detallado de todos los sistemas pasivos de control climático** identificados, incluyendo análisis gráficos de elaboración propia para representar el funcionamiento de cada uno, así como el uso que Kéré hace de ellos y cómo los integra en sus proyectos.

De acuerdo con el estudio expuesto en este trabajo se presentan las siguientes conclusiones.

Al estudiar conjuntamente las condiciones ambientales y la obra de Kéré se observa cómo el arquitecto **conoce los desafíos del entorno y los incorpora como un parámetro esencial en su diseño**. En el proceso proyectual considera cada uno de los factores del

medio y utiliza las diferentes soluciones adaptativas para dar forma a su arquitectura.

Analizando cada una de las obras seleccionadas se reconocen determinadas estrategias pasivas que se repiten en todas ellas y se han denominado en este estudio como estrategias recurrentes: el cerramiento, la elevación, la cubierta ventilada, el techo perforado y las persianas de lamas.

Las soluciones que se recogen en esta primera categoría están presentes incluso en los proyectos más precarios, por lo que **se entienden como elementos primarios en la arquitectura de Kéré** que garantizan unos valores de confort mínimos e irrenunciables. Estos elementos **son la respuesta directa a los factores ambientales** que el análisis climático sugiere como los más determinantes para el confort en este territorio. De manera sintética, sistemas de sombra y ventilación para amortiguar la radiación y el calor.

Además de estas soluciones comunes, a través del recorrido de la obra de Kéré se han registrado otras estrategias pasivas que manifiestan un **interés constante en mejorar la respuesta adaptativa de sus construcciones**. Ensayan nuevos sistemas de control climático que perfeccionan los anteriores o atienden a otras condiciones específicas, provocando un enriquecimiento sucesivo con cada proyecto. Se han reconocido diferentes elementos que refuerzan los sistemas de sombra y ventilación, así como métodos de pretratamiento de aire, protecciones frente al viento y la arena, espacios de transición que actúan como disipadores de calor o estructuras vegetales que amortiguan las duras condiciones

exteriores. **Las estrategias de adaptación evolucionan constantemente** tratando de alcanzar mayores niveles de bienestar y **se mantienen como un factor proyectual en constante revisión crítica**.

Algunas de las nuevas estrategias ensayadas que resultan especialmente beneficiosas comienzan a repetirse en los siguientes proyectos. Es el caso de los elementos de protección frente al viento y los sistemas vegetales que, por su eficacia y frecuencia de uso, se pueden considerar como **sistemas añadidos a la categoría de elementos primarios** en las obras más recientes.

Todos los sistemas pasivos se diseñan para que funcionen en conjunto, se afectan entre sí y se complementan produciendo como resultado una **estrategia de adaptación global**. Desde esta perspectiva, **las construcciones se entienden como complejos mecanismos formados por distintos sistemas de adaptación interconectados**. De este modo, Kéré demuestra resolver con éxito el desafío arquitectónico que supone alcanzar el bienestar en un contexto tan desfavorable.

Finalmente, se consolida la **adaptación al medio como un factor intrínseco en la obra de Francis Kéré**, que forma parte de su propia concepción de la arquitectura.

*"Es un honor el haber
construido como lo he hecho,
poniendo siempre en el
corazón de mi trabajo a la
humanidad, la ecología y la
economía."*²⁴

Francis Kéré.

²⁴ Kéré, «El visionario humilde», 230.

7. RELACIÓN DE FIGURAS

Fig.0.01 Naaba Belem Goumma Secondary School under construction in Gando. Kéré Architecture. [Fotografía]
Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/naaba-belem-goumma-secondary-school>

Fig. 3.01 Köppen-Geiger climate classification map for Burkina Faso. [Mapa]
Fuente:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Koppen-Geiger_Map_BFA_present.svg/1024px-Koppen-Geiger_Map_BFA_present.svg.png

Fig 3.02 Taller Gando. Daniel Schwartz. [Fotografía]
Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/taller-gando>

Fig. 3.03 Village cluster, Gando. Daniel Schwartz. [Fotografía]
Fuente:<https://www.danielschwartz.co/fr/ancis-kere>

Fig. 4.01 Efectos de la radiación solar. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.02 Efectos de la temperatura del aire. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.03 Efectos del potencial evaporativo. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.04 Efectos de las precipitaciones. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.05 Efectos de la vegetación. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.06 Efectos de las tormentas de arena. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 4.07 Efectos de los insectos. Elaboración propia. (2021) [Esquema].

Fig. 5.01 Estrategias pasivas en la obra de Francis Kéré. Elaboración propia. (2021) [Tabla].

Fig. 5.02 Dano Secondary School. Kéré Architecture [Fotografía]
Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-secundaria-de-dano>

Fig. 5.03 Centro de mujeres Songtaaba. Daniel Schwartz. [Fotografía]
Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/centro-de-mujeres-songtaaba>

Fig. 5.04 Elevación sobre el terreno, ventilación inferior. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.05 Ampliación de la escuela primaria en Gando. Erik-Jan Ouwerkerk. [Fotografía]
Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/ampliacion-de-la-escuela-primaria-en-gando>

Fig. 5.06 Detail of roof of Gando Primary School. Kéré Architecture [Fotografía]
Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3>

Fig. 5.07 Sistema de ventilación pasiva. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.08 Children in front of the Gando Primary School Extension. Erik-Jan Ouwerkerk. [Fotografía]
Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

Fig. 5.09 Interior of the reception hall of the Gando School Library. Kéré Architecture [Fotografía]
Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-library>

Fig. 5.10 Escuela secundaria Lycée Schorge. Daniel Schwartz [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-secundaria-lycee-schorge>

Fig. 5.11 Persianas de lamas. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.12 Ampliación de la escuela primaria en Gando. Erik-Jan Ouwerkerk. [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/ampliacion-de-la-escuela-primaria-en-gando>

Fig. 5.13 Escuela primaria de Gando.

Erik-Jan Ouwerkerk. [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-primaria-de-gando>

Fig. 5.14 Relieve en fachada.

Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.15 Escuela secundaria Lycée Schorge. Iwan Baan [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-secundaria-lycee-schorge>

Fig. 5.16 Envoltente calada. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.17 Ventanas abocinadas. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.18 Ventanas en cajón.

Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.19 Court yard of the Centre for Health and Social Welfare. Kéré Architecture [Fotografía]

Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/centre-for-health-and-social-welfare>

Fig. 5.20 Patios interiores. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.21 Perforated window of Gando Teachers' Housing. Erik-Jan Ouwerkerk. [Fotografía]

Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-teachers-housing>

Fig. 5.22 Centro quirúrgico. Kéré Architecture [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/centro-quirurgico-enleo#lg=1&slide=7>

Fig. 5.23 Court yard at the Doctors' Housing. Andrea Maretto. [Fotografía]

Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/leo-doctors-housing>

Fig. 5.24 Estanques. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.25 Bird's-eye view of Noomdo Orphanage. Iwan Baan. [Fotografía]

Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/noomdo-orphanage>

Fig. 5.26 Disposición de las piezas como protección frente al viento. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.27 Modelado del terreno como protección frente al viento. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.28 Barrera vegetal. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.29 Barrera vegetal. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.30 Escuela secundaria Lycée Schorge. Iwan Baan. [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-secundaria-lycee-schorge>

Fig. 5.31 Vegetación en patio central. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.32 Conductos subterráneos. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.33 Chimeneas. Elaboración propia. (2021) [Esquema]

Fig. 5.34 Students talking at the Burkina Institute of Technology (BIT). Jaime Herraiz. [Fotografía]

Fuente:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/burkina-institute-of-technology-bit>

Fig. 5.35 Escuela Secundaria Lycée Schorge. Sophie García. [Fotografía]

Fuente:<https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-secundaria-lycee-schorge>

8. BIBLIOGRAFÍA

MANUAL DE ESTILO CHICAGO

Climate-Data. «Burkina Faso Clima». Accedido 2 de noviembre de 2020. <https://es.climate-data.org/africa/burkina-faso-14/>.

Francis Kéré: primary elements. Madrid: Fundación ICO, 2018.

«Global Solar Atlas». Accedido 2 de noviembre de 2020. <https://globalsolaratlas.info/map?s=12.726084,-1.582031&m=site&c=6.83917,-24.433594,2>.

Human Development Reports. «2019 Human Development Index Ranking ». Accedido 11 de noviembre de 2020. <http://hdr.undp.org/en/content/2019-human-development-index-ranking>.

Human Development Reports. «Burkina Faso». Accedido 11 de noviembre de 2020. <http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/BFA>.

IEA. «Buildings ». Accedido 20 de octubre de 2020. <https://www.iea.org/topics/buildings>.

«Kéré Architecture». Accedido 7 de enero de 2021. <https://www.kerearchitecture.com>.

Kéré, Diébédo Francis. «How to build with clay... and community - TED». Video. YouTube. Accedido 15 de noviembre de 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=MD23gllr52Y&list=PL5D3c1OGzsJfQSnMTgK-uaoZ1tVBOSYno&index=3&t=103s>.

Kéré, Francis. «Diébédo Francis Kéré», entrevista por Llätzer Moix. En *Arquitectura: más por menos*, editado por Luis Fernández-Galiano. Madrid: Fundación Arquitectura y Sociedad, 2010. 124-131.

Kéré, Francis. «El visionario humilde», entrevista por Eduardo Prieto. En *Francis Kéré: primary elements*. Madrid: Fundación ICO, 2018. 221-233.

Konya, Allan. *Design primer for hot climates*. London: Architectural Press, 1980.

Piesik, Sandra, y Remedios Diéguez Diéguez. *Hábitat: arquitectura vernácula para un planeta cambiante*. Barcelona: Blume, 2017.

Serra Florensa, Rafael. *Arquitectura y climas*. GG Básicos. Barcelona: Editorial G. Gili, 1999.

Serra Florensa, Rafael, y Helena Coch Roura. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC, 1995.

