



Termodinámica & Forma

Relación entre los cuatro sólidos básicos, el material y el clima en el contexto Bogotá.

Alba Paola Rodríguez Castellanos

Cód. 2001012163

Diana Leonora Zambrano Amaya

Cód. 2001011050

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Bogotá, Colombia

2014

Termodinámica & Forma

Relación entre los cuatro sólidos básicos, el material y el clima en el contexto Bogotá.

Alba Paola Rodríguez Castellanos

Diana Leonora Zambrano Amaya

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Arquitecto

Directores

Arq. Mario German Martínez Caicedo

Arq. Alfredo Izquierdo

Colaborador

Arq. John Colorado

Línea de Investigación:

Hábitat

Grupo de Investigación:

Hábitat Tecnológico e Investigación

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Bogotá, Colombia

2014

Dedicatoria

En primer lugar agradezco a Dios por todas las bendiciones que ha derramado a lo largo de mi vida.

Dedico mi trabajo a mis bellos padres Betty y Hernando, a mis suegros María y Piero, que junto a mi maravilloso esposo Giovanni han sido el impulso, mi apoyo incondicional, mi soporte y base para continuar, y a mis dos hermosos hijos Sofía y Luca que son el motor, el amor y la luz de mi vida.

Diana Leonora.

Este proyecto de investigación se lo dedico primeramente a mi Dios y a la virgencita María por darme la fortaleza, el conocimiento y la oportunidad de culminar mis estudios de pregrado en arquitectura y aún más con esta bella investigación.

A mis padres y a mis hermanos, por su apoyo en todos estos años ya que a pesar de los cambios o de aquellas circunstancias que se nos presentan en esta vida, siempre estuvieron ahí para recordarme que siguiera adelante con entusiasmo y empeño para lograr este objetivo. A mis jefes de trabajo por su apoyo, ayuda y comprensión con el fin de poder culminar mis deberes académicos con mis deberes laborales.

Y finalmente a Dianita y al docente Mario por su paciencia, comprensión y apoyo para terminar con nuestro proyecto de grado.

Alba Paola.

Agradecimientos

En primer lugar a la Empresa italiana LIS (Laborazione Italiana Sughero) quienes aportaron el material (corcho), costos de envío, datos cruciales para la realización de la investigación y estuvieron siempre atentos a las dudas o inquietudes que se generaron a lo largo de las pruebas de laboratorio. A Stefano Montecchi por su incondicional ayuda, su respuesta oportuna y rápida, el interés que mostro a lo largo del proyecto.

Al Arquitecto Mario Martínez con sus conocimientos, apoyo incondicional, su tiempo y siendo el Director de proyecto, nos dio la confianza, la seguridad, la credibilidad, la base y animo de continuar adelante. Y al Dtt. Arq. Giovanni Pacciani, que nos mostró lo importante que es investigar, leer, y comprender con lógica los diversos obstáculos que se presentaron a lo largo de la investigación, el análisis y el porqué de las cosas, nos hizo mucho más fácil el poder desarrollarla.

Agradecemos a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de esta investigación.

Resumen

Para cumplir con los requisitos de la facultad de Arquitectura para la obtención del título de pregrado, realizaremos una investigación en el campo de la Termodinámica. El tema que trataremos en el trabajo de grado será **Termodinámica & Forma**, que tratará de determinar cuáles son las formas geométricas en un determinado material que logren a optimizar la conservación de la energía en función a un desarrollo futuro en la bioclimática de los edificios.

Sabiendo cuales son los ecosistemas más insalubres en términos de factores ambientales, podremos realizar la investigación tomando algunos elementos sólidos, en este caso el cubo, el cilindro, la pirámide y la esfera, en diversos materiales como el concreto, el corcho, adobe y la madera. Realizaremos pruebas en ecosistemas aproximados (Bogotá), tendremos en cuenta variables como tiempo, humedad, presión, temperatura, etc. Compararemos los diferentes resultados de los elementos en el ecosistema y llegaremos a definir qué forma geométrica es la más óptima para un mejor equilibrio energético del volumen con su entorno.

Planteamos una hipótesis donde decimos que las diferentes variaciones y resultados del material con la forma del elemento y donde la conservación de la energía de éste, contribuirá en un desarrollo futuro a la salubridad de la edificación, cuando ella implementa en su configuración formal este tipo de sólidos.

Después en el departamento de investigaciones de la universidad vendrá una segunda parte de la investigación, donde se podrán aplicar los resultados y conclusiones de la primera parte en una propuesta de vivienda saludable, con la forma y materiales que según los resultados generen mayor equilibrio energético, con desarrollo en el campo de la bioclimática y aplicándola en diferentes localizaciones o zonas climáticas del país.

Con la optimización y uso de las energías y en unión con las nuevas tecnologías se podrá llegar a una propuesta interesante y novedosa, que sea base para la proyección de vivienda saludable. Las conclusiones finales que genere esta investigación serán base para el desarrollo y confort de futuras viviendas.

Abstract

To meet the requirements needed by the Faculty of Architecture for graduate qualification, we will conduct an inquiry about the thermodynamics field. The topic to be discussed in our degree project will be **Shapes and Thermodynamics**, in which we will identify which architectural shapes achieves in optimize the energy conservation according with the bioclimatic in buildings.

Knowing in terms of environmental factors which are the unhealthiest ecosystems, we will perform the investigation using solid elements, in this case cube, cylinder, pyramid and sphere in various materials such as concrete, cork and wood. We will perform tests in an approximate ecosystem considering variables such as weather, humidity, pressure, thermodynamics, etc. Finally we will compare the different results of the time series of each element in each ecosystem defining which is going to be the optimal shape for a better energy balance of each volume in its respective environment. We propose a scenario where we say that ecological succession varies with the form of the element and where its conservation of energy will contribute to the health of the building whenever it will be implemented in such formal solid setting.

We will develop a second part of the research, which we will apply the results and conclusions of the first part in a healthy housing proposal, with form and materials that will generate the best energetic balance according to the results, developing and applying also bioclimatic in different locations or climatic zones of the country.

Optimizing and using energy in conjunction with the new technologies, will reach an interesting and peculiar proposal that will be the base for the projection of healthy housing.

The final conclusions resulting from this research will be the basis for future housing development.

Sintesi

Per ottenere il titolo di laurea e soddisfare le esigenze della Facoltà di Architettura, condurremo un'indagine nel campo della termodinamica. L'argomento che discuteremo nel progetto di laurea sarà **Forma e Termodinamica**, e consisterà nell'identificare quali forme architettoniche riescono ad ottimizzare la conservazione dell'energia in funzione della bioclimatica degli edifici.

Conoscendo in termini di fattori ambientali quali sono gli ecosistemi più malsani, eseguiremo la nostra indagine utilizzando elementi solidi, in questo caso cubo, cilindro, piramide e sfera, realizzati in materiali differenti come cemento, sughero e legno. Realizzeremo dei test in una serie di ecosistemi approssimativi prendendo in considerazione variabili come tempo, umidità, pressione, termodinamica, ecc. Confronteremo infine i diversi risultati delle serie temporali di ciascun elemento in ogni ecosistema e giungeremo a definire qual'è la forma ottimale per un miglior equilibrio energetico di ciascun volume nel rispettivo ambiente.

Proponiamo un'ipotesi nella quale affermiamo che la successione ecologica cambia congiuntamente alla forma dell'elemento definendo che la conservazione dell'energia di questo, contribuirà alla salubrità dell'edificio.

Svilupperemo una seconda parte della ricerca nella quale applicheremo i risultati e le conclusioni della prima parte per progettare una proposta di edificio salutare, con forme e materiali che in base ai risultati genereranno un miglior equilibrio energetico, applicando al contempo i concetti di bioclimatica nelle diverse località o zone climatiche del paese.

Con l'ottimizzazione e l'utilizzo dell'energia in combinazione con le nuove tecnologie, si arriverà ad una proposta interessante ed unica che sarà la base per lo sviluppo di abitazioni salutare. Le conclusioni finali risultanti da questa ricerca saranno la base per il futuro sviluppo residenziale.

Contenido

Pág.

Resumen	V
Lista de figuras.....	XI
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	13
1. Preliminares.....	15
1.1. Descripción de la propuesta de trabajo de grado.....	15
1.2. Introducción.....	17
1.3. Formulación.....	20
1.4. Justificación	22
1.5. Hipótesis	23
1.6. Objetivos.....	24
1.6.1. General.....	24
1.7. Marco referencial.....	26
1.7.1. Marco de Antecedentes:	26
1.8. Antecedentes.....	36
1.8.1. Marco Histórico:	36
1.9. Metodología	86
1.10. Cronograma de trabajo	88
1.11. Presupuesto.....	89
1.12. Resultados esperados	90
1.13. Marco de Referencia.....	91
1.13.1. Marco Conceptual.....	91

1.13.1.1. Termodinámica	91
1.13.1.2. Bioclimática	93
1.13.1.3. Conservación de energía	95
1.13.1.4. Eficiencia energética	96
1.13.1.5. Ecosistema.....	97
1.13.1.6. Hábitat	98
1.13.2. Marco Teórico:.....	100
1.13.3. Marco Legal:	108
2. Proceso de Laboratorio.	135
2.1. Lugar de estudio: Bogotá.	137
2.2. Definiciones de términos.	138
2.2.1 Clima.	138
2.2.2. Análisis Espacial.	138
2.2.3. Brillo solar.....	140
2.2.4. Diagrama de trayectoria solar para Bogotá.....	140
2.2.5. Vientos	141
2.3. Factores a tener en cuenta para la investigación.	143
2.3.1. Humedad.....	143
2.3.2. Temperatura.....	144
2.3.3. Presión Atmosférica.....	146
2.4. Materiales de estudio	149
2.4.1. Madera.....	149
2.4.2. Concreto.....	150
2.4.3. Arcilla.	150
2.4.4. Corcho.....	151
2.4.5. Propiedades térmicas de los materiales de análisis.....	152
2.4.6. Propiedades físicas de los elementos analizados.	152
3. Mapas	156
4. Conclusiones y recomendaciones.....	158

4.1. Conclusiones Marco Histórico.....	158
4.2 Conclusiones de las pruebas de laboratorio.....	160
5. Anexos	167
5.1. Aparatos de medición.....	167
5.1.1. Estación meteorológica PCE-FWS 20.....	167
5.1.2. Lascar EL-GFX Data Loggers with Graphing LCD Display.....	168
5.1.3. Termo anemómetro digital Extech AN200	169
5.1.4. Cámara termográfica FLIR E 40.....	171
5.1.5. Carta Psicométrica	172
Bibliografía	173

Lista de figuras

Ilustración 1 <i>Reconstrucción de una casa en Priene</i>	39
Ilustración 2 <i>Heliocaminus romano en Ostia</i>	43
Ilustración 3 <i>Lamina del Ars Magna Lucis et Umbrae de Atanasius Kircher, 1646</i>	45
Ilustración 4 <i>Espejo incendiario de Hoesen, siglo XVII</i>	46
Ilustración 5 <i>Huertos frutales "solares", Francia, siglo XVII</i>	46
Ilustración 6 <i>Colectores solares de vidrio, Inglaterra, siglo XVIII</i>	47
Ilustración 7 <i>Caja caliente de Saussure, 1767</i>	49
Ilustración 8 <i>Alambique solar de Mouchot</i>	55
Ilustración 9 <i>Primera máquina solar de Mouchot, 1866</i>	55
Ilustración 10 <i>Cocina solar portátil del ejército francés debido a Mouchot</i>	56
Ilustración 11 <i>Máquina solar de Mouchot, 1878</i>	57
Ilustración 12 <i>Imprenta solar de Abel Pifre</i>	58
Ilustración 13 <i>Motor solar de Ericsson</i>	59
Ilustración 14 <i>Segundo motor solar de Eneas, 1899</i>	61
Ilustración 15 <i>Instalación en Pasadena</i>	61
Ilustración 16 <i>El motor solar en la granja de John May</i>	62
Ilustración 17 <i>Instalación solar industrial de Tellier, 1880</i>	64
Ilustración 18 <i>Planta solar de Shuman en Tacony, 1911</i>	66
Ilustración 19 <i>Planta solar de Maadi (Egipto), 1912</i>	67
Ilustración 20 <i>Calentadores de agua en 1890</i>	69
Ilustración 21 <i>Casas solares americanas hacia 1900</i>	70
Ilustración 22 <i>Vista general de Acoma</i>	76
Ilustración 23 <i>Soleamiento, orientación y confort, Henry N. Wright, 1938</i>	79
Ilustración 24 <i>Primera casa solar del MIT</i>	82
Ilustración 25 <i>Cuarta casa solar del MIT</i>	84
Ilustración 26 <i>Calentador solar corriente en Australia</i>	84
Ilustración 27 <i>Código Verde de construcción sostenible – conformación mesa</i>	109
Ilustración 28 <i>Sellos para la vivienda sustentable: FNA</i>	110
Ilustración 29 <i>Guía de urbanismo y arq. bioclimática y zonificación climática: FNA</i>	111
Ilustración 30. <i>Formato datos análisis elementos. Por toma y hora</i>	136
Ilustración 31 <i>Cuadro de anotaciones diarias de temperatura</i>	136
Ilustración 32 <i>Comportamiento distribución de la temp. vs Elevación, Bogotá</i>	138
Ilustración 33 <i>Perfil de un efecto de Isla del Calor Urbano</i>	139
Ilustración 34 <i>Diagrama de Trayectoria del sol, Altitud y Acimut para Bogotá. Fuente: Geometría Solar y Trayectorias del Sol en Colombia. Himat – Bogotá</i>	141
Ilustración 35 <i>Rosa de los vientos Bogotá. Fuente: http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm</i>	142
Ilustración 36 <i>presión de vapor saturado, densidad del agua</i>	144
Ilustración 37 <i>Cuadro de conversión de temperaturas</i>	146

Ilustración 38 Carta Climatológica medias mensuales para la ciudad de Bogotá. Fuente: IDEAM http://www.meteoaeronautica.gov.co/jsp/1674	148
Ilustración 40 Estación Meteorológica.	167
Ilustración 41 Data Loggers.....	168
Ilustración 42 Termoanemómetro digital.....	169
Ilustración 43 Cámara Termográfica.....	171

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx dy$
A_{BET}	Área interna del sólido	$\frac{m^2}{g}$	ver DIN ISO 9277
D	Diámetro	m	
Fr	Número de Froude	1	$\frac{w^2 R}{g_0}$
	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{d^2 r}{dt^2}$
H	Entalpía	J	$U + PV$
H_0	Poder calorífico superior	$\frac{MJ}{Kg}$	ver DIN 51857
h	Coefficiente de hidrógeno	1	$\frac{m_H}{m}$
K	Coefficiente de equilibrio	1	Ec. 2.5
L	Longitud	m	DF
L	Longitud del reactor	m	Figura 5-4
Q	Calor	kJ	1. LT
T	Temperatura	K	DF
t	Tiempo	s	DF
x_i	Fracción de la cantidad de materia	1	$\frac{n_i}{n}$
V	Volumen	m^3	$\int dr^3$
\vec{u}	Velocidad	$\frac{m}{s}$	$\frac{dr}{dt}, r \frac{dv}{dt}, \frac{dz}{dt}$
$W_{w,i}$	Contenido de humedad de la sustancia i	1	$\frac{m_{H_2O}}{m_{i,O}}$

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α	Factor de superficie	$\frac{\text{m}^2}{\text{g}}$	$(W_{F,waf})(A_{\text{BET}})$
β	Grado de formación del componente i	1	$\frac{m_j}{m_{\text{bm}} \zeta}$
ϕ_v	Flujo volumétrico	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$

Subíndices

Subíndice	Término
bm	Materia orgánica
E	Experimental
0	Estado de referencia

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
1.LT	Primera ley de la termodinámica
DF	Dimension fundamental

1. Preliminares

1.1. Descripción de la propuesta de trabajo de grado.

Para cumplir con los requisitos de la facultad de Arquitectura para la obtención del título de pregrado, realizaremos una investigación en el campo de la bioclimática. El tema que trataremos en el proyecto de grado será **Termodinámica y forma**, que constará en determinar cuáles son las formas arquitectónicas que logran que se optimice la conservación de la energía en función de la bioclimática de los edificios.

Sabiendo cuales son los ecosistemas más insalubres en términos de factores ambientales, podremos realizar la investigación tomando algunos elementos sólidos, en este caso el cubo, el cilindro, la pirámide y la esfera, en diversos materiales como el concreto, el corcho y la madera. Veremos qué es y cómo se da la sucesión ecológica, realizaremos pruebas en ecosistemas aproximados, tendremos en cuenta algunas variables como tiempo, humedad, presión, termodinámica, etc. Compararemos los diferentes resultados de tiempos de sucesión de los elementos en cada uno de los ecosistemas y llegaremos a definir qué forma geométrica es la más óptima para un mejor equilibrio energético del volumen con su entorno.

Planteamos una hipótesis donde decimos que la sucesión ecológica varía con la forma del elemento y donde la conservación de la energía de éste, contribuirá a la salubridad de la edificación, cuando ella implementa en su configuración formal este tipo de sólidos.

Después vendrá una segunda parte de la investigación, donde aplicaremos los resultados y conclusiones de la primera parte en una propuesta de vivienda saludable, con la forma y materiales que según los resultados generen mayor equilibrio energético, con desarrollo en bioclimática y aplicándola en diferentes localizaciones o zonas climáticas del país.

Con la optimización y uso de las energías y en unión con las nuevas tecnologías se podrá llegar a una propuesta interesante y novedosa, que sea base para la proyección de vivienda saludable. Las conclusiones finales que genere esta investigación serán base para el desarrollo de futuras viviendas.

Modalidad en Tecnología:

En nuestro proyecto de grado, es fundamental el estudio e investigación en el campo de los materiales, las tecnologías y los procesos planteados como aporte a un problema ambiental y arquitectónico, analizando el desequilibrio energético del elemento vs su entorno.

Por medio del análisis y la experimentación lograremos proponer una optimización de la forma y el material, dando una nueva pauta en la realización de hábitat saludable para el ser humano.

1.2. Introducción

En la arquitectura; la bioclimática se define como el área que ha sido capaz de manejar y optimizar los recursos naturales para la adaptación en las condiciones de habitabilidad concibiendo el movimiento arquitectónico como una ideología o conjunto de tendencias organizadas que tienen como objetivo la integración del objeto arquitectónico con un entorno.

Esta unión no debe terminar en el hecho de diseñar, sino que debe ampliar su campo de acción para examinar las variables del proceso constructivo y de ejecución de la obra, observando las actuaciones necesarias que admitan salvaguardar y optimizar las circunstancias iniciales, utilizando técnicas de experimentación y control, donde ya al mismo tiempo aparece el concepto de desarrollo sostenible como aquel que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras encaminado a poner las contradicciones del actual modelo económico y su resultado en un futuro cercano, ha sido asumido rápidamente por el espacio arquitectónico y ha provocado la ampliación de los términos arquitectura solar y arquitectura bioclimática a nuevos campos en un marco disciplinario denominado arquitectura sostenible o arquitectura medioambiental.

El profundizar y realizar la investigación desde la perspectiva ambiental y sostenible, fue un interés académico, así mismo el interés de lograr que en base a los resultados aportaremos un elemento de importancia para el diseño de los futuros elementos arquitectónicos que están de acuerdo en la protección, conservación y equilibrio con su hábitat.

En el ámbito profesional, como arquitectos preocupados por la sostenibilidad y el buen manejo de los recursos naturales, el máximo interés es encontrar esta nueva variable de diseño para ser utilizada de manera correcta e indispensable

El trabajo de investigación busca comprender como los sólidos básicos conservan la energía (cilindro, cono, cubo y esfera) en materiales como Corcho, Madera, Concreto y Adobe, para determinar cuál es la forma geométrica más eficiente en términos de conservación de la energía. Para ello cada elemento se estudia en el ecosistema de la ciudad de Bogotá.

El desarrollo de este trabajo, se basa en la termodinámica de los elementos y los materiales. No se encontró que en Bogotá se hayan realizado valoraciones energéticas con dichos elementos con procedimientos a nivel de laboratorio.

El estudio va arrojar pistas sobre la optimización energética de la configuración geométrica de las edificaciones para entenderse como una determinante de diseño bioclimático.

Es fundamental para el desarrollo del proyecto, las evidencias que resultaron durante el análisis de laboratorio. La modelación se realiza para corroborar, confrontar y comprobar los resultados experimentales.

El proyecto está constituido por tres etapas, durante las cuales se realizan el análisis de información, cotejo y diagnóstico final, que conduce al desarrollo de una matriz comparativa aplicada al diseño de objetos arquitectónicos.

Etapa 1. Comparar y examinar. Se compara el comportamiento energético de las cuatro formas geométricas básicas (cubo, esfera, cono y cilindro) con los cuatro materiales usados en construcción (Corcho, madera, concreto, adobe). Esta comparación permite entender como el material y la forma del elemento influye en la conservación de la energía. Se compara cada elemento con cada material teniendo así 16 elementos a examinar, Bogotá es el ecosistema que previamente se escogió. Esta comparación se realiza mediante la medición de variables físicas, como la temperatura, la presión y la humedad relativa, en laboratorio con aparatos especializados para realizar el cálculo, donde las diferentes medidas nos dan a conocer cuál de estos elementos y en que material tiene mejor eficiencia energética con su entorno. Al tener los resultados de laboratorio, se identifica cuál de estos

elementos es el más óptimo para la conservación de la energía térmica, cumpliendo los objetivos de la primera parte de la investigación.

Etapa 2. Analizar e integrar. Al analizar el comportamiento térmico de los diversos volúmenes con el entorno natural podemos comprender la relación de éstos elementos geométricos con su ecosistema, logrando integrar el hábitat en términos de equilibrio energético, conservación y demanda de energía. Al integrar forma, material y entorno logramos identificar que la interacción de estos elementos son una determinante más para la realización del diseño en las edificaciones energéticamente eficientes y así mismo lograr alcanzar la sostenibilidad.

Etapa 3. Proponer. Después de las etapas anteriores, logramos establecer una matriz de valoración energética que se basa en la forma geométrica, el entorno y el material involucrado en la construcción. El fin de esta matriz es poder aplicarla al diseño, intervención y mejoramiento del objeto arquitectónico.

Damos a conocer como la eficiencia energética es importante para la apropiada administración, concepción, forma, etc. y es un punto de partida y genera el correcto equilibrio en la interacción de forma (sólido geométrico), material y entorno; y más allá de ello, concluimos que es una determinante para el diseño en la arquitectura bioclimática.

1.3. Formulación

La expresión "eficiencia energética" define una adecuada administración de energía y por tanto, su ahorro, desde el punto de vista económico y medioambiental. Su objetivo es por tanto, disminuir el consumo de energía sin por ello reducir el uso del material y los equipos que funcionan gracias a ella fomentando prácticas, métodos de trabajo y técnicas de producción que consuman menos energía.

El incremento de la eficacia energética resulta esencial para el logro de los objetivos señalados por el Protocolo de Kioto, y propicia un marco para políticas energéticas más sostenibles, tema que ha suscitado mucha inquietud durante los últimos años.

En los últimos 20 años, en los países desarrollados el consumo energético ha ido disminuyendo. Se ha estimado que desde 1970 a la actualidad de media, se usa un 20% menos de la energía, sin embargo en los países en vías de desarrollo, aunque el consumo per cápita es mucho menor, la eficiencia en el uso de energía no mejora debido fundamentalmente, por el uso de tecnologías obsoletas.

Sin embargo, el problema energético obedece a otros factores en los que están incluidos: la edificación y los procesos constructivos, entendidos también como modelos productivos que consumen recursos y energía. Desde esta perspectiva, el Building Research Establishment (Centro de Investigación de la Construcción Británico) ha señalado por ejemplo, que en algunos edificios (nuevos y bien aislados) la energía incorporada al proceso constructivo equivale hasta un 50% de la energía necesaria para hacer funcionar la edificación durante un periodo de 25 años lo cual significa, en términos prácticos, que el

problema del consumo energético al escala de edificaciones y ciudades se localiza en la forma cómo el edificio esta conceptualizado, y no durante el periodo de vida útil. Ante este hecho, es importante anotar que las evaluaciones de eficiencia energética aplicada a edificaciones se focalizan en el periodo de vida útil del edificio.

Ante este panorama, existen aún muchas interrogantes sobre la eficiencia energética a nivel de edificaciones. En primera instancia es importante comprender el comportamiento termodinámico de un edificio, con el fin de entenderlo como un objeto material con una configuración geométrica determinada. Por otra parte, la forma en arquitectura puede considerarse como una determinante energética, comprendiendo que cada elemento geométrico conserva la energía de una forma particular, entonces ante estas variables es posible preguntarse:

¿Cuál es el comportamiento térmico de las formas geométricas básicas, en materiales como Corcho, Madera, Concreto, y Arcilla, para ser interpretadas como una determinante en el diseño arquitectónico?

1.4. Justificación

En nuestro proyecto de grado, es fundamental el estudio e investigación en el campo de los materiales, las tecnologías y los procesos planteados como aporte a un problema ambiental y arquitectónico, analizando el desequilibrio energético del elemento vs su entorno.

Por medio del análisis y la experimentación lograremos proponer una optimización de la forma y el material, dando una nueva pauta en la realización de hábitat saludable para el ser humano.

1.5. Hipótesis

El trabajo de investigación establece como la forma y el material en la arquitectura son una determinante para el diseño de edificios, y la conservación de la energía, con el fin de generar geometrías arquitectónicas en función de la eficiencia energética.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Establecer el comportamiento térmico de las formas geométricas básicas, como factor determinante de diseño en la arquitectura bioclimática.

1.6.2. Específicos

Comparar el comportamiento energético de las formas geométricas básicas (cubo, cilindro, esfera y cono) con cuatro materiales de construcción (madera, corcho, adobe y concreto) para entender como el material y la forma influyen en la conservación de energía.

Examinar los cuatro solidos básicos para identificar cual es el más eficiente en la conservación de la energía térmica.

Analizar el comportamiento térmico de los volúmenes con las determinantes climáticas para comprender la relación entre ecosistema y forma geométrica.

Relacionar forma, material y entorno como determinante en el diseño de las edificaciones energéticamente eficientes.

Proponer una matriz de valoración energética basada en la forma geométrica, entorno y material involucrado, con el fin de aplicarse al diseño, intervención y mejoramiento del objeto arquitectónico.

1.7. Marco referencial.

1.7.1. Marco de Antecedentes:

Un proyecto de instalación geotérmica requiere un estudio detallado de la demanda energética del edificio, de su tipología constructiva y estructural, de su entorno climático de su condición bioclimática, de la estratigrafía, la composición, la higrometría y la conductividad del terreno; exige la definición de un régimen equilibrado de uso de los recursos geotérmicos, y, para su óptimo rendimiento, es absolutamente recomendable la utilización de sistemas inerciales de climatización que armonizan la interacción termodinámica entre el terreno y el edificio con gran eficiencia energética.¹

Desarrollo sostenible. Aproximación conceptual y operativa de los principios de Sostenibilidad al Sector de la Construcción.

Autor: Víctor Manuel López López

Aborda el origen, la evolución y las posibilidades de operativizar el concepto de Sostenibilidad en el Sector de la Construcción, y más específicamente en la construcción

¹ De Pereda, Luis. Rehabilitación para la eficiencia energética en la climatización de edificios. Dialnet. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2986311>

de edificios. El estudio se basa en los documentos propulsores del Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, de los cuales se adopta el concepto de Sostenibilidad para establecer un grupo de principios que se vinculen con los agentes involucrados en los procesos de construcción.

La cantidad de aspectos a tratar en el espacio que media entre los campos conceptual y pragmático del tema en cuestión, sugirió la conveniencia de organizar la investigación y la redacción de la tesis en cinco partes articuladas, compuestas por trece capítulos.

En la primera de esas cinco partes (capítulos I, II y III) se establecen los propósitos del estudio y la orientación metodológica; asimismo se exponen el origen, la evolución y el debate persistente del Desarrollo Sostenible.

La segunda parte (capítulos IV y V) contiene los instrumentos técnicos de apoyo que pueden coadyuvar a la operativización de la Sostenibilidad en el Sector de la Construcción. Se describe la implicación Termodinámica de la energía y los materiales con el medio ambiente, los métodos y técnicas adaptables al caso en cuestión, y la producción y consumo de bienes.

Estas dos primeras partes proporcionan información básica para proponer la transición de las actividades de construcción a una fase socialmente más responsable denominada Construcción Sostenible, la cual se desarrolla en la tercera parte (capítulos VI, VII, VIII y IX). En esta porción medular de la tesis se establecen las premisas fundamentales para propender a una modalidad de construcción a través de la adecuación de las fases de planificación, diseño, construcción y desincorporación de los edificios.

La cuarta parte (capítulos X, XI y XII) se orienta hacia la medición de la Sostenibilidad en el Sector de la Construcción. Para llevar a cabo ese ejercicio de mensuración se seleccionó una región real, donde se identificó un grupo de indicadores de Sostenibilidad en el Sector de la construcción local, y se aplicó un procedimiento híbrido (método convencional-diseñador concientizado) para seleccionar Sosteniblemente los principales materiales para construcción de un edificio.

En la quinta parte (capítulo XIII) se acopian resultados, conclusiones y comentarios propositivos para la incorporación de los principios de Sostenibilidad en el Sector de la Construcción, al tiempo que se propone una sinergia de acciones que pueden llevar a cabo los sectores universitario, gobierno, de la construcción y público interesado en el tema.²

Modelos geo estadísticos para el estudio de índices bioclimáticos.

Autor: Josep Xavier Barber Valles

Numerosos autores han propuesto clasificaciones del clima derivadas en general de registros meteorológicos estandarizados, estas clasificaciones han tratado de determinar las áreas de distribución de los tipos de vegetación a través del cálculo de diferentes índices climáticos sobre diferentes puntos de una región. La clasificación bioclimática más actual en este momento se debe a Rivas-Martínez (2004). La geoestadística (Cressie(1993)) y más concretamente los modelos jerárquicos bayesianos espaciales (Banerjee et al. (2004)) han mostrado una capacidad de resolución en términos de predicción y de su error asociado, que los convierten en la herramienta de análisis estadístico para variables espaciales continuas más potente en la actualidad. Sin embargo, esta capacidad se ve reducida a la hora de establecer la información previa sobre todos los parámetros del modelo, que es necesaria en todo análisis bayesiano. Se ha establecido un modelo para cada uno de los índices haciendo uso de distribuciones previas poco informativas y estableciendo un nuevo procedimiento para obtener distribuciones previas sobre las variabilidades espacial y no espacial del índice bajo estudio. El proceso inferencial muestra poca sensibilidad respecto de ellas. Además dichas distribuciones se han podido usar en los modelos multi-variantes aprovechando la estructura jerárquica planteada. Los modelos reparametrizados planteados permiten modelizar las posibles variabilidades de forma conjunta, sin la necesidad de asumir independencia entre ellas, lo que resulta improbable en la mayoría de los casos. La utilización de la computación en paralelo para la obtención de la distribución predictiva posterior ha reducido el tiempo de cómputo en un 85%, de 6 horas a menos de 50 minutos. Por lo que la obtención de esta distribución predictiva puede actualizarse para nuevas localizaciones a predecir en la región o zona de estudio.³

² López López, Víctor Manuel. Desarrollo sostenible. Aproximación conceptual y operativa de los principios de Sostenibilidad al Sector de la Construcción. Dialnet. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=6080>

³ Barber Valles, Josep Xavier. Modelos geoestadísticos para el estudio de índices bioclimáticos. Dialnet. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=2419253>

“Diagnosi e certificazione, efficienza energetica ed implementazione di sistemi di produzione da fonti rinnovabili: Da rudere a masseria passiva.”

Autor: Gianluca Severo

L'edilizia in Europa è stata caratterizzata, fino a pochi anni fa, da una forte espansione, soprattutto nel settore residenziale, che rappresenta ad oggi il 70% del parco immobiliare totale. La maggior parte dei fabbricati residenziali sono stati realizzati tra il 1946 ed il 1970, in un periodo cioè di ampia disponibilità energetica, e nel quale l'edilizia prevedeva tempistiche e metodologie di costruzione atte solo a soddisfare la grande richiesta di alloggi, a discapito quindi della qualità dei manufatti edilizi stessi. Le basse prestazioni energetiche di questi fabbricati hanno difatti contribuito a far sì che, ad oggi, gli edifici sono responsabili del 40,7% (secondo i dati dell'IPCC) del consumo di energia finale nell'UE, e della stessa quota parte di emissioni dannose in atmosfera. Ma ora la situazione è mutata a causa delle forti limitazioni nella disponibilità della risorsa energetica fossile, limitazioni di natura sia ambientale che economica; la concezione del costruire deve perciò adattarsi al nuovo contesto. Gli interventi volti all'efficienza degli impianti si accompagnano ad un nuovo efficace cambiamento riguardante la concezione dell'involucro edilizio, che deve essere capace di ridurre le perdite di calore verso **l'esterno, sfruttare i guadagni di energia solare, includendo un uso più razionale** dell'illuminazione naturale, ed evitare il surriscaldamento estivo degli ambienti. Ciò, insieme all'integrazione di tecnologie che consentono lo sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili, contribuisce significativamente alla riduzione dei consumi energetici, includendo in essi l'energia inglobata nei materiali e nei processi costruttivi. Il punto di arrivo del processo evolutivo, come dimostrano alcuni standard di certificazione (cfr. 1.3), vuole essere l'edificio che consuma meno energia di quanta ne produce: la "casa passiva".

Gli ingenti consumi energetici e le relative emissioni dannose si vanno ad inserire in un quadro più ampio di impatti ambientali che caratterizzano questo settore. Si è quindi reso necessario un approccio sostenibile per portare avanti lo sviluppo e la costruzione di edifici sempre più attenti alle politiche di salvaguardia ambientale. Per ottenere questi obiettivi non è sufficiente che le pubbliche amministrazioni introducano delle leggi o dei regolamenti più stringenti; è auspicabile invece stimolare l'adozione, da parte del mercato, di alcuni strumenti in grado di guidare il settore edilizio verso scelte più consapevoli dal punto di vista ambientale. Una possibile soluzione si esplica attraverso l'adozione volontaria, da parte dei

soggetti che prendono parte alla filiera di realizzazione dell'opera edilizia, di uno dei possibili sistemi di certificazione che negli ultimi anni sono nati a livello internazionale, europeo, nazionale. Occorre inoltre sviluppare ed implementare strumenti idonei e metodologie appropriate. Per attuare una valutazione dei potenziali impatti ambientali connessi all'edilizia è, *in primis*, necessario ragionare nell'ottica di uno studio Life Cycle Assessment (LCA). La valutazione del ciclo di vita è un metodo oggettivo di quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita.

Traducción:

El sector de la construcción en Europa se ha caracterizado, hasta hace unos años, por una fuerte expansión, sobretodo en el sector residencial, que hoy representa el 70 %. La mayoría de los edificios de viviendas fueron terminadas entre 1946 y 1970, durante este periodo que la energía fue ampliamente disponible y donde el momento y sus métodos de construcción que solo eran diseñados para satisfacer la gran demanda de viviendas y la calidad de la construcción de los propios productos. El bajo rendimiento energético de estos edificios han contribuido hasta la fecha al hecho que los edificios son responsables del 40,7 % (según IPCC) del consumo final de energía en la UE, y la misma porción de las emisiones nocivas a la atmósfera. Pero ahora la situación ha cambiado debido a las severas limitaciones en la disponibilidad de los recursos energéticos fósiles, las limitaciones de la naturaleza, tanto ambiental como económica y el diseño del edificio, que por lo tanto, deben adaptarse al nuevo contexto. Las intervenciones para la eficiencia de las instalaciones están acompañadas por un nuevo cambio efectivo en el diseño del edificio, que debe ser capaz de reducir la pérdida de calor hacia el exterior, hacer ganancias de la energía solar, incluyendo un uso más racional, iluminación natural y evitar el sobrecalentamiento en los entornos de verano. Esto, junto con la integración de tecnologías que permiten la explotación de los recursos energéticos renovables, contribuye significativamente a la reducción del consumo de energía, incluyendo en ellos la energía incorporada en los materiales y procesos de fabricación. El punto final del proceso evolutivo, como lo demuestran algunas de las normas de certificación, se quiere realizar que el edificio consuma menos energía de la que produce: la "casa pasiva".

El gran consumo de energía y sus emisiones serán perjudiciales para incluir en un marco más amplio de los impactos ambientales que caracterizan esta zona. Por tanto, era

necesario llevar a cabo un enfoque sostenible para el desarrollo y la construcción de edificios cada vez más preocupados por la conservación del medio ambiente. Para alcanzar estos objetivos no es suficiente que el gobierno introduzca una legislación más estricta, es deseable que en lugar de estimular la adopción por parte del mercado, algunas herramientas pueden guiar a la industria de la construcción hacia decisiones más informadas desde el punto de vista ambiental. Una posible solución es proporcionada a través de la adopción voluntaria, por parte de las personas que participan en la realización de la industria de la construcción, uno de los sistemas de certificación posibles en los últimos años han nacido en el nivel internacional, europeo y nacional. También debe desarrollar e implementar metodologías adecuadas y apropiadas. Para llevar a cabo una evaluación de los posibles impactos ambientales relacionados con la construcción, es necesario, ante todo, la razón en vista de un Análisis de Ciclo de Vida (LCA). La evaluación del ciclo de vida es un método objetivo para la cuantificación de los impactos de energía y ambientales asociados con un producto / proceso / actividad durante todo el ciclo de vida.⁴

Termodinamica e propagazione ondosa.

Autor. Riccardo Pascuzzo

Il mezzi porosi sono dei materiali solidi che contengono fluidi; questi composti sono ben noti a tutti quanti perch'è abbiamo a che fare con essi ogni giorno: dai materiali da costruzione (ad esempio sabbia, cemento e mattoni) ai nostri stessi tessuti biologici (ad esempio ossa e pelle), dal terreno su cui camminiamo a molti generi alimentari e da tanti altri oggetti comuni. I diversi tipi di mezzi porosi a cui possiamo pensare sono praticamente illimitati, come lo sono le loro applicazioni nella vita reale: sono infatti impiegati nella costruzione di dispositivi per il trasferimento o la conservazione del calore, vengono studiati per stimare la propagazione sonora negli edifici e negli impianti di scarico, sono utilizzati per comprendere lo scioglimento dei ghiacci e il deposito di diossido di carbonio dovuti al riscaldamento globale, vengono analizzati per studiare la propagazione ondosa nei terremoti o per individuare giacimenti minerari al di sotto dei fondali marini. Sono state menzionate solo alcune delle più importanti applicazioni dei mezzi porosi, che comunque sono sufficienti per capire quanto sia interessante la ricerca di modelli matematici che ben descrivano il comportamento di questi materiali.

⁴ Severo, Gianluca. Diagnosi e certificazione, efficienza energetica ed implementazione di sistemi di produzione da fonti rinnovabili: Da rudere a masseria passiva. Documento PDF - AMS Tesi di Laurea - Università di Bologna. Recuperado de: <http://www.yumpu.com/it/document/view/15744331/documento-pdf-ams-tesi-di-laurea-universita-di-bologna>

Traducción:

Los medios porosos son materiales sólidos que contienen líquidos, estos compuestos son bien conocidos por todos porque tenemos que tratar con ellos todos los días: a partir de materiales de construcción (por ejemplo, arena, cemento y ladrillos) a nuestros propios tejidos biológicos (como los huesos y la piel), el terreno sobre el que caminamos encontramos muchas clases de alimentos y muchos otros artículos comunes. Los diferentes tipos de medios porosos que podemos pensar son prácticamente ilimitados, así como sus aplicaciones en la vida real. Estos se utilizan en construcción como dispositivos para la transferencia y el almacenamiento de calor, se estudian para estimar la propagación del sonido en edificios y sistemas de escape, se utilizan para entender la fusión del hielo y el almacenamiento de dióxido de carbono debido al calentamiento global, se analizan en el estudio de la propagación de ondas en los terremotos o para localizar depósitos minerales del subsuelo marino. He mencionado sólo algunos de los cuadros de diálogo de las aplicaciones más importantes de los medios porosos, los cuales, sin embargo, son suficiente para ver lo interesante que es la búsqueda de modelos matemáticos que describen bien el comportamiento de estos materiales.⁵

Termodinamica dei processi vitali.

Autores: Giuseppe Quartieri, L.U.de.S. Lugano, CMB, IBR Florida- USA Piero Quercia, IBR Florida (USA).

La teoria evolucionista afferma che la vita ha avuto inizio da una cellula formatasi per casualità. La stessa teoria dell'evoluzione afferma che la vita è pervenuta all'esistenza per caso. La vita si genera solo dalla vita. Nessuno al mondo è mai riuscito a creare una cellula vivente mettendo insieme dei materiali inorganici, neppure nei più avanzati laboratori.

La teoria evolutiva sostiene la manifestazione casuale della vita e ha un atteggiamento disperato di fronte alla presenza, in Natura, di un ordine troppo meraviglioso per poter essere spiegato con semplici effetti di una coincidenza casuale. La teoria dell'evoluzione non è inoltre in grado di giustificare la presunta "formazione casuale" degli amminoacidi. La teoria evolucionista non può spiegare l'apparizione della cellula e la sua "irriducibile

⁵ Pascuzzo, Riccardo. Termodinamica e propagazione ondosa. Alma Mater Studiorum · Università di Bologna. Recuperado de. http://amslaurea.unibo.it/2653/1/pascuzzo_riccardo_tesi.pdf

complessità". Una cellula vivente si mantiene grazie all'armoniosa cooperazione di molti organi.

Qualora uno di questi cessasse di funzionare, la cellula morirebbe. I due elementi fondamentali dell'evoluzionismo sono:

1. La selezione naturale (estesa anche alla cosmologia per diventare selezione cosmica ed ecologia cosmica).
2. La complessità del sistema.

Per quanto evoluzionista, Hoyle (1981) disse che la possibilità di manifestazione di forme di vita superiore per via di selezione naturale è paragonabile a quella di un tornado che, spazzando un deposito di rottami, possa assemblare un Boeing 747 col materiale presente. Ciò dimostra l'impossibilità che una cellula pervenga all'esistenza accidentalmente. Deve essere inevitabilmente "creata".

Traducción:

La teoría de la evolución afirma que la vida comenzó a partir de una célula que se formó por casualidad. La misma teoría de la evolución dice que la vida permanece y existe por casualidad. La vida sólo se genera a partir de la vida. Nadie en el mundo ha sido capaz de crear una célula viva, reuniendo los materiales inorgánicos, incluso en los laboratorios más avanzados.

La teoría evolutiva apoya el evento al azar de la vida y tiene una actitud desesperada frente a la presencia, en la naturaleza, de un orden demasiado maravilloso para poder ser explicados por los efectos simples de una coincidencia accidental. La teoría de la evolución no es tampoco capaz de justificar la supuesta "formación accidental" de los aminoácidos. La teoría de la evolución no puede explicar la aparición de la célula y su "complejidad irreducible". Una célula viva se mantiene con la cooperación armoniosa de muchos órganos. Si alguno de estos no funciona, la célula moriría. Los dos elementos básicos de la evolución son:

1. La selección natural (extendido a la cosmología para convertirse en selección cósmica y ecología cósmica).
2. La complejidad del sistema.

Aunque un evolucionista, Hoyle (1981) dice que la posibilidad de manifestación de las formas superiores de vida por la selección natural es comparable a la de un tornado, barriendo un depósito de chatarra pudiera ensamblar un Boeing 747 a partir de los materiales presentes. Esto demuestra la imposibilidad de una célula que ha llegado a existir por casualidad. Debe de haber sido "creada".⁶

La valutazione energetica in edilizia dal regime stazionario al regime periodico stabilizzato.

Autor: Arianna PIVOTTO

Si concentra sulla valutazione energetica in edilizia e dell'evoluzione che essa ha presentato durante il corso degli ultimi anni. Lo scopo di questo lavoro è lo studio dei parametri che caratterizzano la termodinamica dell'edificio e dei parametri che ne determinano la valutazione energetica, andando a specificare l'evoluzione di questi procedimenti sia a livello normativo, sia a livello di calcolo.

Il passaggio fondamentale che è stato evidenziato durante l'analisi degli aspetti termodinamici dell'edificio, è stato quello tra lo studio della trasmissione di calore a regime stazionario allo studio della trasmissione di calore in condizioni di regime periodico stabilizzato. Tale sviluppo è stato analizzato parallelamente alle normative degli ultimi anni, che hanno introdotto nelle richieste di valutazione i parametri che definiscono tale regime variabile. Questo studio, durante il lavoro di tesi, è stato sperimentato attraverso lo sviluppo di una simulazione di prova, prendendo come oggetto un semplice edificio residenziale e analizzato attraverso Energy Plus, programma di calcolo americano, attualmente il più sviluppato al mondo. Tale simulazione è stata realizzata mettendo a confronto differenti contesti climatici, differenti soluzioni di involucri dell'edificio, analizzando tutti i parametri di influenza, sia fisici, propri dei materiali, sia i parametri legati al contesto, fino al calcolo del fabbisogno energetico annuo.

Traducción:

⁶ Quartieri Giuseppe y Quercia Piero. Termodinamica dei processi vitali. siaecm Recuperado de: http://www.siaecm.it/IQ/Home%20Page/news/2009/allegati/09_01_09_TERMODINAMICA_dei_PROCESSI_VITALI.pdf

Se concentra en la evaluación de la eficiencia en los edificios y en la evolución que se ha presentado durante el transcurso de los últimos años. El propósito de este trabajo es el estudio de los parámetros que caracterizan a la termodinámica del edificio y de los parámetros que determinan la calificación energética, especificando la evolución de estos procesos tanto en el nivel normativo, como a nivel de cálculo.

El paso fundamental que se puso en evidencia durante el análisis de los aspectos termodinámicos del edificio, ha sido el estudio de la transmisión de calor a régimen estacionario y al estudio de la transmisión de calor en condiciones de régimen periódico estabilizado. Este desarrollo fue analizado en combinación con la normativa de los últimos años, que se han introducido en las solicitudes de parámetros de evaluación que definen esta variable. Este estudio, de trabajo de tesis, se ha experimentado a través del desarrollo de una prueba de simulación, tomando como objeto de un simple edificio residencial y analizándolo a través de Energy Plus, programa de cálculo Americano y en la actualidad uno de los más desarrollados en el mundo. Esta simulación se llevó a cabo mediante la comparación de diferentes regiones climáticas, diferentes soluciones de envolturas de edificaciones, analizando todos los parámetros de influencia, tanto físicas, sus materiales, y los parámetros relacionados con el contexto, para el cálculo de las necesidades anuales de energía.⁷

⁷ Pivotto, Arianna. La valutazione energetica in edilizia dal regime stazionario al regime periodico stabilizzato. Recuperado de. <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/1102?mode=simple>

1.8. Antecedentes

1.8.1. Marco Histórico:

Una brevísima historia de la arquitectura solar.⁸

“La expansión, ilimitada en apariencia, de su poderío material, ha colocado a la humanidad en el predicamento de un capitán cuyo buque está construido con tanta abundancia de acero y hierro que la aguja de su compás apunta sólo a la masa férrea del propio buque, y no al Norte. Con un barco semejante no hay modo de poner proa hacia ninguna meta; navegará en círculo, entregado a vientos y corrientes. Pero [...] podemos añadir que el riesgo subsiste sólo en tanto que el capitán ignora que su compás ha perdido la sensibilidad para la fuerza magnética de la Tierra. En el instante en que este hecho se pone al descubierto, una buena mitad del riesgo se esfuma, ya que el capitán que no quiere dar vueltas al azar [...] encontrará sin duda algún medio para determinar la dirección de su barco: podrá inventar una forma más moderna de compás, insensible a la masa del propio buque, o podrá orientarse por las estrellas, como en antiguas épocas.” **Werner Heisenberg, 1955.**

⁸ Este texto es en realidad un extenso resumen de la obra *Un hilo dorado* [Butti & Perlin, 1980]. La única aportación que podría considerarse original consiste en resaltar la tesis principal tal y como se enuncia al principio. La persona interesada debiera acudir a la obra citada. Para entender algunas referencias geográficas, el lector debe situarse en la ciudad de Lima en Perú, donde inicialmente fue dictada la conferencia.

Hace unos 2.500 años la cultura griega comenzó a diseñar sus casas para captar la radiación solar durante el invierno. Casi con total seguridad no fue la primera cultura humana en hacerlo. Posteriormente otras de hecho, no son pocos los que hoy, en las postrimerías del siglo, consideran la energía solar como una extraña fuente energética necesitada aun de bastantes años de investigación y desarrollo antes de tornarse práctica. Sin embargo, espero mostrar con este trabajo como el uso y la consideración del curso del Sol ha ido evolucionando a lo largo de miles de años. Esta evolución prosigue hoy; la mejor técnica actual de hoy representa en apariencia una gran mejora respecto a la de hace algunas décadas. Pero si como medida de la eficacia de una técnica adoptamos su generalización cultural, su uso frecuente, en el que se aúnen sencillez y fiabilidad, encontraremos que muchas de las técnicas antiguas (inseparables de las comunidades que las dieron vida) exhibieron una eficacia no superada en nuestros días.

La tesis principal que desea enfatizar es la periódica interrupción de la evolución técnica de la arquitectura solar. Veremos que las razones de estas interrupciones se relacionan las más de las veces con una cierta visión cultural del mundo, y en especial con una particular visión del mundo económico. Si traigo a colación este tema, en una ciudad como Lima, casi permanentemente privada de la radiación solar directa, es con el convencimiento de que muchos de los temas que examinaré son extrapolables a otros aspectos de la realidad arquitectónica, ya se trate de la elección de los materiales con que construir, ya de la forma urbana de la ciudad. Espero que al final quede claro que el progreso técnico no es un proceso de acumulación y mejora inevitable del conocimiento: por el contrario, la tendencia dominante es la pérdida de sabiduría, de conocimientos valiosos, que sólo se conservan con un considerable esfuerzo (en ocasiones penoso) de la voluntad de atesorarlos.

Grecia

Para Sócrates, la casa ideal debería ser fresca en verano y cálida en invierno. Con muy pocas excepciones esta idea central de la casa como otra piel del ser humano ha sido examinada o dada por supuesta por todos los tratadistas. Pero el ideal de Sócrates no era fácil de alcanzar en la Grecia de hace 2.500 años. Los griegos carecían de medios artificiales para refrescar sus casas durante los abrasadores veranos; y sus sistemas de calefacción, básicamente braseros portátiles de carbón, tampoco eran adecuados para mantenerlas calientes durante el invierno.

De hecho son conocidas distintas crisis de escasez de combustibles en los tiempos antiguos: para el siglo V aC, numerosas zonas de Grecia estaban casi totalmente peladas de árboles. Esto originaría sin duda cambios micro climáticos hasta el punto de que Platón, refiriéndose a su Atica nativa dejó escrito: "Todas las partes más ricas y blandas han desaparecido y cuanto permanece es el mero esqueleto de la tierra".

Cuando los abastecimientos locales se desvanecieron y hubo que importar la madera, numerosas ciudades-estado regularon el uso de ésta y del carbón. En el siglo IV aC los atenienses prohibieron el empleo de madera de olivo para hacer carbón. Sin esta medida sus valiosas arboledas hubieran desaparecido víctimas de ciudadanos hambrientos de combustible.

Por fortuna se disponía de una fuente energética alternativa (el Sol) abundante y gratuita. En muchas zonas de Grecia el uso de la energía solar como ayuda al calentamiento de la casa constituyó una respuesta positiva a la escasez energética. Habitantes de un clima soleado durante casi todo el año, los griegos aprendieron a construir sus casas para beneficiarse de los rayos solares en los moderadamente fríos inviernos y evitar el calor del Sol en los cálidos veranos. Y así nació la arquitectura solar, o el diseño de la forma de los edificios en orden a mejorar su aprovechamiento solar.

La técnica griega consistió fundamentalmente en entender que la altura del Sol variaba a lo largo de las estaciones. O, dicho de otro modo, que la inclinación de los rayos solares era variable. Precisamente de la palabra griega para inclinación proviene la palabra castellana para clima. Para una latitud de 40 grados, en verano el Sol se ve en lo alto al mediodía, bajo un ángulo de más de 70 grados en el cenit, mientras en invierno, el Sol recorre una trayectoria más baja, con el cenit en los 26 grados. Así las cosas, bastaba con anteponer a las fachadas un pórtico cuya altura y profundidad formaran un triángulo con unos 80 grados de inclinación de la hipotenusa para que la fachada quedara libre de Sol durante el verano. Y además, si el espacio libre delante del pórtico era tal que su anchura y la altura del edificio de enfrente formaban un triángulo cuya hipotenusa tenía una inclinación no mayor que 26 grados, la fachada estaría convenientemente soleada en invierno.

En el diseño solar griego se aprecian pues dos aspectos: el diseño del propio edificio (la proporción del pórtico) y su relación con el edificio contiguo. La casa con patio central permitió resolver al mismo tiempo ambas relaciones, pues el edificio de enfrente es la propia

entrada de la casa. Aun con esta solución que permitía la total autonomía de cada alojamiento, era necesario que el orden urbano permitiera esta inteligente disposición. De ahí la trama de calles orientadas de Este a Oeste de las ciudades griegas.

Entre el pórtico al aire libre y las entradas a las habitaciones en el interior de las casas no mediaba cristal alguno, pues los griegos no disponían ni de vidrio transparente ni de otros materiales análogos para huecos de puertas y ventanas. Las habitaciones principales de la casa no sólo eran calentadas por los rayos de Sol procedentes del pórtico sino que, además, estaban resguardadas del norte para evitar los fríos vientos. Como cita Jenofonte, Sócrates explicaba el sistema en estos términos:

En las casa orientadas al sur, el Sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que en el verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado, de manera que hay sombra.

Al diseño solar se le dio prioridad en ocasiones sobre cualquier otra consideración, tal y como ocurre en la ciudad de Priene. A pesar de su exaltada topografía los urbanistas de la ciudad aterrizaron las calles Este-Oeste, mientras las calles secundarias ascendían por la falda del monte según el eje Norte-Sur. A causa de la gran pendiente existente, muchas de las vías secundarias tenían en realidad más de escalera que de calle.

A pesar del difícil emplazamiento de Priene, todas sus casas, cualquiera que fuese su tamaño, estaban diseñadas de acuerdo con el principio geométrico de la orientación solar. Las habitaciones principales daban siempre a un porche cubierto orientado al sur. Hasta las casas de los ciudadanos más pobres podían disfrutar el calor del Sol en invierno y evitar su ardor durante el verano.

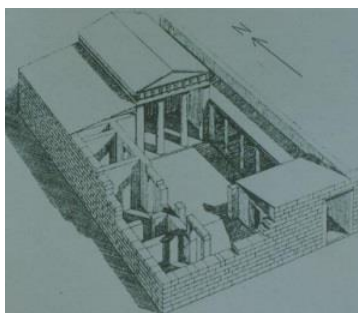


Ilustración 1 *Reconstrucción de una casa en Priene*

¿Era eficaz la técnica griega? A parte de las evidencias que pueden rastrearse en la propia literatura griega se tienen evidencias empíricas. Edwin Thatcher estudió la capacidad de calentamiento en las habitaciones orientadas al sur. Descubrió que una persona desnuda sentada en la parte soleada de tales habitaciones se hallaría en relativo confort el 67 por ciento de los días de los meses más fríos, de noviembre a marzo. Por supuesto, sus habitantes habrían estado vestidos la mayor parte del tiempo, lo que aumentaría el porcentaje de tiempo confortable. Cuando el calor no bastaba, podían encenderse los braseros de carbón.

No puede extrañar después de esto que al poner Esquilo [**Esquilo, 1993**] en boca de Prometeo algunas de las características que, en su opinión, habrían de separar a las culturas civilizadas de los bárbaros, entre ellas se encontrarán, precisamente, el adobe y también las casas vueltas hacia el sol.

Para lo que más adelante veremos, interesa aquí hacer una digresión acerca del concepto griego sobre la máquina. La máquina griega es por excelencia la palanca, de todos conocida. En un extremo se aplica la potencia, en el otro se vence una resistencia, un peso se mueve. La proporción entre potencia y resistencia es la inversa que exista entre sus respectivos brazos de palanca. Tanto mayor sea el brazo con que actúa la potencia respecto a la resistencia, tanto mayor será la resistencia que una cierta potencia puede vencer. Aunque los griegos no elaboraron el concepto de energía tal y como hoy lo conocemos, lo cierto es que la palanca griega representa bien el principio de su conservación. Puede concluirse por tanto que los griegos no esperaban obtener con este artilugio algo a cambio de nada: la cantidad de energía permanecía inalterada. La utilidad del artilugio residía únicamente en transformar la calidad de la energía, su cualidad. ¿Qué era la potencia? La potencia era generalmente energía humana o animal (recuérdese que la sociedad griega era mantenida mediante una economía esclavista). Así, la casa orientada hacia el sol tiene todas las características del concepto griego de máquina. Recibe una energía disponible gratuitamente en la naturaleza, la del sol, y transforma su cualidad, haciéndola útil en invierno y evitándola en verano, cuando resulta pernicioso.

Esta cosmovisión del mundo de las máquinas quizá permita comprender que los griegos nunca desarrollaran motores, como la denominada en el siglo XIX máquina de vapor. Y ello a pesar de haber contado con todos los recursos técnicos necesarios. De hecho, la escuela de los llamados mecánicos griegos, encabezados por Herón de Alejandría, utilizó no sólo

la fuerza del vapor para producir movimiento, también la energía solar para producir vapor. Pero los artefactos construidos fueron siempre pequeños autómatas, órganos o silbatos, fuentes de agua, artilugios todos ellos atravesados por una intención lúdica, decorativa, espectacular; nunca, que sepamos, fue planeado usar este género de técnicas en el mundo de la industria, de la construcción o de la guerra [Gille, 1980].

Roma

El consumo de madera de la antigua Roma fue incluso más pródigo que el de Grecia. Existía una enorme demanda de madera como combustible para la industria, para la construcción de barcos y casas, y para calentar baños públicos y villas particulares. En tiempos de Cristo era normal que los romanos ricos dispusieran de calefacción central en sus villas de recreo. Los hipocaustos quemaban madera o carbón en hornos e impulsaban luego el aire caliente a través de ladrillos huecos situados en los pisos y paredes. Una instalación de hipocausto podía llegar a devorar 150 kilos de madera por hora, o más de 15 metros cúbicos de leña diarios.

Los recursos locales de madera desaparecieron rápidamente de la península italiana. En el siglo III aC, la región de Monte Cimino, a escasa distancia de Roma, se encontraba tan densamente arbolada que el historiador Livio diría de ella ser "más difícil de atravesar y aterradora que las regiones boscosas de Alemania". Pero para el siglo I aC la madera tenía que importarse de regiones tan orientales como el Cáucaso, distante 1.500 kilómetros. Estrabón narra como la escasez de combustible obligó a cerrar las minas de hierro de Elba. Plinio el Viejo nos describe los efectos adversos sobre la industria local del metal en Campania.

Resulta plausible pensar que esta crisis de recursos decidieron a los romanos a adoptar la técnica solar griega, desarrollándola y adaptándola a los diferentes climas del imperio, empleando el vidrio en el cerramiento de las ventanas a fin de incrementar la ganancia de calor solar evitando las pérdidas, y aplicándola en invernaderos y edificios públicos tales como los baños. La arquitectura solar se convirtió en parte tan consustancial de la vida que la garantía de los derechos al sol, es decir, el derecho a que la casa del prójimo no se interpusiera entre el Sol y la casa propia, quedaría finalmente incorporada a la ley romana.

La amplitud del imperio romano aconsejó a Vitrubio [**Vitrubio, 1970**], el famoso tratadista, a dejar dicho:

“Si deseamos que nuestros diseños de casas sean correctos debemos comenzar por tomar buena nota de los países y climas en que estas van a construirse. Un tipo de casa parece apropiado para Egipto, otro para España... otro aún diferente para Roma, y así sucesivamente con las tierras y países de características diferentes. Ello es tal porque una parte de la tierra se encuentra directamente situada bajo el curso del sol, otra dista mucho de él, mientras que otras se encuentran a medio camino entre las anteriores... Es evidente que los diseños de casas deberían conformarse a las diversidades del clima.”

Yendo más lejos que los griegos, Vitrubio especificaba el lugar de la casa donde deberían situarse cada habitación, según el uso de ésta a fin de lograr mayor confort. Así, por ejemplo, los comedores invernales debieran orientarse a la puesta de Sol invernal en el suroeste, mientras los estivales debieran dar al norte.

Según se agotaban las reservas de madera durante el siglo primero de nuestra era, los romanos prósperos de todo el Imperio empezaron a construir con el Sol en la mente. Tal es el caso de Plinio el Joven, rico e influyente escritor romano del siglo segundo. Tanto por conservar madera como para ahorrar dinero, dio forma a sus dos casas en los Apeninos, una invernal y otra estival, según la técnica solar griega y los dictados de Vitrubio. El estudio de la última, donde Plinio pasaba leyendo casi todo el día, era semicircular y estaba dotado de un gran ventanal abalconado por donde la luz del Sol penetraba desde la mañana hasta el atardecer.

Plinio bautizó como *heliocaminus* (literalmente "horno solar") a su habitación favorita. Muy probablemente, los huecos al sudoeste del *heliocaminus* estarían cubiertos con vidrio o con mica. Al permitir el paso de la luz y guardar el calor acumulado en su interior, tales materiales actúan como captadores del calor solar. El aire calentado no podía escapar con facilidad, de manera que la temperatura subía muy por encima de lo que resultaba posible en la casa solar griega. El invento del vidrio plano y transparente fue una novedad radical. El vidrio coloreado había sido empleado durante miles de años, pero no fue hasta el siglo I que se introdujo el transparente en las ventanas. Séneca, en una carta del año 65, señalaba que "ciertos inventos han tenido lugar recientemente; el empleo de paneles de ventana que permiten el paso de la luz a través de un material transparente es uno de ellos".

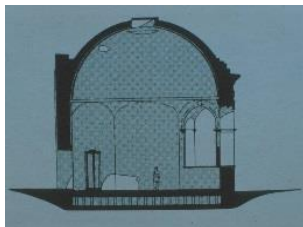


Ilustración 2 Heliocaminus romano en Ostia

El vidrio como colector solar se empleó también en invernaderos, a fin de multiplicar el número de cosechas a lo largo del año y, también, para poder cultivar plantas exóticas venidas de los confines del Imperio. Son bien conocidos, por los escritos de Plinio el Viejo, los invernaderos que surtían la cocina del emperador Tiberio durante todo el año.

Los baños públicos fueron también orientados hacia el sol de manera específica. Según Vitrubio: "El lugar para los baños debe ser tan templado como resultara posible y estar alejado del norte... Deberían mirar hacia la puesta del Sol invernal, pues cuando el Sol poniente nos alumbra con su resplandor irradia calor, volviendo esta orientación más cálida a última hora de la tarde. [Que es cuando había costumbre de tomar el baño]".

Para el siglo cuarto el abastecimiento de combustible había empeorado más aún si cabe. Con el fin de satisfacer las necesidades de Roma a este respecto, el gobierno destinó toda una flota exclusivamente al transporte de madera desde Francia y el Norte de Africa hasta el puerto Romano de Ostia. Probablemente todos los bosques de la península italiana habían sido arrasados por aquella época.

Cuando las escaramuzas fronterizas con los bárbaros adquirieron mayor gravedad, Roma hubo de fortalecer sus fuerzas armadas. Pero pese a sus esfuerzos, la posición de Roma se hizo cada vez más precaria y el flujo de recursos vitales desde las regiones exteriores del Imperio quedó interrumpido. La economía de Roma, ciudad insostenible contando sólo con los recursos disponibles en su rededor, cayó en el desorden y en la confusión. Aislados del resto del mundo se vieron obligados a adoptar un estilo de vida autosuficiente.

Para ayudar a los ricos a arreglarselas en su nuevo modo de vida de vida rural (una vez abandonada la residencia en la capital) los arquitectos Faventino y Paladio [**Paladio, 1990**] escribieron manuales que hoy denominaríamos de autoconstrucción, con el acento puesto en la autosuficiencia. Además de la técnica solar, Paladio abogaba por el reciclaje del agua

y por la disposición de las estancias de invierno directamente encima de los baños calientes, para beneficiarlas tanto del calor solar como del sobrante que ascendía de los mismos. Algunas otras novedades fueron incluidas en ambos tratados, tales como los colores claros u oscuros según se quisiera reflejar o retener el calor.

La importancia ganada por el acceso al Sol quedó claramente registrada en el Código del Emperador Justiniano en el siglo VI:

“Si un objeto está colocado en manera de ocultar el Sol a un *heliocaminus*, debe afirmarse que tal objeto crea sombra en un lugar donde la luz del Sol constituye una absoluta necesidad. Esto es así una violación del derecho del *heliocaminus* al sol.”

A pesar de este registro jurídico, la forma urbana de las ciudades romanas no permitieron el acceso de todos al sol. Y como sólo las clases enriquecidas tenían acceso efectivo a la justicia, las viviendas humildes no disfrutaron de orientaciones adecuadas. En agudo contraste con el espíritu griego de democracia e igualdad social (aunque reservadas ambas a los ciudadanos), la ideología dominante en la Roma imperial favorecía los privilegios de clase.

Concentración de la energía solar

Junto con la orientación solar de los edificios y el empleo del vidrio como captador del calor solar, los antiguos conocieron otros modos de aprovechar la energía solar. Griegos, romanos y chinos desarrollaron espejos curvados que podían concentrar los rayos del Sol sobre un objeto con intensidad suficiente como para hacerlo arder en pocos segundos. Se trataba de reflectores solares a base de plata, cobre o bronce pulimentado.

Al madurar su comprensión de la geometría, los griegos advirtieron que un espejo de superficie parabólica resultaba incluso más potente que uno esférico. Esto era debido a que en un espejo parabólico convenientemente orientado, los rayos solares se concentran en un único punto, y no en varios como ocurre en un arco de circunferencia; a igualdad de energía, el área en que se concentra es menor, y por tanto mayor la temperatura que puede obtenerse en la zona calentada. La leyenda sostiene que Arquímedes utilizó espejos incendiarios para destruir los barcos de los invasores romanos en Siracusa, pero tal hecho no parece ser sino un mito.

En tiempos de los griegos y los romanos, los espejos incendiarios se utilizaron para encender fuegos, pero eran estos fuegos de intención más benigna, como los que ardían en los templos. Así Plutarco escribía que cuando los bárbaros saquearon el Templo de las Vestales en Delfos y extinguieron su llama sagrada, ésta hubo de volver a encenderse con la "llama pura e impoluta del Sol". Mediante "vasos cóncavos de bronce", las santas dirigieron los rayos del Sol sobre "material ligero y seco" que se encendió inmediatamente, y su llama ardió de nuevo.

Como sucediera con tantos avances de la antigüedad, todo el conocimiento sobre espejos incendiarios se desvaneció en los denominados Siglos Oscuros. Durante el nacimiento y desarrollo de la actual ciencia occidental, desde los tiempos de Roger Bacon, en el siglo XIII, los intentos de hacerse con el enorme poder atribuido a Arquímedes en la leyenda ocupó buena parte del tiempo de artistas y sabios como Leonardo de Vinci, Andrea del Verrochio, Galileo o Athanasius Kircher.

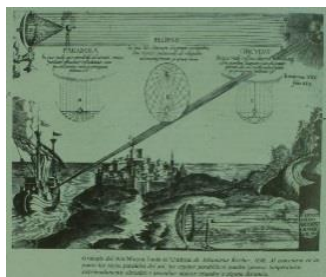


Ilustración 3 *Lamina del Ars Magna Lucis et Umbrae de Athanasius Kircher, 1646.*

Una vez los fundamentos geométricos fueron redescubiertos quedaba el escollo técnico de construir un espejo suficientemente grande como para poder originar la combustión o el calentamiento de objetos con interés. A finales del siglo XVII ya se contaba con espejos de un metro y medio de diámetro, realizados con láminas de cobre. A principios del siglo XVIII Peter Hoesen introdujo la idea de un reflector formado mediante numerosos y pequeños espejos planos, fáciles de construir y de montar sobre un armazón con la forma deseada, alcanzando así la marca de tres metros de diámetro. De este modo quedaron establecidos los conceptos y principios técnicos y geométricos que más tarde serían usados en tecnologías punta en el presente siglo en artefactos tales como satélites artificiales. Curiosamente, tales espejos nunca fueron empleados como armas de guerra (el propósito inicial de Roger Bacon y los demás), pues para entonces la pólvora ya campeaba a sus anchas por los campos de batalla europeos.

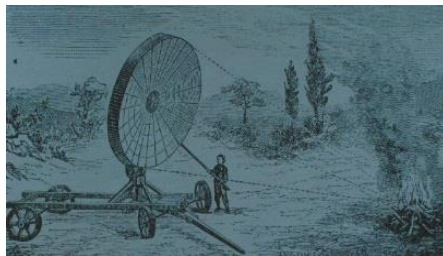


Ilustración 4 Espejo incendiario de Hoesen, siglo XVII.

Invernaderos

Ya sea a través de tradiciones vernáculas, ya sea a través de los redescubiertos tratados romanos, lo cierto es que, al igual que en el caso de los espejos, los colectores solares hortofrutícolas, es decir, los invernaderos, volvieron a emplearse durante el siglo XVI. Hasta entonces, ya sea por la falta de vidrio plano en una economía muchas veces de subsistencia, ya sea por prohibición eclesial que quería impedir cualquier intromisión humana en el plan divino (tal cual sería ayudar al crecimiento de las plantas), su uso había ido decayendo. Tras la Reforma, holandeses y flamencos, libres ya de la autoridad de la Iglesia Católica y la Inquisición, comenzaron a emplear la técnica de orientación solar tanto en el trazado de huertos como en el uso de invernaderos.

Una vez más, la técnica más simple consiste en la adecuada inclinación del muro frutal: se trata de forzar al árbol a crecer pegado a un muro orientado al Sol. Por una parte se intensifica así la radiación incidente en el propio árbol; además el muro, en ocasiones un simple talud de tierra, almacena calor, librando a la planta de una buena porción de heladas nocturnas.

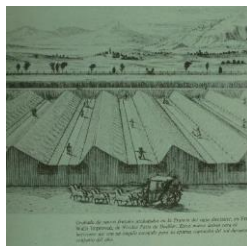


Ilustración 5 Huertos frutales "solares", Francia, siglo XVII.

En el siglo XVIII el uso del colector solar en forma de invernadero resurgió con fuerza en Inglaterra, donde llegaron a ponerse de moda con tal intensidad que se consideraba de mal

gusto no poseer uno. Resulta notable la detallada comprensión que del funcionamiento del colector solar tenían los artesanos de la época, con anterioridad a que fueran difundidos los principios termodinámicos que permitirían explicar el fenómeno. De este modo, la necesidad de aislamiento nocturno se manifiesta en las contraventanas, toldos y demás partes móviles de la carpintería. También se entrevió las ocasionales necesidades de ventilación, disponiéndose ventanucos arriba y abajo para permitir la expulsión de aire caliente y poder evitar así sobrecalentamientos excesivos. En los invernaderos de la época, se afinaba también la inclinación del vidrio según la latitud del lugar, a fin de enfrentarse al Sol de la manera más directa en la época más fría.

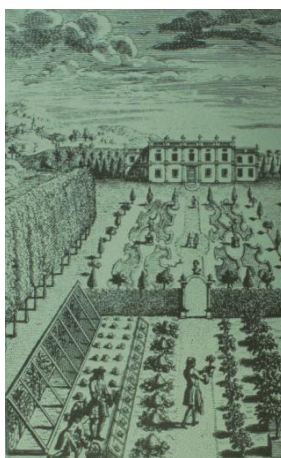


Ilustración 6 Colectores solares de vidrio, Inglaterra, siglo XVIII.

Finalmente, el uso del invernadero pasó de la horticultura a la vivienda, primero como espacio ajeno a la misma, que servía de aislamiento respecto al espacio exterior, después como habitación para algunos usos (tales como juegos, lectura o descanso), después, incorporado en la propia vivienda, en forma de estufa o salón con fuerte acristalamiento en la cubierta y/o en los muros laterales.

En el siglo XIX la popularidad de las estufas fue tal que cada quien quería tener una. De hecho, la gente comenzó a no preocuparse de la correcta orientación. A fin de conseguir una estufa en su vivienda, y en el caso de carecer de una habitación de la casa con la orientación adecuada, se acristalaba la fachada en cualquier caso, y para producir el mismo calor que no podía entonces ganarse del Sol, se recurría a sistemas de calefacción basados en el carbón o en el gas, disponibles a precios irrisorios por aquella época. De esta forma, en lugar de calentarse mediante los rayos solares procedentes del sur, los invernáculos

contaban con sistemas de calefacción artificial; de ahorradoras de combustible, las estufas pasaron a ser despilfarradoras del mismo. Debido a ello, la muerte y desaparición de la estufa inglesa fue en muy buena parte debida a la institución del racionamiento de combustible durante la primera guerra mundial. La lección de la calefacción solar aprehendida en una época de sabia utilización de los recursos locales y disponibles, volvió a perderse cuando el acceso a recursos energéticos fósiles lejanos pero baratos se generalizó.

Cajas calientes solares

El uso frecuente y popular de los invernaderos del siglo XVIII tuvo como consecuencia que mucha gente experimentara de forma directa la capacidad del vidrio de retener el calor solar. Como observara Horace de Saussure, uno de los más destacados naturalistas europeos de la época, "es un hecho sabido, y probablemente lo ha sido desde hace mucho tiempo, que una habitación, un carruaje, o cualquier otro lugar está más caliente cuando los rayos del Sol penetran en él a través de un cristal". La misma experiencia, tan habitual en nuestros días, de introducirse en un carro que ha pasado unas cuantas horas expuesto al Sol. Para el científico franco-suizo resultaba muy sorprendente que fenómeno tan común no hubiera inspirado hasta entonces ninguna investigación empírica sobre la temperatura máxima obtenible en un captador solar de vidrio. De hecho, cuando experimentaban con energía solar sus contemporáneos preferían operar con espejos solares, capaces de proezas espectaculares como incendiar objetos a distancia o fundir los metales más duros en segundos. Por ello, en 1767, de Saussure se dispuso a determinar la efectividad de los captadores calóricos de vidrio para acumular energía del sol, iniciando así la comprensión científica de un fenómeno cuya utilidad técnica venía siendo empleada desde antiguo como hemos visto.

De Saussure comenzó por construir un invernadero en miniatura de cinco paredes, realizado con otras tantas cajas de vidrio, de planta cuadrada y dimensiones decrecientes de 30 cm en la base por 15 cm de alto a 10 cm en la base por 5 cm de alto. Las cinco cajas estaban abiertas por su base, de tal modo que podían apilarse, una dentro de otra, todas sobre una mesa de madera negra. Tras exponer el artefacto al Sol durante varias horas, de Saussure midió la temperatura en el interior. La caja exterior era la más fría, aumentando la temperatura en cada caja menor sucesiva. La temperatura más elevada se registraba en

la base de la caja más interior (87 grados). De Saussure escribiría que "las frutas expuestas a este calor [el de la caja interior] quedaron cocidas y jugosas".

Con el propósito de impedir más eficazmente la pérdida de calor, De Saussure construyó una pequeña caja rectangular de madera de pino de un centímetro y medio de espesor, revestida por dentro de corcho negro. La parte superior de la caja quedaba cerrada por tres láminas separadas de vidrio. Expuesta la caja al sol, el interior de su base alcanzaba una temperatura de 118 grados. A este ingenio se le denominaría posteriormente caja caliente, por la gran cantidad de calor solar que podía retener.

Sin embargo, la caja caliente cedía todavía al exterior una parte de su calor. Decidió entonces colocarla dentro de otra caja abierta por arriba y rellenar de lana la separación entre ambas. Este refuerzo en su capacidad aislante se tradujo en una menor pérdida de calor, con lo que la temperatura en el interior de la caja caliente ascendió a 120 grados, incluso cuando el tiempo atmosférico no fue tan favorable como con ocasión del experimento anterior.

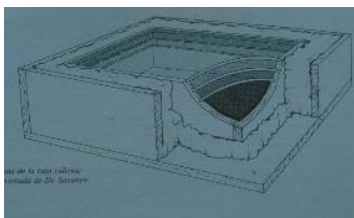


Ilustración 7 Caja caliente de Saussure, 1767.

El comportamiento térmico de esta caja caliente sugirió a de Saussure que la atmósfera de la tierra tendría un comportamiento similar: la intensidad de la radiación solar sería prácticamente igual en las montañas que en las riberas de los mares, pero la mayor capa atmosférica en estas últimas retendría mejor el calor. Sus experimentos indicaron que la caja caliente alcanzaba temperaturas parejas en la sierra y en el llano: esto demostraba que el brillo solar tenía la misma fuerza con independencia de la altitud.

Al igual que las caras de vidrio de la caja caliente, nuestra atmósfera permite a casi toda la luz solar alcanzar la tierra. Aproximadamente tres cuartas partes de la radiación solar llegan a la superficie de la tierra cuando el cielo está despejado. La Tierra (como el suelo de la caja caliente) absorbe la energía solar y libera calor. Pero a este calor no le resulta fácil

escapar a través del manto atmosférico: de la misma manera que el calor solar es retenido por los paneles de vidrio de una caja caliente.

Varios científicos del siglo XIX llevaron a cabo experimentos con cajas calientes y obtuvieron resultados análogos. Sir John Herschel, el importante astrónomo, realizó una caja caliente en el curso de una expedición durante los años 1830 al Cabo de Buena Esperanza. Se trataba de un cajón de caoba pintado de negro por su interior y cubierto de vidrio, colocado en un bastidor de madera protegido por otra lámina de vidrio y arena apilada sobre sus costados. El resultado de los experimentos de Herschel con esta caja caliente no sólo fue científicamente interesante sino además grato al paladar, como dan a entender sus notas:

“Cuando estas temperaturas de hasta 125 grados sobrepasaban la de ebullición del agua, se realizaron varios experimentos exponiendo huevos y carnes [al calor interior de la caja], todos los cuales, tras un moderado intervalo de exposición, se hallaron perfectamente cocinados...”

En cierta ocasión un respetable estofado de carne fue guisado así y comido con no poco gusto por los divertidos espectadores...”

El relato de las comidas campestres solares de Sir John intrigaría a Samuel Pierpont Langley, el famoso astrofísico americano que posteriormente llegó a ser director de la *Smithsonian Institution*. Langley sentía fascinación por el calor solar desde niño, cuando se preguntaba por qué el cristal mantenía caliente el interior de un invernadero. En 1881 repitió experimentos similares a los anteriores en el monte Whitney.

De Saussure, Herschel y Langley demostraron que en el interior de una caja cubierta de vidrio podían producirse temperaturas superiores a la de ebullición del agua. Su inventor era consciente de que la caja caliente podría tener importantes aplicaciones prácticas. Como en profesión de humildad, De Saussure señaló que "algún día podrá derivarse alguna utilidad de este ingenio [porque] en realidad es demasiado pequeño, barato, y fácil de hacer". Ciertamente su modesta esperanza sería más que satisfecha: la caja caliente se convirtió en prototipo de los colectores solares de finales del siglo diecinueve y del veinte; colectores capaces de suministrar agua caliente y calefacción a las casas y energía a las máquinas.

La Revolución Industrial

Para los primeros años del siglo XIX los esporádicos avances experimentados por la ciencia y por la técnica a lo largo de las anteriores centurias se habían disparado ya vertiginosamente, originando una revolución industrial total. El empleo de las máquinas como suplemento a la energía muscular de hombres y animales significó la posibilidad de manufacturar bienes a una escala sin precedentes. Pero la mecanización dependía de la producción de hierro, y hacer una tonelada de hierro suponía quemar entre siete y diez toneladas de carbón. El carbón juntamente con la madera, era también el principal combustible de las recientemente "inventadas" máquinas de vapor y de las fábricas surgidas por toda Europa.

A caballo entre el siglo pasado y el presente siglo, algunas tendencias que hoy llenan las páginas de actualidad de los medios de comunicación, fueron previstas con bastante detalle. Para lo que aquí interesa, convendrá señalar dos de ellas, ambas en relación con el fantástico consumo de carbón en Europa.

Svante Arrhenius (químico al que debemos la explicación fundamental de la velocidad de las reacciones químicas en tanto dependiente de las concentraciones relativas de productos y reactivos) señaló en las postrimerías del siglo pasado lo que hoy se denomina comúnmente calentamiento atmosférico por efecto invernadero. Concedor de la visión de la atmósfera de De Saussure, de la atmósfera en tanto colector solar o caja caliente, previó que la generación de dióxido de carbono aumentaría la capacidad de retención de calor del manto atmosférico. Con lápiz y papel, calculó que cabía esperar un aumento de 4 grados centígrados en los próximos dos siglos, de continuar la tendencia creciente en el consumo de energía fósil⁹. Merece la pena señalar que siendo él sueco, vio con alegría sus propios resultados: en efecto, el frío clima sueco se templaría redundando en lo que él pensaba serían ventajas para la vida de sus habitantes.

Resulta significativo que las detalladas investigaciones realizadas en nuestros días por la NASA o la Fundación Nacional para la Ciencia de los EEUU, no hayan mejorado ni la

⁹ [Pou, 1992]. Medio siglo antes Tyndal había ya sugerido la línea de investigación y la conclusión, aunque no llegó a ningún resultado cuantitativo, véase [Maunder, 1988]

previsión de Arrhenius ni su exactitud, a pesar de haber empleado en las investigaciones varios supercomputadores y decenas de investigadores de reconocido prestigio y talento.

La otra tendencia que deseo subrayar es la de las futuras crisis energéticas por la escasez de combustible, de hecho crisis en todo análogas a las padecidas en el pasado por otras civilizaciones, la griega y la romana en particular, como hemos visto. Algunos economistas ingleses que como tales participaban del optimismo de la economía clásica en cuanto al feliz futuro que aguardaba a la humanidad gracias al imparable crecimiento económico, trabajaban además en la administración de empresas mineras. Como gestores empresariales pronto pudieron comprobar que el coste de extracción del carbón aumentaba conforme las vetas más accesibles eran agotadas; también como las reservas conocidas en un tiempo dado crecían más despacio que la demanda. En tanto gestores empresariales anunciaron una futura crisis energética si es que no se encontraba una fuente alternativa de energía. Resulta sorprendente constatar cómo estos hechos incontestables no influyeron en lo más mínimo en las teorías económicas inglesas que siguieron confiando en que un crecimiento económico ilimitado aseguraría la vida y la felicidad de toda la humanidad; se trata aquí de una verdadera esquizofrenia personal pues los mismos autores que teorizaron acerca de la futura escasez de carbón, escribieron tratados de economía política en los que los recursos naturales eran considerados como una fuente inagotable de materiales y de energía¹⁰.

Paralelamente a la economía política, surgía también una *economía física* derivada del sentido común y de las leyes de la termodinámica. Por su interés merece la pena reproducir algunos pasajes de uno de los padres de la termodinámica, Rudolf Clausius, escritos en 1885:

“Debido a la conversión de carbón en energía mecánica vivimos un tiempo maravilloso [...] pero en general, en las relaciones económicas, vale el principio de que cada cosa puede usarse sólo lo que en el mismo tiempo pueda ser de nuevo producido. Por tanto, se debería usar como material combustible sólo la cantidad que es producida de nuevo a través del crecimiento de los árboles. Pero en verdad nos comportamos de manera muy distinta.

¹⁰ Un tema, merecedor de estudio aparte, es la influencia que las técnicas de energía solar preindustrial tuvieron en el éxito de la Revolución Industrial: ¿hubiéramos asistido al nacimiento de la máquina de vapor sin el desarrollo y progreso de fuentes de energía previas como las norias, los molinos de viento, etc? A fin de cuentas, el contexto técnico preindustrial es impensable sin la proliferación de fuentes energéticas que son solares indirectamente, y sin este contexto el nacimiento de la Revolución Industrial resulta difícil de imaginar: no parece que la máquina de vapor pudiera surgir en una sociedad campesina o recolectora...

Hemos hallado que hay bajo la tierra reservas de carbón de tiempos antiguos que se han formado de plantas en la superficie de la tierra y depositado durante un período tan largo que los tiempos históricos, en comparación, parecen minúsculos. Las gastamos ahora y nos comportamos exactamente como herederos felices que consumen un rico patrimonio. Se saca de la tierra todo lo que permite la fuerza humana y los medios técnicos, y se usa como si fuera inagotable. Los trenes, los barcos de vapor y las fábricas con máquinas de vapor usan una cantidad de carbón tan sorprendente que, mirando al futuro, no es algo caprichoso preguntarse qué ocurrirá cuando los yacimientos de carbón queden agotados.

Cuando se habla de tales eventualidades, se escucha a veces la objeción de que cuando se agoten los yacimientos de carbón de piedra se habrá encontrado desde hace tiempo nuevos medios de producir calor, de manera que no hace falta preocuparse. Si se pregunta sin embargo, cuáles deben ser estos descubrimientos, aparecen puntos de vista como que tal vez se tendrá éxito en separar el agua en sus partes constituyentes [...] sin gasto de energía, y con eso podría abrirse una fuente inagotable de calor mediante la combustión del hidrógeno. Estos puntos de vista contradicen, no obstante, de manera total, los principios básicos de la física. No se trata aquí en absoluto de sopesar probabilidades, sino de que puede distinguirse con total certidumbre lo posible de lo imposible. Cualquier obtención de energía sin un gasto correspondiente de energía es absolutamente imposible.”

La ruptura epistemológica de la economía política y su invasión de la cultura industrial, incluso a pesar de las serias advertencias de la ciencia corriente, merece un análisis detallado que no cabe en estas líneas ([Naredo, 1987]).

Los primeros motores solares

Aunque los franceses se sentían seguros de la situación energética de la nación, no todos participaban de esta complacencia. En 1860 Augustin Mouchot, profesor de matemáticas del Liceo de Tours, escribió:

“Resulta inevitable llegar a la conclusión de que lo prudente y sabio sería no dormirse en lo referente a esta seguridad. La industria terminará por no encontrar en Europa los recursos

con que satisfacer esta prodigiosa expansión... Indudablemente, el carbón se agotará ¿Qué hará entonces la industria?"

La respuesta de Mouchot era sencilla: "¡Cosecha los rayos del sol!". Para demostrarlo se embarcó en dos décadas de investigación pionera. Aunque para sus contemporáneos la idea sería novedosa, Mouchot comenzó su estudio por buscar antecedentes históricos. Sus conclusiones son en todo coincidentes con lo que hemos visto hasta aquí y pueden resumirse en el siguiente párrafo:

"Pese al silencio de los escritos modernos, no debe creerse que la idea de utilizar el calor solar para las operaciones mecánicas es reciente. Por el contrario, hemos de reconocer que esta idea goza de gran antigüedad y que en su lento desarrollo a lo largo de los siglos ha dado lugar a varios ingenios curiosos."

Mouchot descubrió la labor de Herón de Alejandría y de la escuela que hemos denominado mecánicos griegos. Se lamentó de que no hubieran sido adaptados a la práctica. Debe notarse aquí como el concepto de máquina de la revolución industrial es opuesto al concepto griego. Si como vimos, la máquina griega era una multiplicadora de la potencia animal o humana (siendo los seres humanos o sus animales domésticos el motor de la misma, lo que los griegos denominaron Potencia, capaz de vencer gracias a la máquina resistencias muy superiores), por el contrario, para la revolución industrial, la máquina era el motor, es decir, un artefacto capaz de generar energía mecánica útil a base de consumir energía externa en forma de combustible. Y siendo Mouchot un auténtico hijo de la revolución industrial, no se contentaba con ver a la energía solar empleada en artilugios lúdicos.

De este modo, su primer objetivo fue construir un captador de energía que sustituyendo la fuente de energía habitual en su época, el carbón, pudiera mover una máquina de vapor convencional. Su primera caja caliente parecía prometedora porque podía generar temperaturas lo bastante elevadas como para producir vapor de agua. Sin embargo, las primeras experiencias prácticas fueron desalentadoras, pues Mouchot se dio cuenta de que una caja caliente lo suficientemente grande como para mover una máquina industrial de tamaño medio ocuparía mucho espacio y, en su opinión, sería demasiado cara.

El programa experimental de Mouchot fue poco a poco empleando técnicas solares que tal y como hemos visto se fueron desarrollando en el pasado: su primer horno, compuesto de un cilindro negro de cobre cubierto por una camisa de vidrio, absorbía la radiación solar que un espejo reflejaba sobre él. Con escasas modificaciones Mouchot transformó el horno solar en alambique capaz de convertir el vino en brandy o coñac. Con un diseño similar construyó una caldera. Cuando el aire se calentaba en su interior, se expandía ejerciendo una fuerte presión sobre el agua del tanque situado abajo.

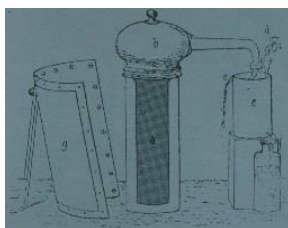


Ilustración 8 Alambique solar de Mouchot.

Estos éxitos no lograban su objetivo principal: mover una máquina de vapor. La principal dificultad residía en que el elevado volumen de agua tardaba mucho tiempo en hervir y la producción de vapor era demasiado lenta como para impulsar un motor industrial. Mouchot sustituyó la caldera por un tubo de cobre de una pulgada de diámetro, de manera que el menor volumen de agua allí contenido se calentase mucho más rápidamente. Para almacenar el vapor, Mouchot soldó un depósito metálico al extremo superior del tubo. El reflector solar consistía en un espejo parabólico acanalado orientado al sur que giraba para beneficiarse de la máxima exposición solar. El éxito del artefacto permitió a Mouchot contar con el apoyo del gobierno francés. Sus investigaciones fueron interrumpidas por la guerra francoprusiana de 1870 en las que perdió la gran mayoría de sus máquinas.

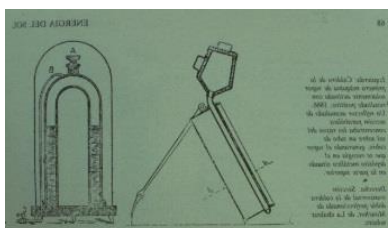


Ilustración 9 Primera máquina solar de Mouchot, 1866.

Pero después de la guerra y con el apoyo del gobierno regional de Endre-et-Loire (distrito vinícola donde vivía y en el que las autoridades se vieron inmediatamente interesadas por

su alambique) consiguió por fin un primer diseño con la potencia suficiente como para resultar de utilidad. El reflector parabólico fue sustituido por un reflector cónico, de manera que toda la superficie de la caldera recibía y absorbía radiación solar aumentando notablemente el rendimiento. La máquina podía generar el suficiente vapor como para mover un motor de medio caballo a razón de 80 impulsos por minuto. Cuando Mouchot realizó su demostración la reacción de asombro más elocuente se resume bien en la siguiente aclamación "*¡Un motor que funciona sin combustible!*".

El éxito de la máquina de la ciudad de Tours reforzó la fe de Mouchot en la energía solar, haciéndole también consciente de las limitaciones a su aplicación práctica en un país como Francia. En primer lugar, se daba cuenta de que las máquinas solares ocuparían demasiado espacio en nuestras ciudades y, por consiguiente, no podrían emplearse ventajosamente. De hecho, el motor de Tours ocupaba una extensión de 6 por 6 metros y tan sólo producía medio caballo de potencia. Se necesitarían doscientas de tales máquinas para impulsar un motor industrial normal de cien caballos. Para disponer 200 máquinas solares (en cuatro filas y con la separación mutua que evitara se arrojasen sombra una a otra), serían precisos 9.300 metros cuadrados, es decir, un cuadrado de unos cien metros de lado. Mouchot se encontró así con una manifestación clara de los límites que el carácter finito del planeta y de la energía solar que recibe impone inexorablemente a la vida, y a la vida humana en particular.

Buscando ir más allá de estas limitaciones Mouchot viajó a África, a Argelia, donde sus máquinas gozarían de mayor intensidad de radiación y, por tanto, podrían producir mayor potencia con un mismo tamaño. Construyó alambiques (útiles para la destilación, pero también para potabilizar agua dulce o salada), bombas de riego que resultaban extremadamente útiles en la extensión de la superficie de regadío; diseñó también un horno portátil para las tropas francesas en África.

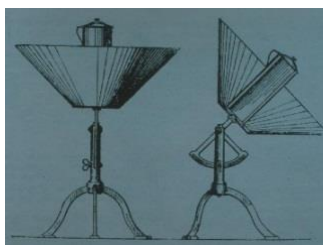


Ilustración 10 Cocina solar portátil del ejército francés debido a Mouchot.

Tras un año de ensayos, Mouchot presentó sus conclusiones a las autoridades argelinas. Estas quedaron tan impresionadas que le concedieron 5.000 francos para la construcción del "mayor espejo jamás realizado en el mundo" con destino a la gigantesca máquina solar que representaría a Argelia en la Exposición Universal de París de 1878; posteriormente sería embarcada a África y utilizada comercialmente. La máquina resultante fue capaz de bombear 2.000 litros de agua por hora, destiló alcohol y cocinó comida. Pero la demostración más espectacular tuvo lugar el 22 de septiembre, tal y como el propio Mouchot nos refiere:

"...bajo un Sol ligeramente velado pero luciendo continuamente, fui capaz de elevar la presión en la caldera a 6,2 atmósferas... y, pese a la aparente paradoja, utilizar los rayos del Sol para hacer hielo."

En efecto, había conectado el motor solar al ingenio refrigerador accionado con calor que Ferdinand Carré inventara en los años 1850, y que dio origen a nuestro modernos frigoríficos.

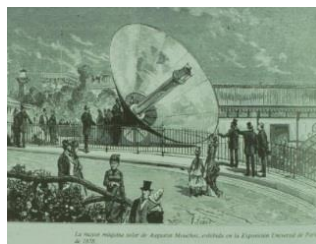


Ilustración 11 Máquina solar de Mouchot, 1878.

Tras su vuelta a Argelia, Mouchot dedicó atención primordial a la resolución de un difícil problema: ¿cómo almacenar el calor del sol, de manera que las máquinas solares pudiesen operar también en tiempo nublado, o durante la noche? La alternativa más evidente era calentar cuerpos con gran capacidad de absorción (y resistencia a las elevadas temperaturas) y guardarlos en depósitos aislados para aprovechar su calor posteriormente. Sin embargo, Mouchot descubrió una alternativa mejor. Utilizaría la energía solar para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno, almacenando luego ambos gases en cilindros separados. Cuando se produjese la demanda de calor sólo habría que recombinar ambos elementos y la reacción química desencadenada generaría todo el calor necesario. Además, los gases podrían utilizarse también separadamente: el hidrógeno como combustible y el oxígeno para fines industriales.

En 1880 Mouchot volvió a sus estudios matemáticos. Su asistente, Abel Pifre, continuó ocupándose de la investigación solar. En el Jardín de las Tullerías de París, en 1880, Pifre exhibió un generador solar que accionaba una prensa capaz de imprimir los 500 ejemplares del *Journal du Soleil*.



Ilustración 12 Imprenta solar de Abel Pifre.

Pero en Francia no corrían buenos tiempos para la energía solar. El mejoramiento de las técnicas mineras y del sistema ferroviario (la mayor parte del carbón francés se encuentra cerca de sus fronteras) incrementaría la producción de carbón, reduciendo los precios del combustible. En 1881 el gobierno dirigió una última mirada final a las posibilidades de la energía solar para uso comercial. El informe final, realizando un balance monetario, concluyó que la inversión inicial era demasiado costosa como para que tales técnicas pudieran ser preferibles a las más convencionales basadas en carbón o gas.

De este modo Mouchot no logró introducir a Francia en la Edad del Sol. Pero sus esfuerzos innovadores traspasaron el umbral entre la experimentación científica y el desarrollo práctico de una tecnología revolucionaria. Demostró igualmente la gran diversidad de modos en que el Sol podía utilizarse para beneficio de la humanidad y sentó las bases para un posible futuro de desarrollo solar.

Motores solares para la Revolución Industrial

Tras los trabajos de Mouchot, la construcción de motores solares tuvo muchos otros episodios. Esta insistencia es totalmente acorde con el programa fundamental de la Revolución Industrial que ya he señalado, a saber, la construcción de motores alimentados con la energía de combustibles. De hecho, en general, los distintos investigadores en motores solares comenzaron sus trabajos acuciados por el temor a una futura escasez de carbón en su país respectivo.

En un artículo redactado en 1868, John Ericsson, ingeniero sueco emigrado a los EEUU, mantenía que únicamente el desarrollo de la energía solar evitaría una crisis energética generalizada, y señalaba un ejemplo del siglo anterior: la evaporación del agua del mar para producir sal, que, lograda más por calor solar que con ayuda de carbón, ahorró unos 100 millones de toneladas de combustible. El primer motor de Ericsson guardaba un gran parecido con los últimos modelos de Mouchot. Poco a poco los diseños de Ericsson se fueron apartando en algunos detalles, como la eliminación del vidrio en el tubo de la caldera, el uso de aire caliente en vez de vapor para mover el pistón del motor, el uso habitual de vidrio en los reflectores. Muy celoso de su propiedad intelectual, Ericsson murió repentinamente en 1888, sin haber llegado a ningún modelo de utilidad práctica y llevándose con él a la tumba muchos de sus secretos, de los que sólo tenemos conocimientos a través de los sucesivos anuncios que hizo de sus progresos.

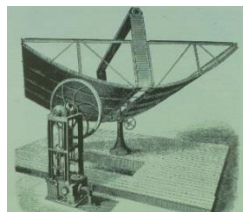


Ilustración 13 *Motor solar de Ericsson.*

La huelga del carbón en el invierno de 1902 en los EEUU, hizo real (aunque sólo fuera artificial y temporalmente) los negros augurios de una crisis de la energía, anunciada por diversos ingenieros y científicos, anuncio que en todo caso no había trascendido al gran público norteamericano. Debido a ello, los estudios de prospectiva auspiciados por instituciones científicas, tales como la *Smithsonian Institution* se multiplicaron. Así, por ejemplo, Robert Thurston, ingeniero de renombre, repasó por encargo los pro y los contra de las energías de las mareas, los vientos y el Sol como sustitutivas del carbón. Resulta notable que a pesar del hecho de que granjeros y rancheros americanos poseían pequeños molinos de viento con que bombear agua a sus casas o abrevaderos, este ingeniero considero inadecuada la energía eólica, basando su argumento en que sería inadecuada para la explotación latifundista de grandes extensiones de terreno. A pesar de este género de prejuicios, basados más en una muy particular visión de la organización social deseable, que en sólidos argumentos científicos, Thurston tuvo que admitir que la energía solar despertaba gran atención en la comunidad científica y técnica. Y lo cierto es que a principios

de siglo abundaban en el panorama numerosos inventores y empresarios solares, habiéndose registrado al menos 22 patentes de motores solares.

Entre todos ellos resultan espectaculares los motores diseñados, construidos y comercializados por Aubrey Eneas, inventor e ingeniero inglés residente en Massachusetts, fundador de la Solar Motor Company of Boston. El objetivo principal de la empresa era la venta de equipos de bombeo al sudoeste de los EEUU, donde los combustibles convencionales como la madera y el carbón eran escasos y caros. Esa parte del país parecía además ideal para la energía solar, pues en ella el Sol brillaba el 75 por ciento de los días del año.

Tras algunos diseños preliminares, Eneas pronto recayó en el diseño básico de Mouchot: el reflector cónico con la caldera en el eje. Pero incluyó una mejora significativa: en vez del cono completo el reflector era un tronco de cono. La razón es la siguiente, en la boca del cono un anillo del reflector de considerable superficie concentra la radiación alrededor de un único punto del eje; por el contrario, en el fondo del reflector, en el vértice del cono, un área diminuta del reflector concentra apenas energía sobre un área igual del eje. Como resultado desafortunado, la caldera situada en el eje recibe mucha radiación en la parte superior, mientras apenas recibe calor en la inferior, lo que disminuye la eficiencia del conjunto. En el tronco de cono adoptado por Eneas, existe un efecto similar, pero como la base inferior es todavía una circunferencia con un diámetro apreciable, la diferencia de energía recibida por el extremo superior e inferior de la caldera no es tan acusada y el rendimiento mejora notablemente. Según los propios cálculos de Eneas, la producción máxima de vapor se obtenía cuando el diámetro menor del reflector era al menos ocho veces mayor que el diámetro de la caldera, mientras que el diámetro mayor debería ser al menos de 9,6 metros (casi dos veces y media el diámetro del reflector de Mouchot).

Para 1899, Eneas había construido un conjunto completo con un diámetro de 10 metros en la boca del reflector, que estaba formado por más de 1.800 pequeños espejos de vidrio plateado. Distintos mecanismos y artefactos de relojería permitían orientar el espejo hacia el Sol a lo largo del día y de las estaciones, sin excesivo esfuerzo. El conjunto pesaba más de 4 toneladas.

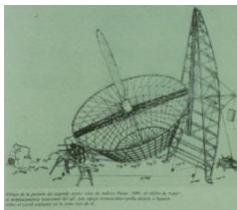


Ilustración 14 Segundo motor solar de Eneas, 1899

En 1901, el motor quedó instalado en la primera granja de avestruces de los EEUU, en Pasadena, después de haber viajado desde Nueva Inglaterra hasta Denver (donde se hicieron los primeros ensayos), antes de alcanzar su destino final. Las avestruces eran visitadas por el público, que pudieron contemplar también (por el mismo precio) el motor solar de Eneas en acción. En esencia (según las crónicas de la época) el motor solar accionaba una bomba capaz de irrigar 120 hectáreas de cítricos extrayendo 6.400 litros de agua por minuto de un depósito situado a 5 metros de profundidad (es decir, una potencia de unos 5 kW). En los periódicos de la época puede leerse esta vívida crónica:

“..Primero se ve al rocío de la mañana ascender lentamente en un halo de vapor desde la gigantesca boca. Luego, los brillantes cristales resplandecen al Sol de la mañana y las ondas de calor empiezan a penetrar en el círculo, siendo la larga y negra caldera la que produce mayor impresión, pues al aumentar de intensidad los rayos reflejados, comienza a relucir de tal manera que en cualquier fotografía aparece casi como de calor blanco puro. Antes de cumplirse una hora de la vuelta de manivela y el enfoque, surge un chorro de vapor de la válvula de escape. El ingeniero mueve el estrangulador, se produce una sucesión de silbidos de la caldera, un "clank-clanketyt-clank" y el Sol comienza a extraer agua de un modo que pocos soñaron hace algunos meses.”



Ilustración 15 Instalación en Pasadena

Hasta 1904 Solar Motor Company vendió e instaló cinco motores solares. El último en la granja de John May consiguió bombear 6.700 litros de agua por minuto, pero

desafortunadamente los espejos del reflector fueron destruidos por una tormenta de granizo. Otro de los modelos instalados con anterioridad fue destruido por un vendaval. Competidores sin escrúpulos en el negocio solar contribuyeron a ensuciar la reputación de Eneas. Con todo, el principal obstáculo a la comercialización de los motores solares era su costo: de dos a cinco veces el costo de una planta de vapor convencional. Aun cuando tras el desembolso inicial no existieran gastos de combustible, el elevado precio inicial desalentaba a los compradores. En los años siguientes el panorama comercial de las máquinas solares de Eneas se oscurecía. Tal y como el mismo dijo "mi experiencia con grandes reflectores me ha convencido de que incluso cuando se consigue la mayor eficacia, el costo de construcción, incluso a gran escala, es demasiado alto como para permitir su utilización comercial, excepto en unos pocos casos"



Ilustración 16 El motor solar en la granja de John May.

Motores solares de baja temperatura

Los motores solares desarrollados tanto por Mouchot como por Ericsson y Eneas estaban basados en el empleo de reflectores para concentrar los rayos del sol. En sus afanosos esfuerzos por construir un motor comercialmente viable, estos pioneros asumieron la necesidad de alguna forma de concentración de la energía solar para lograr las elevadas temperaturas de vapor que creían necesarias. Como el conocimiento convencional rezaba que cuantas más altas son las temperaturas de vapor con mayor eficacia funcionarían las máquinas, buscaron producir temperaturas superiores a los 500 grados centígrados. En realidad estaban tan fascinados por los aparentes logros de la Revolución Industrial que deseaban poder sustituir el horno de leña o carbón debajo de la caldera de vapor por sus reflectores solares, dejando inalterados el resto de los artefactos que con asombrosa rapidez iban apareciendo por los países industriales y sus colonias.

Desgraciadamente este énfasis puesto en las altas temperaturas condujo a una serie de inconvenientes fundamentales. Las elevadas temperaturas en el interior de un colector

originaban inevitablemente fuertes pérdidas de calor. De aquí que, aun cuando las altas temperaturas significaran mayor rendimiento del motor, la eficiencia de la captación solar decrecía sustancialmente (reduciendo la eficacia global de la conversión de energía solar en energía mecánica). Existían también otros inconvenientes. Los reflectores utilizados para obtener altas temperaturas debían ser grandes, complejos y costosos. Una vez instalados resultaban vulnerables a vientos fuertes y a las inclemencias del tiempo. Para empeorar la cuestión, debían mirar siempre al sol, lo que exigía un operario a tiempo completo o un delicado mecanismo capaz de mover automáticamente los reflectores. Y cuando no había soleamiento directo en días de bruma o nubosos, los colectores concentradores dejaban totalmente de funcionar.

En un motor diseñado para operar a baja temperatura todos estos problemas podrían disminuir hasta desaparecer, al permitir usar cajas calientes, simples y baratas, o incluso láminas de metal desnudo. Al no alcanzar temperaturas tan elevadas, estos colectores tampoco perderían tanto calor. Y lo que es más, la superficie colectora no estaría obligada a seguir el curso del sol. Tales dispositivos podían absorber incluso la luz solar difusa de los días brumosos o nublados. La superior eficacia de la captación solar y los menores costos de construcción podrían quizás compensar la pérdida de rendimiento del motor. Y así en las postrimerías del siglo diecinueve algunos inventores comenzaron a darse cuenta de tales ventajas, iniciando el desarrollo de los motores solares de baja temperatura.

Entre los ejemplos numerosos y notables que podrían citarse se encuentra la bomba solar del ingeniero francés Charles Tellier. Eligió como líquido para el vapor no el agua, con una temperatura de ebullición sensiblemente alta. En vez utilizó hidrato de amoníaco que hierve a 33 grados bajo cero o el dióxido de azufre que lo hace a 10 grados bajo cero.

Tellier había descubierto las aplicaciones de los líquidos de bajo punto de ebullición en el curso de sus investigaciones acerca de la congelación de alimentos, labor por la cual es más conocido.

En su bomba solar, el colector solar estaba construido con simples láminas de metal oscuro, entre medias de las cuales circulaba el líquido para ser evaporado. La chapa metálica inferior se aislaba a fin de reducir las pérdidas por conducción. La presión del amoníaco alcanzaba las 2,7 atmósferas y la bomba podía impulsar unos 1.300 litros de agua por hora. Estimó que en un clima con más horas solares que el francés se podrían alcanzar los 3.600

litros de agua por hora. A fin de aumentar el rendimiento, Tellier introdujo su colector en una caja caliente convencional, lo que permitió accionar un motor.



Ilustración 17 Instalación solar industrial de Tellier, 1880.

Dos ingenieros americanos, Willsie y Boyle, tomaron el relevo de Tellier. Basándose en los diseños del francés fueron poco a poco introduciendo mejoras. Desde el comienzo decidieron no dar publicidad a sus experimentos solares para no comprometer sus carreras: tras el fracaso final de Eneas y los fraudes de los charlatanes, la energía solar había adquirido mala fama en los EEUU. Tras una década de investigaciones decidieron trasladarse finalmente a Arizona donde la necesidad de energía barata era acuciante. Entre las modificaciones introducidas, cabe destacar el uso del agua en la caja caliente, que trasladaba su energía al dióxido de azufre mediante un intercambiador. El vapor de dióxido era finalmente el encargado de mover el motor. De este modo, los circuitos en la caja caliente no debían soportar grandes presiones, quedando estas limitadas al circuito, más pequeño que unía el motor con el intercambiador.

Una vez concluidas las pruebas fundaron la Willsie Sun Power Company en 1904. La empresa marchó bien hasta 1908; introduciendo mientras tanto mejoras adicionales, como la acumulación de calor en depósitos aislado conteniendo agua, lo que permitió a sus plantas funcionar 24 horas ininterrumpidas. En cuanto al balance económico resultaba de momento favorable a las plantas solares frente a las convencionales de carbón: aunque el coste de instalación de la planta era, en aquella época, de 164\$ por caballo de potencia, frente a los 40-90 de una planta convencional, el carbón era muy caro en Arizona, resultando el costo de explotación de una planta de carbón en 1,54 \$/kWh frente a los 0,45\$/kWh que suponía operar la planta solar. Como resultado, la planta solar podía amortizarse en menos de dos años (de hecho, tras menos de 10 días de funcionamiento continuo, el costo total de ambas plantas se iguala).

Sin embargo, un par de años después, la máquina productora de gas era introducida en el Sudoeste de los EEUU: quemaba carbón para producir gas artificial, y los motores que

consumían gas artificial eran de dos a cuatro veces más eficientes que los convencionales basados en la combustión. De esta manera, el motor solar perdió parte de su atractivo económico cuando el transporte del carbón bajo de precio. Debido a ello, la empresa dejó de operar, y nunca se averiguó a ciencia cierta que paso con Willsie y Boyler.

El primer motor solar práctico

Casi al mismo tiempo que Willsie y Boyler se ocupaban de su empresa, otro ingeniero autodidacta exploraba también el empleo de colectores de caja caliente para impulsar máquinas de baja temperatura. Frank Shuman residía en Filadelfia y como muchos de los ingenieros citados hasta ahora tenía una preocupación fundamental sobre el futuro:

"De una cosa estoy seguro y es de que la raza humana debe utilizar la energía solar o retornar a la barbarie".

Shuman después de revisar la obra de los que le habían precedido se inclinó por continuar con la misma línea de bajas temperaturas de Willsie y Boyle, salvo que utilizó éter como líquido colector en la caja caliente. Con un modelo pequeño para demostraciones y con un buen talento como propagandista, Shuman consiguió atraer un número suficiente de inversionistas como para crear la Sun Power Company. En sus investigaciones y diseños, Shuman se decidió a combatir la roca contra la que se habían estrellado los intentos anteriores: la alta inversión inicial necesaria. Fue consiguiendo mejoras que aumentarían el rendimiento de sus diseños a la vez que dejaban inalterados los costos y el tamaño, es decir, la superficie necesaria. Para una primera demostración práctica a escala real, la compañía escogió Egipto debido al abundante Sol y a la mano de obra barata. Sin embargo la planta habría de construirse primero en EEUU, probarla y luego desmontarla y volverla a montar en su emplazamiento definitivo.

La planta se alzó sobre 2.700 metros cuadrados cerca de la casa de Shuman en Tacony, Pennsylvania. Uno de los objetivos primordiales era incrementar la cantidad de calor recibida y capturada por los colectores. Para ello añadió a las cajas calientes sendos espejos laterales que reflejaban la luz sobre la caja caliente. Además, un mecanismo permitía ajustar la orientación de los colectores.

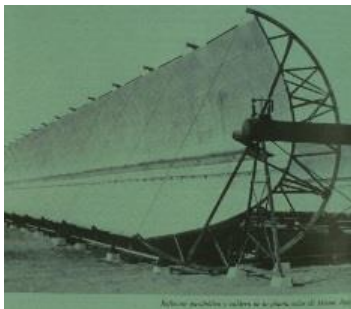


Ilustración 18 *Planta solar de Shuman en Tacony, 1911.*

Shuman también rediseñó el motor, pues había concluido que el anterior motor accionado por un fluido de bajo punto de ebullición no produciría suficiente potencia. Para no renunciar a la baja temperatura (óptima desde el punto de vista de la captación solar), inventó un motor especial que funcionaba con vapor a baja temperatura y baja presión. Al igual que el agua hierve en las montañas a temperatura menor que al nivel del mar (porque en altitudes superiores la presión del aire es menor), este motor era capaz de evaporar agua caliente a temperatura menor de 100 grados. Cada hilera de cajas calientes era recorrida por un tubo a través del cual el agua fría se convertía en vapor.

Este motor generaba más potencia que cualquier otra máquina solar construida anteriormente. Conectado a una bomba, el dispositivo solar podía elevar 12.000 litros de agua por minuto a una altura de 10 metros (una potencia de unos 20 kW). Casi el 30 por ciento de la energía solar incidente sobre los colectores era transformada en calor útil, produciendo una potencia máxima de 30 caballos de vapor y una media de 14 en un día de sol normal.

Antes de la expedición a Egipto la compañía solicitó informes a científicos independientes. Estos aconsejaron que los reflectores rodearan al colector, pues de otro modo la parte inferior de la caja caliente perdía calor. Para lograrlo bastaba con sustituir cada hilera de colectores concentradores por un único reflector de sección parabólica, en cuyo foco se suspendiera una larga caldera recubierta de vidrio. De este modo, la baja temperatura y el reflector parabólico de la máquina de Ericsson se sintetizaron en este nuevo modelo.

Ya en Egipto, en Maadi, el modelo fue construido según el diseño modificado. Se construyeron cinco reflectores solares, cada uno de 60 metros de largo por 4 de ancho y separados 8 metros entre sí. Además la planta de Maadi podía funcionar las 24 horas del

día. El excedente de agua calentada se guardaba en un gran depósito aislado, similar al utilizado por Wisley y Boyle, para su uso durante la noche o en días cubiertos y lluviosos. El motor podía así impulsar una bomba convencional ininterrumpidamente en todo tiempo, aumentando todavía más la eficiencia de la planta.

En la inauguración, en julio de 1913, el ingenio alcanzó los 55 caballos de potencia y la bomba elevó 27.000 litros de agua por minuto. El dispositivo de absorción captó el 40 por ciento de la energía solar disponible, un resultado muy superior al obtenido por la planta de Tacony.

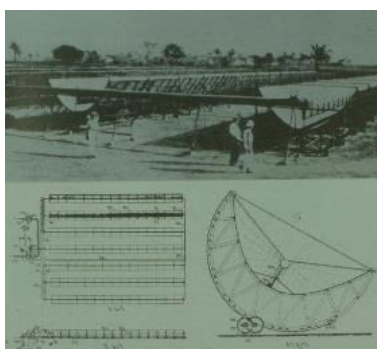


Ilustración 19 *Planta solar de Maadi (Egipto), 1912.*

Tras dedicar siete años de trabajo a la energía solar, le parecía a Shuman que sus viejas predicciones optimistas comenzaban a tomar cuerpo. En febrero de 1914 escribió:

“...La energía solar es ya un hecho, habiendo dejado de encontrarse en la fase de bella posibilidad; tendrá una historia algo parecida a la de la navegación aérea. Hace solo doce años no era más que una simple posibilidad y ningún hombre práctico la consideraba seriamente. Los hermanos Wright hicieron su vuelo de verdad y, desde entonces, los progresos fueron más rápidos. Hemos demostrado fehacientemente la capacidad de la energía solar, y también esperamos rápidos adelantos.”

Muchos eran quienes estaban de acuerdo, apoyando sin reserva la energía solar. Entre ellos, anteriores escépticos, como el equipo de *Scientific American*, que elogiaba ahora el motor de Shuman como absolutamente práctico en todos sus aspectos.

Las potencias coloniales europeas mostraron igualmente su interés, imaginándose los enormes beneficios económicos derivados de la utilización de la energía solar en su África

subdesarrollada. Ante tan entusiastas demostraciones de apoyo, Shuman amplió el ámbito de sus planes. Esperaba construir 52.600 kilómetros cuadrados de reflectores en el Sahara, dando al mundo "a perpetuidad los 270 millones de caballos necesarios para igualar todo el combustible extraído en 1909".

Pero su gran sueño se desintegró con el comienzo de la Primera Guerra Mundial. Los ingenieros de la planta de Maadi dejan África para ocuparse de trabajos de guerra en sus respectivos países, como el propio Shuman retornado a los EEUU, donde moriría antes de concluir la guerra.

Todavía más, tras el término de la guerra, las promesas hechas a la Sun Power Company carecían de valor. Además las potencias europeas empezaban a interesarse por el uso de una nueva forma de energía en sustitución del carbón: el petróleo. Para 1919, los ingleses habían invertido más de 20 millones de dólares en la Anglo-Persian Oil Company. Poco tiempo después se producían nuevos descubrimientos de petróleo y gas en numerosas partes del mundo (California, Iraq, Venezuela e Irán) Casi todos eran lugares soleados donde resultaba difícil obtener carbón; áreas pensadas por Shuman, y asimismo por Mouchot y Ericsson como principales emplazamientos de las plantas solares. Con el petróleo y el gas vendiéndose a precios casi regalados, los científicos, administradores y hombres de negocios volvieron a sentirse confiados con la situación energética, y las perspectivas para la energía solar empeoraron rápidamente.

Una conjetura sobre la Revolución Industrial

La incompatibilidad, al menos histórica, entre la Revolución Industrial y el motor solar pone sobre la mesa numerosas preguntas de las que sería en extremo útil conocer respuestas. Esa incompatibilidad, como hemos visto, no se debe a falta de soluciones técnicas factibles: los motores solares pueden funcionar. Quizá se deba a los límites de éstos: la potencia irradiada por el sol está limitada y, por supuesto, es imposible capturarla toda (imposibilidad termodinámica de eficiencia perfecta), mucho menos capturar **más**. Esto sugiere una conjetura cuya exploración bien pudiera merecer la pena: quizás la Revolución Industrial (y la cultura técnica y científica nacidas con ella) esté indisolublemente unida a la esperanza de un crecimiento indefinido de nuestro poder, en particular, de nuestro poder energético,

de la potencia que podemos hacer trabajar a nuestro antojo. Si así fuera, quedaría palmariamente explicada la imposibilidad *cultural* (no técnica) de hacer encajar el motor solar en la urdimbre industrial contemporánea, pues el motor solar (como otras técnicas solares ya sea menos espectaculares, como el uso vernáculo de la energía hidráulica y eólica, ya más, como la fotosíntesis) se limita a la transformación de la potencia energética disponible y ésta está limitada de forma insuperable por las características del Sol que nos regala la vida. Este límite opera como otros límites de la física (la velocidad de la luz por ejemplo): podemos desear sobrepasarlo e, incluso, empeñarnos en alcanzar nuestro deseo, pero no lo conseguiremos.

Agua caliente solar

Con Revolución Industrial o sin ella, con necesidad o no de alimentar motores de gran potencia para uso de las industrias capitalistas, el alojamiento humano demanda de forma necesaria cantidades de energía (para agua caliente y calefacción) que si bien son modestas en comparación, pueden suponer una carga económica importante para las familias humildes o en lugares donde la disponibilidad de combustible es escasa.

Afortunadamente, se descubriría un modo seguro, fácil y barato de calentar agua: el depósito metálico de agua pintado de negro y simplemente colocado donde daba más el Sol y menos la sombra. Tales fueron los primeros calentadores solares de agua de que se guarda memoria en EEUU, ¡y funcionaban! Según uno de sus primeros usuarios, a veces "el agua se calentaba tanto que resultaba necesario añadir fría para poder tomar un baño".

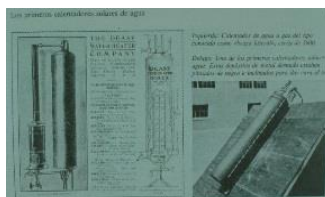


Ilustración 20 Calentadores de agua en 1890.

El problema con estos calentadores solares no era su capacidad de producir agua caliente, sino el cuándo y durante cuánto tiempo. Estos inconvenientes de los métodos populares de calefacción solar llamaron la atención de los inventores a finales del siglo XIX, ya familiarizados con las propiedades de las cajas calientes. En EEUU, en varias épocas y lugares, florecieron empresas rentables dedicadas a la instalación de aparatos solares

domésticos. La patente Climax, por ejemplo, de 1891, mezclaba la vieja práctica de la exposición de depósitos metálicos desnudos al Sol con el principio científico de la caja caliente, incrementando, así, la capacidad del depósito para captar y retener el calor solar.

El Climax, que nació en Baltimore, se extendió naturalmente a las zonas del país más soleadas, como California. Allí, el soleamiento casi constante significaba agua caliente gratis durante prácticamente todo el año. Además California importaba carbón a precios elevados de manera que la ventaja económica era más significativa aún si cabe. Para 1900 se habían realizado 1.600 instalaciones solamente en la California meridional. Las declaraciones de los usuarios, que pueden rastrearse en las crónicas de los periódicos locales de la época eran siempre elogiosas, dejando testimonio de que incluso en días

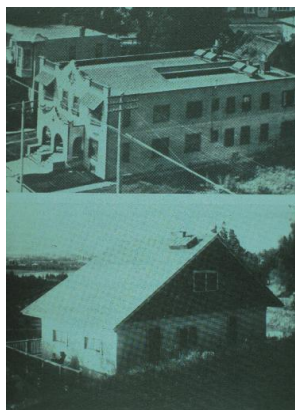


Ilustración 21 Casas solares americanas hacia 1900.

Entre 1900 y 1911 más de una docena de inventores registraron patentes para mejorar el Climax. Aunque sólo algunas de ellas llegaron a fructificar en un aparato eficiente, práctico y económico. En 1905 los derechos de fabricación y venta del Climax en California fueron adquiridos por una filial de la Solar Motor Company (la firma fundada por Aubrey Eneas). La compañía introdujo una modificación sustancial en el diseño de los depósitos de agua del Climax: como la relativamente profunda masa de agua contenida en los cuatro depósitos cilíndricos tardaba muchas horas en calentarse, se decidió sustituirlos por un gran tanque rectangular de escasa profundidad. El volumen total de agua quedaba inalterado pero, al haber menor cantidad de la misma por metro cuadrado, el calor del Sol penetraba con más celeridad y se tardaba mucho menos en disponer de agua caliente. Al igual que el modelo original, se conectaba generalmente a un sistema convencional de calentamiento de agua

que entraba en acción durante el mal tiempo. Este nuevo modelo se denominó Climax Perfeccionado.

Un problema evidente quedaba por solucionar: tener agua caliente durante la noche y a primera hora de la mañana. Pero en el verano de 1909, en una pequeña tienda al aire libre del suburbio de Monrovia de Los Ángeles, un ingeniero llamado William J. Bailey comenzó a vender un calentador solar de agua que revolucionaría la industria. No sólo suministraba agua calentada solarmente mientras lucía el Sol, sino asimismo durante horas después de haber anochecido y también a la mañana siguiente; para más señas el modelo se denominó Día Y Noche.

Antes de instalarse en el oeste en busca de una cura para su tuberculosis, Bailey había trabajado con la Carnegie Steel en Pennsylvania. Pronto descubrió que su médico, el doctor Remington, experimentaba con calentadores solares de agua. Para templar el agua con mayor rapidez y conservar el calor durante más tiempo, Remington separaba el calentador solar en dos partes o unidades: un colector de calor solar y un depósito de acumulación de agua. El colector consistía en un serpentín colocado en el interior de un cajón con tapa de vidrio suspendido sobre el muro sur de la casa. El reducido volumen de agua contenido dentro del serpentín se calentaba rápidamente. Y, en lugar de permanecer al exterior (donde se hubiera enfriado en seguida por la noche o durante el mal tiempo) el agua caliente corría por una tubería hasta un depósito convencional situado en la cocina.

Bailey adoptó la idea de Remington del colector y el depósito separados. Para mejorar la retención del calor aisló el depósito mediante polvo de piedra caliza, que le separaba de una caja de madera que le contenía.

El serpentín del colector era de cobre y descansaba sobre una lámina metálica negra. La caja del colector estaba aislada con fieltro.

Ni siquiera se necesitaba bomba para impulsar el agua entre el colector y el depósito acumulador. El Día Y Noche operaba según el principio del termosifón (el agua caliente es más ligera que la fría y tiende a elevarse por sí sola). El depósito acumulador se situaba por encima del colector, con lo que el agua fría en su parte baja descendía por gravedad a través de un tubo hasta la entrada del colector. El flujo cíclico continuaba en tanto el agua del colector estuviera más caliente que la contenida en la base del depósito.

Para garantizar suficiente agua caliente en épocas de mal tiempo o períodos de mucho uso, Bailey recomendaba a los clientes añadir un calentador auxiliar. El Día Y Noche podía conectarse a una cocina de leña, un calentador a gas o un horno de carbón. El éxito del modelo fue tal que (a pesar de que el Climax Perfeccionado era notablemente más barato) las ventas de la compañía la permitieron convertirse en sociedad anónima en 1911, sólo dos años después de que Bailey abriera su tiendecita.

La popularidad, uso y experiencia de la técnica multiplicó las empresas y los particulares que la comercializaron y la emplearon. Para 1935, revistas como la *Popular Mechanics* publicaban instrucciones detalladas para que cada cual pudiera construir por sí mismo su colector solar, después de que tras años de experiencia los problemas menores y de detalle hubieran quedado resueltos a satisfacción. Resulta notable que la ecuación fundamental del colector solar plano, es decir, la visión científica del asunto no fuera establecida hasta 1943 por Hottel y Woertz en un famoso artículo citado innumerables veces desde entonces¹¹.

Sin embargo, como ya ocurrió con los motores solares de la Solar Power Company, un competidor imprevisto vino a acabar con una industria floreciente cuyo récord de ventas tuvo lugar en 1920. En efecto, entre 1920 y 1930 se descubrieron grandes bolsas de gas natural en la depresión de Los Ángeles. La producción de gas se disparó y los precios del combustible cayeron vertiginosamente. Para 1927, el consumidor podía obtener gas natural a casi la cuarta parte del precio que pagaba por el gas artificial en 1900. Además la distribución por red hizo llegar el gas a todo el mundo. Los fabricantes de calentadores de gas crearon incentivos económicos subsidiados por las compañías extractoras. Además de las facilidades ofrecían precios rebajados e instalación gratuita. A pesar de la crisis y la competencia desleal, el Día Y Noche demostró su vigor y fiabilidad técnica vendiéndose en California, aunque a un nivel muy limitado: 7.000 calentadores antes de interrumpir su fabricación al inicio de la Segunda Guerra Mundial. La última serie fue fabricada en 1941.

El esquema histórico del agua caliente solar en California es muy simple: una nueva técnica eficaz como el colector solar gana el favor del público, la fabricación industrial y la experiencia práctica resultante ayudan a mejorar la técnica, lo que aumenta aún más la eficacia técnica y comercial, en un ciclo de realimentación positiva. Pero, finalmente, la

¹¹ "The Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors", *American Society of Mechanical Engineers Transactions*, febrero de 1943, pp. 91-104.

aparición de una nueva fuente de energía con la sola y única ventaja de un reducido y subvencionado costo económico, destruye la base económica de la técnica que acaba desapareciendo, sin que ninguna dificultad técnica importante contribuya a ello.

Este esquema histórico se ha repetido en otros tiempos y lugares. Por ejemplo en Florida, donde las patentes californianas como la del Día Y Noche fueron adquiridas por constructores o industriales de diverso signo. Miami experimentó su primera gran expansión con la conclusión de la autopista entre New York y Florida. La población de Miami, por ejemplo, pasó de 25.000 personas en 1920 a más de 75.000 en 1925. A diferencia de California, en Miami el gas natural resultaba caro debido al coste del transporte entre la costa este y la oeste. Así las compañías de energía solar experimentaron un crecimiento espectacular de sus ventas. De hecho, tales industrias superaron incluso la depresión económica de 1926, que antecedió en Florida a la Gran Depresión de la economía industrial.

Las patentes sufrieron algunas modificaciones como respuesta necesaria a la adaptación a unas nuevas condiciones climáticas. Baste citar por ejemplo el problema de la fuerte humedad del clima de Florida. Las cajas de madera de los colectores y los forros en el mismo material de los depósitos acumuladores se deterioraban rápidamente a menos de pintarse con frecuencia. Pronto se diseñaron colectores enteramente de metal, generalmente acero galvanizado. Las grandes series fabricadas y la experiencia de funcionamiento acumulada sugirieron otras mejoras como el uso de cobre blanco en el serpentín, para evitar daños por congelación, o el aumento de la longitud del mismo, lo que aumentaba el caudal disponible.

El agua caliente solar interesó también fuera de los límites de Florida. A finales de los años treinta su uso se extendería a las Islas del Caribe y a Puerto Rico, Cuba y América Central. Al norte de Florida, de Luisiana a Georgia, los proyectos de vivienda pública comenzaron a emplear calentadores solares de agua. Así, por ejemplo, las 480 viviendas de un gran conjunto de Georgia obtenían del Sol 132.000 litros diarios de agua caliente. Tras su primer año de marcha regular, un funcionario de vivienda señalaría que *"el calentamiento solar del agua se ha mostrado muy satisfactorio y si bien el costo inicial supera ligeramente el de otros sistemas de calentamiento, los costos de funcionamiento y mantenimiento resultan insignificantes"*.

A diferencia del caso de California, la industria solar en Florida superó (no sin dificultades) la Segunda Guerra Mundial, que significó entre otras cosas la nula disponibilidad de cobre (cuyo uso no militar fue congelado por el gobierno durante el conflicto).

Tras la guerra, aunque la industria consiguió recuperarse nunca alcanzó su anterior fuerza. Resulta ejemplar las razones de ello. En primer lugar, la prosperidad de la sociedad americana disparó el consumo de agua. Los usos y costumbres pasaron de un cierto estoicismo hacia las necesidades vitales (en cierto sentido, una actitud básica de la colonización del oeste americano), a un gusto y placer por el consumo sin límites, que poco a poco fue convirtiéndose en símbolo de status social, cuyo significado transcendía con mucho las determinaciones técnicas y biológicas. Las familias encontraban ahora que sus colectores solares, cuya producción de agua caliente estaba limitada por un tamaño no exagerado del colector en relación al edificio, eran insuficientes e imponían un límite a la cantidad de agua caliente disponible al día. Esto resultaba inadmisibile desde la óptica del nuevo consumidor típico. Pero en segundo lugar, los calentadores eléctricos de agua se convertían en una alternativa conveniente y eficaz. A ello contribuyeron tanto la caída de las tarifas eléctricas (que acompañaban así los ridículos precios de los combustibles fósiles de otras regiones americanas) como a las agresivas campañas de las compañías eléctricas para aumentar el consumo, estableciendo tarifas de promoción y ofreciendo la instalación gratuita de los calentadores.

No siendo ya la energía solar la ganga económica que una vez fuera y con las perspectivas cada vez mejores del agua calentada eléctricamente, muy pocos serían los compradores de equipo solar transcurridos los años cincuenta. La industria se redujo a una de mantenimiento; limpieza de serpentines, sustitución de cubiertas de cristal rotas y colocación de depósitos nuevos para quienes prefirieron conservar sus calentadores solares de agua por sentirse contentos con lo que obtenían: agua caliente solar gratis en forma autónoma.

De nuevo la arquitectura solar

Durante casi mil años tras la caída del Imperio Romano, los arquitectos europeos [que trabajaban para los príncipes, grandes señores e instituciones ignoraron tácitamente los principios de la orientación solar. Los escritos clásicos sobre arquitectura solar de Sócrates,

Aristóteles, Vitrubio y otros cayeron en desuso. A pesar de ello la tradición se recuperó en tratados como el del arquitecto italiano Alberti o el de Andrea Palladio. Sin embargo, los constructores vernáculos (unas veces autoconstructores y otras maestros artesanos para el resto de la comunidad) mantuvieron una tradición implícita basada en el sentido común, en la disponibilidad de materiales y energía, y en la adaptación a los recursos del rededor¹².

Tal es el caso en la Europa mediterránea y Asia Menor, dónde la arquitectura popular siguió aplicando algunos de los principios de construcción solar. La idea de orientar las casas hacia el sur no fue olvidada ni en Grecia, ni en Turquía, ni en el norte de África. En España también tenían en cuenta el clima y construían las casas con gruesos muros de piedra o adobe. Esta fábrica ayudaba a mantener los edificios templados en inviernos y frescos en verano.

La moda de la civilización clásica, implantada en Italia durante el Renacimiento, condujo a una reposición de los estilos griego y romano. Llegada esta influencia clásica al norte de Europa, los arquitectos copiaron diligentemente las formas externas de los edificios pero ignoraron los principios solares que otorgaban funcionalidad a su gran belleza. No supieron orientar adecuadamente los edificios, desaprovechando la oportunidad de calentarlos con la ayuda del sol. Humprey Repton, uno de los pocos arquitectos ingleses que advirtieron la ironía de esta mala utilización de la arquitectura solar clásica, señalaba:

“Al pasar por delante del bello pórtico corintio al norte de la mansión suelo sonreír pensando en lo incongruente de la arquitectura griega aplicada a los edificios de este país...”

El renacimiento de los principios de orientación solar en Europa tiene interés pero nos llevaría muy lejos. He preferido en esta ocasión recorrer brevemente esa misma historia en la parte norte de este continente americano.

La arquitectura solar americana partía del legado vernáculo. Las tribus de indios Pueblos del sudoeste americano establecieron algunas comunidades solares altamente sofisticadas. Durante los siglos once y doce de nuestra era, los indios Anasazi construyeron un cierto número de grandes aldeas (algunas de ellas sobre el flanco de una meseta, otras en llanuras abiertas) que evidencian un alto grado de sensibilidad a los movimientos diarios

¹² Cómo y cuándo la arquitectura popular fue sustituida por la construcción moderna apoya la misma tesis que se resalta aquí, véase [Vázquez, 1986] y [Vázquez, 1997].

y estacionales del Sol. Ruinas tan bien conocidas hoy como las de Casa Larga en Mesa Verde, y Pueblo Bonito en el norte de Nuevo México datan de este período clásico de la cultura Anasazi.

Es bien conocido el común origen lingüístico y cultural de los pobladores del continente americano, cuyo flujo principal (si no único) corrió de Norte a Sur. Si no hago mención de ejemplos más cercanos, peruanos en particular, no es porque no les considere importantes, muy por el contrario revelan mi propia ignorancia sobre la cultura de su país, tema del que espero aprender aquí más que enseñar.

La “*ciudad del cielo*” de Acoma constituye uno de los ejemplos más sofisticados de dicha arquitectura solar. Construida sobre lo alto de una meseta, como lo estuvo la ciudad griega de Olinto, Acoma consta de tres largas hileras de unidades de alojamiento orientadas sobre un eje Este-Oeste. Cada unidad de alojamiento se articula en dos o tres gradas dispuestas para permitir la plena exposición solar de cada vivienda en invierno. La mayoría de las puertas y ventanas abren al sur, y los muros están contruidos con adobe. El Sol incide sobre estos cerramientos meridionales absorbentes de calor mucho más directamente en invierno que en verano. Por contra, la techumbre horizontal de cada grada está contruida de paja y barro tendidos sobre un forjado de troncos y ramas de pino para aislar a las habitaciones inferiores del alto Sol de verano.



Ilustración 22 *Vista general de Acoma.*

Importa señalar que los principios solares no sólo atañen a cada vivienda en particular, sino que también ordenan el propio trazado de la ciudad, capaz de garantizar a todas las viviendas el acceso al Sol invernal. Este doble aspecto ya lo vimos en la arquitectura griega.

Los colonizadores españoles que se establecieron en el sudoeste de Estados Unidos solían construir de acuerdo con una planta solar. Sus alojamientos adoptaron la forma de casas separadas no muy distintas a las habituales en muchas partes de España. La típica casa

colonial española era una construcción de adobe con orientación Este-Oeste y las habitaciones principales abiertas al sur. Los muros regulaban la temperatura, disminuyendo significativamente el salto térmico respecto al del espacio exterior. Las ventanas, plagadas generalmente de partes móviles, tales como contraventanas exteriores e interiores, permitían aprovechar o protegerse de las condiciones climáticas exteriores, según éstas fueran favorables o desfavorables. La casa podía abrirse o cerrarse según conviniera. La arquitectura colonial española no siempre sobrevivió a la afluencia de gringos del Este norteamericano. Con sus raíces ancestrales en Inglaterra y el resto de la Europa nórdica, estos inmigrantes no comprendieron la adaptación del adobe al medio, y con frecuencia sustituyeron estas construcciones por casas de madera más adecuadas al clima de Nueva Inglaterra.

En vivo contraste con la arquitectura vernácula americana, la gran inmigración de la segunda mitad del siglo XIX provocó el crecimiento rápido de ciudades como New York, Filadelfia, Boston o Baltimore, de forma paralela al crecimiento experimentado por las ciudades europeas. Las condiciones de estas ciudades eran tan malas como la de los inmundos y hacinados barrios obreros de las ciudades europeas. Viviendas de pésima calidad constructiva, orientadas de cualquier modo y faltas de ventilación adecuadas. Algunos arquitectos criticaron este estado de cosas y reivindicaron la obligación de que los alojamientos ofrecieran mejores condiciones ambientales que las del espacio exterior pre urbano, es decir, que las condiciones propias del clima que los colonizadores se encontraron. El programa puede resumirse, una vez más, en la regla de sentido común: casas templadas en invierno y frescas en verano.

Sin embargo, el trazado urbano junto a las altas densidades propiciadas por la especulación inmobiliaria no permitían al arquitecto individual diseñar los edificios con la calidad ambiental como objetivo: los edificios de enfrente impedían el acceso al sol, un derecho reconocido desde antiguo del que eran desposeídos los nuevos urbanitas. Este problema básico, más urbano que edilicio, llamo poderosamente la atención del arquitecto William Atkinson, reformador de Boston. Atkinson percibió como *"el rascacielos se beneficia de la luz... a expensas de los edificios más bajos y antiguos"*. Consiguió convencer al ayuntamiento de la importancia de garantizar el acceso al Sol de todos los edificios, y en breve la ciudad contó con nuevas leyes por las que se limitaba la altura de las nuevas construcciones.

En 1910 Atkinson se interesó también por la mejor orientación de las habitaciones vivideras (bajo el supuesto de que la forma y ordenanza urbana garantizaban el acceso del Sol a las fachadas). El problema era ahora estudiar el comportamiento respecto al Sol de cada una de las posibles fachadas. Los resultados para los meses de verano confirmarían su hipótesis de que las ventanas al Este y al Oeste recibían demasiado Sol estival. El 21 de junio, por ejemplo, una caja solar orienta al Este alcanzaba en su interior 47 grados centígrados a las 8 de la mañana; 27 grados más que la misma caja solar orientada al sur y 22 grados más que la temperatura exterior.

Optimista sobre el potencial del calor solar, Atkinson publicó en 1912 un libro titulado *La orientación de los edificios, o proyectando para el Sol*. Pero la realidad no confirmó sus expectativas. Pocos arquitectos americanos siguieron sus ideas sobre el aprovechamiento de la orientación solar para obtener calefacción gratis en invierno. Los resultados de Atkinson fueron olvidados pronto.

Resulta irónico en todo caso que Atkinson redescubriera la técnica de orientación solar griega unos 2.500 años después de que fuera explícitamente formulada y además no se le hiciera ningún caso. Esto dice poco a favor de la veracidad de los objetivos declarados explícitamente por la ciencia y la técnica industriales.

El desarrollo de la arquitectura solar en algunas de las tendencias del Movimiento Moderno europeo, y en particular la tarea de divulgación del *Royal Institute of British Architects* (RIBA) originó una nueva ola de interés en los años treinta. Las cartas e instrumentos solares prendieron rápidamente en Europa, abriéndose pronto paso a los estudios de urbanistas americanos como Henry Wright, quien propugnaba el uso de esta información para determinar cómo obtener el máximo provecho del calor solar.

Su hijo Henry N. Wright continuó los trabajos de su padre, con el objetivo de determinar exactamente cuánto calor podía ganar un edificio en New York durante las diferentes estaciones con sus ventanas abiertas a diversas orientaciones. Wright abordó la relación entre orientación de ventana y calor en el edificio aplicando la información meteorológica de New York a la publicada por el RIBA sobre exposición solar. Como Atkinson y muchos otros a ambos lados del Atlántico creían haber "descubierto" antes, la orientación sur resultó ser la mejor para el calentamiento invernal y confort en verano. Mediante sus publicaciones, Wright ponía este mensaje al alcance de miles de lectores.



Ilustración 23 Soleamiento, orientación y confort, Henry N. Wright, 1938.

Al tiempo que se sucedían tales estudios teóricos, el arquitecto George Fred Keck comenzaba a poner en práctica la arquitectura solar. Keck no sabía nada de la arquitectura solar griega o romana, ni tampoco había oído mencionar los trabajos de Atkinson o las modernas comunidades solares de Europa. Pero un día de invierno Keck tuvo una experiencia que le convencería de una vez por todas de la utilidad del vidrio como ayuda a la calefacción doméstica. Durante una visita de obra a una de las casas que construía advirtió que:

"...Los obreros estaban dentro ocupándose de los acabados. Era en enero o febrero y el Sol brillaba muy intensamente, había como una docena de obreros en camisa, sin chaqueta. Y no obstante estábamos sin calefacción, porque no habían instalado aún la central. La temperatura exterior era inferior a los 0 grados centígrados y los hombres estaban allí dentro tan confortables sólo en mangas de camisa ¡y era por el calor del sol!"

Quedó tan asombrado que pronto acarició la idea de utilizar el vidrio para retener la energía solar como calefacción doméstica. Ignorante de los estudios disponibles en 1932, realizó los propios y llegó a la conclusión de siempre: un cerramiento acristalado orientado al sur y bajo aleros era el que más confort proporcionaba a lo largo de todo el año.

Careciendo de acceso a los medios de financiación institucional, Keck sólo podía ensayar su teoría en las viviendas que normalmente proyectaba para clientes particulares. Según sus propias palabras: "Construíamos cada año una casa pequeña para alguien, y cada vez ensayábamos el orientarla hacia el Sol y abrir más y más cristal al sur". Sus diseños de casas solares fueron integrando poco a poco los distintos elementos del clima, tales como la protección frente a los vientos fríos del Norte, la protección solar al Este y, sobre todo, al

Oeste, la ventilación cruzada capaz de aprovechar brisas suaves en verano, etc. Todos estos detalles se aparecían claramente en la forma típica de la planta de sus proyectos.

Tras la Segunda Guerra Mundial este género de principios llegó a popularizarse en cierta medida, hasta el punto de convertirse en mercancía, tal y como puede verse en los anuncios de publicidad de revistas tales como la *Popular Science*. Este renacimiento de la arquitectura solar reavivó asimismo la controversia de los ingenieros sobre la efectividad de los huecos acristalados orientados al sur. Esta controversia tuvo su origen en las casas todo cristal de algunas de las tendencias más "radicales" del Movimiento Moderno y del Estilo Internacional, en las que grandes superficies acristaladas aparecían en cualquier orientación, provocando enormes ganancias de calor en verano y cuantiosas pérdidas en invierno, con la consiguiente necesidad de equipos tanto de calefacción como de refrigeración. Sin embargo, quien quiera que usará el vidrio en conjunción con la orientación adecuada obtenía siempre buenos resultados.

Poco a poco los arquitectos interesados en el concepto de casa solar fueron reinventando las persianas, cortinas, contraventanas y toldos que podían reducir las pérdidas de calor en las noches invernales, o la ganancia en los días estivales. Todavía más, Arthur Brown creyó descubrir por vez primera la utilidad del color negro en los muros interiores tras una cristalera orientada al sur, en realidad un principio ya explicitado por Palladio en su tratado del siglo IV.

A pesar de tales mejoras, la construcción solar comenzó a desfallecer a fines de los años cuarenta, en parte porque la ética del ahorro propia del período de guerra se había desvanecido rápidamente. Con la energía de origen fósil cada vez más barata, a poca gente importaba la contribución del Sol a rebajar las facturas por calefacción.

De hecho, las casas orientadas solarmente continuaron gozando de popularidad durante un tiempo entre los ricos, que podían costearse un arquitecto versado en las técnicas de la calefacción solar y la refrigeración natural. Las casas solares diseñadas por encargo florecieron de Maine a California, y de Texas a Canadá durante los últimos años cuarenta. Sin embargo, finalmente, la creciente popularidad de la calefacción y los sistemas de ventilación mecánicos (reforzada por los precios en permanente caída de los combustibles) llevaría a una pérdida de interés casi total por la arquitectura solar para finales de los años cincuenta.

Calefacción solar

El esquema histórico que he examinado con algún detalle en el caso de los motores solares, del agua caliente solar y de la propia arquitectura solar se repite del mismo modo con la calefacción solar, aunque en este caso el examen será breve para evitar repeticiones innecesarias.

El uso de colectores solares para calefacción doméstica no era totalmente nuevo. El primer caso registrado se remonta a los años 1880, cuando Edward Morse, botánico y etnólogo de reputación mundial, empleó una caja caliente para este fin. Morse había observado que al correr unas cortinas oscuras tras una ventana soleada, éstas se calentaban en extremo, produciéndose corrientes de aire templado entre las mismas y los cristales. Así pues, ¿por qué no aplicar el mismo principio a la calefacción de una estancia o de una casa? Como modelo de ensayo de su teoría, Morse construyó un primer aparato: apenas una caja caliente adosada al muro sur de un edificio, con aberturas que permitían al aire exterior penetrar en ella y al aire calentado solarmente escapar a las habitaciones. A principios de 1882, el primer calentador solar de aire de Morse es instalado en el Museo Peabody de Salem. *Scientific American* lo calificaría de "ingenioso dispositivo para la aplicación del calor de los rayos solares a la calefacción de nuestras casas... y sin embargo tan simple y autónomo que uno se pregunta cómo no ha sido usado siempre". A pesar de esta publicidad y del éxito práctico obtenido, su idea permanecería en el olvido durante medio siglo.

El otro gran hito de la calefacción solar son las casas experimentales del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), bien conocidas.

En 1938, los ingenieros de esta vanguardista institución americana recibieron fondos por valor de 650.000 dólares para iniciar una investigación sobre el uso de colectores solares para calefacción doméstica. El programa fue dirigido por Hoyt Hottel, con la ayuda de Byron Woertz, a la sazón estudiante graduado. Hottel era conocedor de los muchos logros anteriores en el campo de la energía solar y se proponía comprobar científicamente sus posibilidades para la calefacción doméstica. Decidió primero estudiar el colector plano; el mismo que se había empleado con éxito en California para calentar agua destinada a usos domésticos.

El equipo investigador abordó un riguroso estudio científico de la viabilidad técnica y económica de una calefacción basada exclusivamente en la energía solar. Su primera tarea fue construir un pequeño edificio que sirviera de laboratorio experimental. Como curiosa anécdota hay que decir que el arquitecto y el constructor emplearon una brújula magnética no corregida para determinar la posición del norte geográfico (en vez de emplear el Sol como antiguo); como resultado el edificio se desvió 7 grados del verdadero Sur.

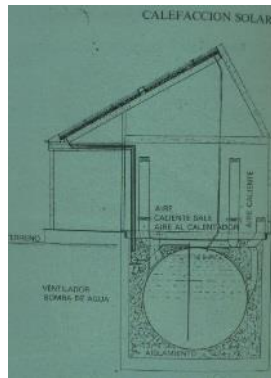


Ilustración 24 *Primera casa solar del MIT*

Concluido el edificio, se instalaron 14 colectores planos sobre el faldón sur de su cubierta con una inclinación de 30 grados respecto a la horizontal. El agua caliente era bombeada hasta la cumbrera de la vivienda, desde donde se enviaba hasta un depósito acumulador de 66.000 litros que ocupaba totalmente el sótano. El aire frío era extraído de las habitaciones mediante ventiladores y era insuflado al depósito caliente. Una vez templado el aire retornaba a las habitaciones, calentando el edificio. En consecuencia el sistema era "activo", necesitando aporte de energía eléctrica para accionar las bombas y ventiladores que transportaban el calor. A diferencia de las casas solares de Keck y del calentador solar de aire de Morse, el sistema no era capaz de funcionar sin aporte energético externo.

Desde un punto de vista técnico, los resultados del experimento fueron por lo general positivos; con ayuda de los colectores solares el laboratorio mantuvo una temperatura constante de 23 grados durante todo el invierno. Sin embargo, los resultados del análisis económico fueron inequívocamente desfavorables. Aparte de demostrar su propia viabilidad técnica, el experimento dio a conocer importantes datos. El informe de Hottel y Woertz es considerado todavía como un clásico en el tema. Ambos ingenieros destacaron los principales factores incidentes sobre el rendimiento del colector solar: inclinación del dispositivo sobre la cubierta, transmisión lumínica de las tapas de cristal, pérdida de calor

por las otras cinco paredes opacas del colector, tipo de material absorbente utilizado y varios otros aspectos esenciales. En realidad, todos estos conceptos ya habían sido apreciados por los anteriores inventores, de manera que hay que concluir que el artículo de Hottel y Woertz es clásico por haber empleado el lenguaje científico en su exposición, con las necesarias ecuaciones de estado del colector solar y demás parafernalia. Así, por citar un ejemplo, la investigación del MIT demostró que la eficacia del colector plano se reduce al aumentar la diferencia de temperatura entre la placa absorbente y el aire exterior, hecho bien conocido con anterioridad y que había sugerido el empleo de sistemas de baja temperatura en los motores solares. De otra parte, un sorprendente descubrimiento fue que la suciedad y el hollín en suspensión aérea afectan escasamente al rendimiento del colector.

Las dificultades de índole económica del primer experimento del MIT sugirieron a otros investigadores usar el propio aire como agente transmisor del calor, un poco en la línea inicial del sistema de Morse. Tal es el caso del sistema de George Löff, instalado en su propia casa durante la Segunda Guerra Mundial. El sistema de acumulación empleado fue en esta ocasión piedra machacada, guardada bajo el suelo y aislada. El sistema consiguió suministrar un tercio de las necesidades de calor de la casa durante un invierno. El resto de la energía era suministrado por un sistema de calefacción de aire, enteramente convencional. El colector solar con aire tenía la ventaja evidente de acoplarse sin dificultad a los equipos habituales de calefacción en aquella época.

Muchos otros experimentos de este género tuvieron lugar en el MIT y en otros lugares. En 1958, el equipo de investigación solar del MIT construyó su cuarta casa solar: un alojamiento de nueva planta levantado en Lexington, Massachusetts. Nuevamente, los investigadores utilizaron agua caliente solar para templar la casa. Pero en esta ocasión sólo aproximadamente un 50 por ciento del calor necesario era suministrado por el Sol. El personal del MIT llevaría a cabo un análisis económico sumamente sofisticado de este sistema: sobre la base del bajo costo de los combustibles fósiles en aquellos años calcularon que los costos del sistema de calefacción solar deberían reducirse en un 80 por 100 si se aspiraba a lograr un período de amortización de diez años.

Pese a tales opiniones pesimistas, los años de investigación habían demostrado la viabilidad técnica de la calefacción doméstica solar para edificios situados en climas fríos. El único obstáculo insalvable era el elevado costo, siempre económico.



Ilustración 25 Cuarta casa solar del MIT.

Perspectivas de posguerra

El resto de esta historia hasta nuestros días es, por un lado bastante complejo, y por otra suficientemente conocida como para que no quepa ni siquiera resumirla en esta ocasión.

Baste señalar que hasta las sucesivas crisis en los precios del petróleo, las sociedades industriales se lanzaron tras la senda del crecimiento económico indefinido, amparadas en una abundancia de recursos y sustentadas por un consumo energético siempre en crecimiento. Al mismo tiempo, en otros lugares y con otras condiciones (Israel, Australia o Japón) la energía solar en cualquiera de sus formas experimento sucesivos períodos de auge acompañada siempre por un temor local a la escasez futura de combustibles. Tal es el caso de Israel, siempre temeroso de un corte en el suministro de petróleo, dada su posición geográfica.



Ilustración 26 Calentador solar corriente en Australia.

Además del petróleo, la pesadilla de la energía nuclear vino a constituirse en la fuente de energía barata e inagotable, capaz de desanimar al más optimista de los investigadores solares.

Como contraste, nótese que la carrera de armamentos sí que propició (sin importar ningún criterio sobre el coste económico en esta ocasión) una investigación extensa sobre la energía solar, en particular sobre la energía fotovoltaica; cuyo uso todavía no ha llegado a ser popular debido como siempre a un problema de costo económico.

1.9. Metodología

El proyecto está constituido por tres etapas, durante las cuales se realizan el análisis de información, cotejo y diagnóstico final, que conduce al desarrollo de una matriz comparativa aplicada al diseño de objetos arquitectónicos.

Etapas 1. Comparar y examinar.

Se compara el comportamiento energético de las cuatro formas geométricas básicas (cubo, esfera, cono y cilindro) con los cinco materiales usados en construcción (corcho, madera, concreto y arcilla).

Esta comparación permite entender como el material y la forma del elemento influye en la conservación de la energía. Se compara cada elemento con cada material teniendo así 16 elementos a examinar, Bogotá es el ecosistema que previamente se escogió.

Esta comparación se realiza mediante la medición de variables físicas, como la temperatura, la presión y la humedad relativa, en laboratorio con aparatos especializados como la máquina termográfica, termómetros de contacto y aparatos de medición ambiental, para realizar el cálculo, donde las diferentes medidas nos dan a conocer cuál de estos elementos y en que material tiene mejor equilibrio energético con su entorno. (ganancia-pérdida de calor).

Al tener los resultados de laboratorio, se identifica cuál de estos elementos es el más óptimo para la conservación de la energía térmica, cumpliendo los objetivos de la primera parte de la investigación.

Etapa 2. Analizar e integrar

Al analizar el comportamiento térmico de los diversos volúmenes con el entorno natural podemos comprender la relación de éstos elementos geométricos con su ecosistema, logrando integrar el hábitat en términos de equilibrio energético, conservación y demanda de energía.

Al integrar forma, material y entorno logramos identificar que la interacción de estos elementos son una determinante más para la realización del diseño en las edificaciones energéticamente eficientes.

Etapa 3. Proponer

Después de las etapas anteriores, logramos establecer una matriz de valoración energética que se basa en la forma geométrica, el entorno y el material involucrado en la construcción. El fin de esta matriz es poder aplicarla al diseño, intervención y mejoramiento del objeto arquitectónico.

1.10. Cronograma de trabajo

		CRONOGRAMA II FASE PROYECTO INVESTIGATIVO TERMODINAMICA Y FORMA																												
		DIRECTOR DE TESIS: GERMAN MARIO MARTINEZ																												
		FACULTAD DE ARQUITECTURA																												
		UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA																												
FECHA DE INICIO: 5 DE AGOSTO DE 2013																														
FECHA DE TERMINACIÓN: 6 DE JUNIO DE 2014																														
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN: MARIO MARTINEZ																														
ETAPA	Nº	ACTIVIDAD	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE											
	1	INVESTIGACION CONCEPTOS BASICOS (BIOClimATICA, TERMODINAMICA, ETC)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
	2	OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS – FORMULACION DEL PROBLEMA, JUSTIFICACION E INTRODUCCION																												
	3	MARCOS REFERENCIALES (CONCEPTUAL, HISTORICO, TEORICO Y LEGAL)																												
	4	VISITA – ASESORIA CON LA BILOGIA ACERCA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTACION																												
	5	DESARROLLO PROYECTO – PROYECTO INVESTIGATIVO																												
	6	ENTREGA PRIMER CORTE – MODELO FIGURAS GEOMETRICAS ACERO																												
	7	DESARROLLO METODOLOGIA DEL PROYECTO																												
	8	MODELOS FIGURAS GEOMETRICAS EN MADERA Y CONCRETO																												
	9	ENTREGA SEGUNDO CORTE – DISEÑO DE EXPERIMENTO Y METODOLOGIA DEL PROYECTO																												
	10	CARACTERIZACION DE LOS ECOSISTEMAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ																												
	11	DESCRIPCION DE LOS CINCO MATERIALES LOCALES DE CONSTRUCCION – RELACION FORMA Y CONSERVACION DE ENERGIA																												
	12	DISEÑO DE PROBETA – ANALISIS, EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA Y TERMICA (FORMA, MATERIAL Y ENTORNO)																												
	13	DESARROLLO PROYECTO – PROYECTO INVESTIGATIVO																												
	14	EVALUACION DE LOS CUATRO SOLIDOS EN CUANTO A EFICIENCIA ENERGETICA Y TERMICA																												
	15	MECION DE LOS FACTORES ENERGETICOS Y TERMICOS ENTRE LA FORMA, MATERIAL Y ENTORNO																												
	16	ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE LOS VOLUMENES EN UN ENTORNO NATURAL (ECOSISTEMA Y FORMA)																												
	17	ARQUITECTURA VERNACULA – ANALISIS Y MATERIALES																												
	18	ENTREGA TERCER CORTE – METODOLOGIA Y MATRIZ DE VALORACION ENERGETICA																												
ETAPA	Nº	ACTIVIDAD	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO											
	1	TIPO DE VARIABLE – TEMPERATURA	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4									
	2	COMO SE VA A MEDIR LA VARIABLE Y REGISTRO DE INFORMACION																												
	3	MATERIALES Y EQUIPOS																												
	4	PROCESO DE MANUFACTURACION DEL SOLIDO – CARAC. FISICAS Y QUIMICAS																												
	5	PROCESO – REGISTRO DE INFORMACION																												
	6	ENTREGA PRIMER CORTE																												
	7	MECION – ANALISIS EFICIENCIA ENERGETICA (MATERIAL, ENTORNO Y CLIMA) CUBOS																												
	8	MEDICIONES VARIABLES: HUMEDAD, PRESION Y TEMPERATURA																												
	9	MECION – ANALISIS EFICIENCIA ENERGETICA (MATERIAL, ENTORNO Y CLIMA) CILINDROS																												
	10	MEDICIONES VARIABLES: HUMEDAD, PRESION Y TEMPERATURA																												
	11	MECION – ANALISIS EFICIENCIA ENERGETICA (MATERIAL, ENTORNO Y CLIMA) CONOS																												
	12	ENTREGA SEGUNDO CORTE																												
			SEMANA SANTA																											
	13	MEDICIONES VARIABLES: HUMEDAD, PRESION Y TEMPERATURA																												
	14	MECION – ANALISIS EFICIENCIA ENERGETICA (MATERIAL, ENTORNO Y CLIMA) ESFERAS																												
	15	MEDICIONES VARIABLES: HUMEDAD, PRESION Y TEMPERATURA																												
	16	PROCESO – INFORMACION																												
	17	MATRIZ VALORACION ENERGETICA: FORMA, MATERIAL Y CLIMA – DESARROLLO MONOGRAFIA																												
	18	ANALISIS – APLICACION A ARQUITECTURA – ENVOLVENTES																												
	19	ENTREGA TERCER CORTE – MATRIZ DE VALORACION ENERGETICA																												

1.11. Presupuesto

ELEMENTOS	COSTO
camara termografica	\$ 12.000.000,00
termoanemometro	\$ 450.000,00
estacion metereologica	\$ 250.000,00
corcho	\$ 520.000,00
madera	\$ 120.000,00
arcilla	\$ 30.000,00
concreto	\$ 50.000
otros	\$ 400.000,00
TOTAL	\$ 13.820.000,00

1.12. Resultados esperados

- Realizar un artículo de investigación científica para publicarlo en un medio impreso.
- Realizar una ponencia nacional e internacional de la investigación.
- Elaborar un documento de proyecto de grado que explica el proceso seguido y los resultados obtenidos.

1.13. Marco de Referencia

1.13.1. Marco Conceptual

1.13.1.1. Termodinámica

Al estudio del calor y su transformación en energía mecánica se le llama termodinámica. La palabra es derivada de palabras griegas que significan "movimiento del calor". La base de la termodinámica es la conservación de la energía ya que esta fluye espontáneamente desde lo más caliente a lo frío y no a la inversa. La termodinámica proporciona las leyes y principios que sirven para la construcción de máquinas térmicas como lo son las turbinas de vapor, los refrigeradores y hasta la calefacción.

Antes de entrar a conocer a fondo el significado de la palabra termodinámica, es importante resaltar que el origen etimológico de la misma se encuentra en el latín. Más concretamente podemos subrayar el hecho de que está conformada por la unión de tres partes claramente diferenciadas: el vocablo *thermos* que viene a definirse como "caliente", el sustantivo *dinamos* que es equivalente a "fuerza" o a "poder", y el sufijo *-ico* que puede determinarse que significa "relativo a".

Se identifica con el nombre de termodinámica a la rama de la física que hace foco en el estudio de los vínculos existentes entre el calor y las demás variedades de energía. Analiza, por lo tanto, los efectos que poseen a nivel macroscópico las modificaciones de temperatura, presión, densidad, masa y volumen en cada sistema.

Es importante subrayar que existe una serie de conceptos básicos que es fundamental conocer previamente a entender cómo es el proceso de la termodinámica. En este sentido uno de ellos es el que se da en llamar estado de equilibrio que puede definirse como aquel proceso dinámico que tiene lugar en un sistema cuando tanto lo que es el volumen como la temperatura y la presión no cambian.

De la misma forma está lo que se conoce por el nombre de energía interna del sistema. Esta se entiende como la suma de lo que son las energías de todas y cada una de las partículas que lo conforman. En este caso, es importante subrayar que dichas energías sólo dependen de lo que es la temperatura.

El tercer concepto que es fundamental que conozcamos antes de conocer cómo es el proceso de la termodinámica es el de ecuación de estado. Una terminología con la que viene a expresarse la relación que existe entre lo que es la presión, la temperatura y el volumen.

La base de la termodinámica es todo aquello que tiene relación con el paso de la energía, un fenómeno capaz de provocar movimiento en diversos cuerpos. La primera ley de la termodinámica, que se conoce como el principio de conservación de la energía, señala que, si un sistema hace un intercambio de calor con otro, su propia energía interna se transformará. El calor, en este sentido, constituye la energía que un sistema tiene que permutar si necesita compensar los contrastes surgidos al comparar el esfuerzo y la energía interior.¹³

La segunda ley de la termodinámica supone distintas restricciones para las transferencias de energía que, en hipótesis, podrían llevarse a cabo si se tiene en cuenta la primera ley. El segundo principio sirve como regulador de la dirección en la que se llevan a cabo los procesos termodinámicos e impone la imposibilidad de que se desarrollen en sentido

¹³ Sepúlveda, Elba M. Física en Línea. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/timesolar/termodinamica>

opuesto. Cabe destacar que esta segunda ley se respalda en la entropía, una magnitud física encargada de medir la cantidad energía inservible para generar trabajo.¹⁴

Aplicación en la arquitectura:

Es por esto que al momento de diseñar un edificio o una ciudad, los arquitectos debemos ser conscientes acerca de la relación que tendrá con el entorno natural y de su interacción, buscando la reconciliación entre técnica y naturaleza. Existe una teoría que podría hacer importantes contribuciones a nuestra forma de pensar la arquitectura. Este movimiento ha estado principalmente relacionado con la política y la economía y aboga una disminución gradual de la producción como única solución a los problemas ambientales que enfrenta actualmente la humanidad. Los defensores de esta teoría argumentan que el crecimiento económico actual no es sostenible a largo plazo, ya que agota los recursos naturales y destruye el medio ambiente, además de no ayudar a la población a mejorar su bienestar de forma significativa.

1.13.1.2. Bioclimática

Desde hace unas décadas, la arquitectura que respondía de alguna manera a su entorno, empezó a llamarse; arquitectura solar, vernácula, sostenible, natural, ecológica, biónica, sana, etc, pero, no dejan de ser definiciones parciales de lo que en realidad es la arquitectura.

El término "*Bioclimático*", nace con la moda de poner apellidos a las actitudes más humanas y naturales intentando recoger algo más que la relación entre la arquitectura y el clima, como son la influencia de los materiales en nuestro organismo, la iluminación, los diferentes campos electromagnéticos etc.

La tradición constructiva nos muestra muchas de las estrategias que debemos emplear para conseguir una arquitectura más económica y sana. Quizá una definición más acertada que la de Arquitectura bioclimática podría ser "arquitectura tradicional evolucionada"

¹⁴ WordPress. Definición de termodinámica: Qué es, Significado y Concepto. Recuperado de: <http://definicion.de/termodinamica/#ixzz2fCV0KdMh>

Aplicación en la arquitectura:

¿Cuándo nace la Arquitectura Bioclimática? Se puede decir que la arquitectura bioclimática nace con el propio desarrollo humano.

Los primeros refugios del hombre fueron las cuevas. En su interior, las condiciones externas se suavizan, consiguiendo una gran estabilidad interna. En la actualidad, se siguen construyendo casas enterradas, que aprovechando la tecnología actual; cristal, impermeabilizantes etc. se consiguen casas realmente confortables.

El hombre prehistórico ya intuía la manera de colocar sus construcciones, incluso parece ser que las utilizaban para regular aspectos naturales adversos.

Los egipcios, grandes conocedores de las radiaciones telúricas, procuraban que sus construcciones se orientaran en función de ellas. Los romanos ya leían de una manera consciente, en las plantas y en los animales, las condiciones más favorables del entorno para ubicar sus ciudades.

Como los animales, las plantas o los minerales, los seres humanos estamos inmersos en un mar de radiaciones que nos bañan constantemente y de cuya energía dependen nuestro equilibrio y nuestra salud física y mental. Gran parte de la Arquitectura tradicional responde a principios bioclimáticos desarrollándose específicamente en cada lugar, y atendiendo a sus necesidades y a las posibilidades del entorno.

De hecho, en cada cultura, en cada civilización, se hacía uso de la observación de la naturaleza que permitía establecer la salubridad o nocividad de cada lugar.

El urbanismo bioclimático propone toda una serie de estrategias, todas ellas particularizadas, con las que hacer nuestros espacios urbanos más adecuados y agradables, y con unos objetivos muy concretos; actuar de la manera más respetuosa con el entorno, integrando la arquitectura en el medio natural y posibilitando a las edificaciones una buena ubicación para que dispongan de todos los recursos naturales, así como evitar o suavizar los elementos negativos.

Cabe mencionar ejemplos de algunas ciudades, donde las calles principales de su centro histórico, se disponen en perpendicular a los vientos dominantes y las transversales se abren de forma discontinua para impedir que llegue el viento a las fachadas sur de la ciudad, o ciudades, donde el entramado de la misma lo forman calles estrechas e irregulares para impedir la entrada de sol y proporcionar sombra, mientras que las manzanas son muy grandes, para conseguir patios interiores, que se comportan como auténticos almacenes de aire frío.¹⁵

1.13.1.3. Conservación de energía

Sistema mecánico en el cual se conserva la energía. La ley de la conservación de la energía constituye el primer principio de la termodinámica y afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía. En resumen, la ley de la conservación de la energía afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra, por ejemplo, cuando la energía eléctrica se transforma en energía calorífica.¹⁶

Aplicación en la arquitectura:

La conservación de la energía hace referencia a los esfuerzos realizados para reducir el consumo de la misma. La conservación de energía se puede lograr mediante un uso mayor y eficiente de la energía, en relación con el consumo de energía reducido y/o reducción del consumo de fuentes de energía convencionales. La conservación de energía puede resultar con el aumento de capital financiero, la calidad del medio ambiente, la seguridad nacional, la seguridad personal y el confort humano. Las personas y organizaciones que son consumidores directos de la energía, optan por conservar la energía para reducir costos de energía y promover la seguridad económica. Los usuarios industriales y comerciales pueden aumentar la eficiencia del uso de energía para incrementar las ganancias.¹⁷

¹⁵ Dossío, Oscar Adrián. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, URBANISMO Y MEDIO AMBIENTE. Recuperado de: <http://www.adoss.com/es/inicio/index.asp?iddoc=24>

¹⁶ El blog de mailxmail. Energía. Conservación, almacenamiento y transformación. Recuperado de: <http://www.mailxmail.com/curso-energia/energia-conservacion-almacenamiento-transformacion>.

¹⁷ Arqhys. Conservación de la energía. Recuperado de: <http://www.arqhys.com/articulos/conservacion-laenergia.html>.

1.13.1.4. Eficiencia energética

Es un término polivalente, muy empleado en los últimos años en muy diferentes contextos, y tal vez por este motivo, parece oportuno delimitar su significado. La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia* que en español quiere decir, acción, fuerza, producción. En principio la eficiencia energética atendería a la definición física referente a un proceso o a un dispositivo, correspondiéndose está a la relación entre la energía útil y la energía empleada.

Actualmente esta acepción se emplea, casi exclusivamente, para maquinaria, electrodomésticos o luminarias, es decir procesos o aparatos que se relacionan más directamente con el usuario, y en los que ambas magnitudes son fácilmente medibles. Esta se relaciona con la eficiencia energética a micro escala, entendida como la reducción del consumo para el mismo servicio, bien sea por avances tecnológicos o mejoras en la gestión (World Energy Council, 2004). Sin embargo estas mejoras, que pueden tener repercusión a la macro escala dominante en el mundo globalizado, no son la base de las mediciones energéticas. Durante los últimos años este término se viene empleando asiduamente con un concepto más amplio, que no sólo engloba la optimización en el uso, sino lo que esta conlleva para el medio y la vida, como se expone en la recogida en la campaña ante el cambio climático: Menos CO₂. En general todas las definiciones que encontramos en esta línea son similares, aunque algunas toman un aspecto más económico excluyendo del término toda acción que suponga una reducción en el PIB, y otras en cambio resaltan su relación con la disminución del consumo y la consiguiente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.¹⁸

¹⁸ Matesanz Parellada, Ángela. World Energy Council (2004). Eficiencia energética. Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-eficiencia-energetica.html>

1.13.1.5. Ecosistema

El ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes. Las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras. Las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema.

El significado del concepto de ecosistema ha evolucionado desde su origen. El término acuñado en los años 1930s, se adscribe a los botánicos ingleses Roy Clapham (1904-1990) y Sir Arthur Tansley (1871-1955). En un principio se aplicó a unidades de diversas escalas espaciales, desde un pedazo de tronco degradado, un charco, una región o la biosfera entera del planeta, siempre y cuando en ellas pudieran existir organismos, ambiente físico e interacciones.

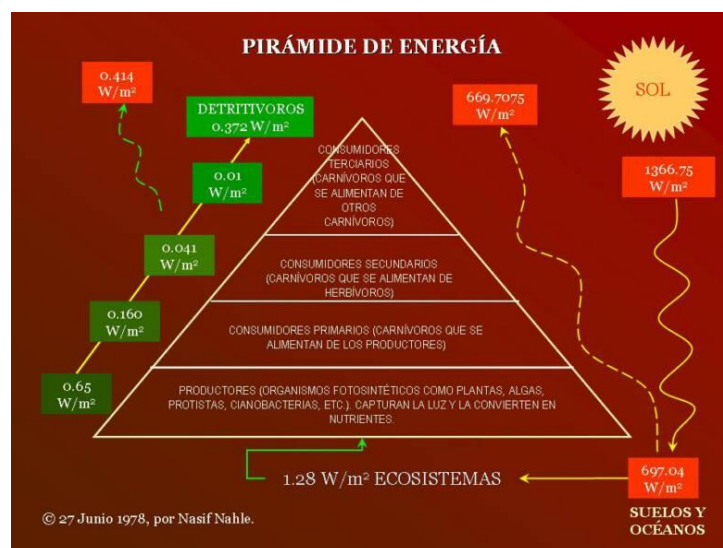
Más recientemente, se le ha dado un énfasis geográfico y se ha hecho análogo a las formaciones o tipos de vegetación; por ejemplo, matorral, bosque de pinos, pastizal, etc. Esta simplificación ignora el hecho de que los límites de algunos tipos de vegetación son discretos, mientras que los límites de los ecosistemas no lo son. A las zonas de transición entre ecosistemas se les conoce como “ecotonos”.¹⁹

Aplicación en la arquitectura:

El enfoque del proyecto requiere una adecuada comprensión de las interacciones espaciales de los ecosistemas. En algunos casos el medio ambiente del proyecto de edificación ha sido concebido por el arquitecto, erróneamente, como una serie de zonas ambientales independientes, como tierra, aire, agua, etc. Si se requiere prevenir el efecto de cualquier acción sobre un ecosistema, es necesario tener una comprensión sinóptica de la interacción entre sus componentes.

¹⁹ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. BIODIVERSIDAD MEXICANA. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>

Por lo tanto es muy importante, que en la planificación de un entorno para construir, el arquitecto debe percatarse de que cualquier estructura que se ubique como va a afectar, inevitablemente, en virtud de su presencia y de su funcionamiento, no solo al ecosistema del terreno, sino también a los de las inmediaciones (por ejemplo la contaminación atmosférica vertida al aire por los ecosistemas mecánicos del edificio puede transmitirse a los alrededores por el proceso atmosférico de la biosfera). Así pues, las posibles influencias de la edificación sobre los ecosistemas circundantes y sobre los otros de la biosfera deben formar parte del conjunto de consideraciones del proyecto.²⁰



1.13.1.6. Hábitat

"El Hábitat es el territorio y el conjunto de atributos que lo cualifican, donde se localiza y vive el ser humano. Su desarrollo armónico contribuye a mejorar la calidad de vida, la productividad de la ciudad, la inclusión social de toda la población y el reconocimiento de la identidad individual y colectiva."²¹

²⁰ ARQUYS. La arquitectura y su interacción espacial con su ecosistema. Recuperado de: <http://www.arqhys.com/articulos/ecosistema-arquitectura.html>

²¹ Secretaría distrital del hábitat. Concepto de Hábitat. Recuperado de: http://www.habitatbogota.gov.co/sdht/index.php?Itemid=84&id=51&option=com_content&view=article

Un hábitat es aquel ambiente o espacio que se encuentra ocupado por una determinada población biológica, la cual, reside, se reproduce y perpetúa su existencia allí porque el mismo le ofrece todas las condiciones necesarias para hacerlo, es decir, se siente cómoda por qué cumple con todas sus expectativas. La cuestión de la comodidad resulta ser una condición *Conditio sine qua non* (Significa: "Condición sin la cual no" es posible que se genere un determinado acto o condición indispensable) para que una población biológica se asiente o no en determinado hábitat, puede ser que algunos no resulten aptos o cómodos por alguna razón y entonces esa población no se sentiría cómoda, provocando que el desarrollo de la misma no sea eficiente.

Existen diversos tipos de hábitat, los cuales, estarán determinados por características climatológicas, ambientales y geográficas. Una pradera, el desierto, la montaña, una región polar, un río, un pantano, un océano y un arrecife de coral son algunos de los hábitats en los cuales viven, conviven y se desarrollan variadísimas especies de animales y vegetales.

Por ejemplo, respecto que el mejor hábitat para una especie puede no serlo para otra, nos encontramos con que para una bacteria, un charco de agua que se forma en alguna esquina o calle de una ciudad será su mejor hábitat, en tanto y contraponiéndose a esta situación, el mencionado charco no será el correcto hábitat para que un animal como el león se desarrolle, crezca y sobreviva. Para este último el ideal podría ser una pradera en el medio del África.²²

Por lo tanto la ecología humana y el urbanismo, que estudian la relación de una población con su entorno, hablan de hábitat humano para referirse a la serie de elementos de tipo material e institucional que condicionan la vida de un grupo de personas en una zona determinada. Este mismo término es utilizado por los arquitectos para hacer alusión a las características de un ambiente organizado y acondicionado para la vida o para desarrollar una actividad laboral, así como a las posibilidades que da a sus habitantes.²³

²² WordPress Definición de medio ambiente - Qué es, Significado y Concepto Recuperado de: ABC: <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/habitat.php#ixzz2f7axekYY>

²³ WordPress Definición de hábitat - Qué es, Significado y Concepto <http://definicion.de/habitat/#ixzz2f7ilykrs>

1.13.2. Marco Teórico:

La arquitectura bioclimática y el cambio climático

Autor: Fernando M. Tabernero Duque

El sector de la construcción, entendiendo por tal todo lo relacionado con la edificación –sin entrar en las obras públicas de infraestructuras, ya que el concepto bioclimático difícilmente se aplicaría a un túnel, un puente o una presa– consume una parte sustancial de la energía y de los recursos producidos, con lo que se convierte en una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. Si a ello se une el consumo de sectores difusos, como son el consumo doméstico y el del transporte, ambos en gran medida ligados a ese hecho edificatorio, tenemos un panorama en el que se apunta que las acciones más efectivas para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera tiene que ver con las buenas prácticas en el sector de la edificación.

La arquitectura bioclimática, que es básicamente la única arquitectura que se ha venido desarrollando por la humanidad hasta la revolución industrial, y la mayoritaria hasta bien entrado el siglo XX, puede mostrar el camino para racionalizar el sector de la construcción y sus efectos en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los pasos dados hasta el momento son tímidos, a veces contradictorios, y poco más que anecdóticos en el contexto global, pero tienen la virtud de servir como experimento y como muestra para validar.²⁴

Bioarchitettura:

Autor: Ricerca delle condizioni di applicabilità delle Fonti Energetiche Nuove e Rinnovabili sul territorio. Il modulo urbano sostenibile per piccoli insediamenti.

Il termine bioarchitettura (anche architettura sostenibile, architettura ambientale, architettura ecologica...) è un termine utilizzato per indicare l'insieme di criteri progettuali per ridurre

²⁴ Tabernero Duque, Fernando M. Real instituto el cano. Recuperado de: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/economia+internacional/ari70-2010

l'impatto (ambientale, sociale ed economico) derivante dalla trasformazione del territorio da parte dell'uomo. I criteri possono essere adottati per una vasta gamma di opere e per diverse scale d'intervento (organizzazione dell'assetto urbano di un nuovo quartiere, progettazione di un edificio, progettazione di oggetti di design,...).

Tra gli aspetti di più immediato riscontro e interesse c'è la ricerca di un più equilibrato rapporto tra zone urbane e zone "naturali", la ricerca di una corretta gestione delle risorse, siano esse naturali, come l'acqua, o energetiche e l'utilizzo di materiali naturali o a basso contenuto di sostanze nocive. Trasformare il territorio secondo i criteri sopracitati può portare ad un immediato beneficio per la comunità, misurabile sia in termini di maggiore salubrità dell'ambiente sia in termini monetari con un effettivo risparmio sui costi di gestione degli impianti (riscaldamento, condizionamento, fornitura di acqua,...). Molti sono gli studi e le ricerche attualmente in corso e che si muovono su due canali diversi. Da una parte la ricerca architettonica, che si avvale dei criteri della bioarchitettura per creare edifici in grado di dialogare con l'ambiente circostante. Dall'altra parte si trova la ricerca scientifica, che sta sviluppando strumenti per una sempre più attenta e accurata misurazione delle interazioni tra ambiente e uomo, e la ricerca tecnologica con la produzione di materiali e dispositivi innovativi e la ricerca di energie alternative.

L' Architettura spontanea:

Con il termine "architettura spontanea" si intende quella parte della scienza del costruire che ha prodotto, e spesso continua a produrre, le risposte più valide e più corrette alle esigenze abitative di ogni popolo in perfetta armonia con il proprio habitat ed i progressi della conoscenza tecnologica tipici di ogni cultura in evoluzione. L'architettura spontanea rappresenta quindi la soluzione costruttiva più adatta per una determinata popolazione e per un ben determinato luogo, da un punto di vista sociale, economico e soprattutto del controllo climatico.

L'architettura spontanea dimostra sicuramente di essere, se sottoposta ad un'oggettiva analisi del rapporto costi-prestazioni, la più corretta risposta al problema abitativo. Questo fatto potrebbe essere accreditabile a tre ragioni principali: in primo luogo per il fatto che vengono utilizzate e sfruttate al massimo le fonti energetiche naturali e quindi disponibili in misura pressoché illimitata, eventualmente compensando l'eccessiva caduta della temperatura con elementari forme di energia (calore animale o prodotto da piccoli focolari);

inoltre l'architettura low-tech si avvale dei soli materiali locali , che sono i più consoni alla cultura di ogni popolo e i più economici perché facilmente reperibili; infine queste costruzioni hanno verificato ogni soluzione all'interno di una lenta sedimentazione nel tempo delle piccole variazioni e miglorie tecnologico- unzionali, mentre come è noto l'architettura contemporanea high-tech (come del resto tutta la scienza e la cultura in genere) non è abituata a tale processo di verifica e di autocontrollo a causa della sua spesso troppo rapida evoluzione.

Traducción.

Bio-arquitectura:

Búsqueda de aplicabilidad de las condiciones de las Energías Renovables.

Territorios Nuevos y Renovables. El módulo de pequeños asentamientos urbanos sostenibles.

El término bio - arquitectura (incluye arquitectura sostenible, arquitectura ambiental, arquitectura ecológica) es un término utilizado para indicar el conjunto de criterios de diseño para reducir el impacto (ambiental, social y económico) como resultado de la transformación del territorio por parte del hombre. Los criterios pueden ser adoptados para una amplia gama de obras y para diferentes escalas de intervención (la organización asentamiento urbano de un barrio nuevo, el diseño de un edificio, objetos de diseño de ingeniería).

Entre los aspectos más inmediatos y de interés, es la búsqueda de una relación más equilibrada entre las zonas urbanas y "naturales", la búsqueda de la correcta gestión de los recursos, tanto naturales, como el agua o la energía y el uso de materiales naturales o de bajo contenido de sustancias nocivas. Transformar el territorio de acuerdo con los criterios anteriores puede dar lugar a un beneficio inmediato a la comunidad, tanto en términos de medio ambiente más saludable medible en términos de economía con un sistema de gestión de ahorro de costos efectivos (calefacción, refrigeración, abastecimiento de agua). Son muchos los estudios e investigaciones actualmente en curso y que se ejecutan en dos canales distintos. Por una parte, el estudio de arquitectura, que se basa en los criterios de diseño ecológico para crear edificios que pueden interactuar con el entorno. Por otra, está la investigación científica, que está desarrollando herramientas para una medición más cuidadosa y precisa de la interacción entre el hombre y el medio ambiente y la búsqueda

en investigación tecnológica con la producción de materiales y dispositivos de innovación y la búsqueda de energías alternativas.²⁵

Arquitectura espontánea:

El término "arquitectura espontánea", se entiende como la parte de la ciencia de la construcción que ha producido y sigue produciendo a menudo las respuestas más adecuadas y más correctas a las necesidades de vivienda de todos los pueblos en viven en perfecta armonía con su propio hábitat y los progresos del conocimiento tecnológico propio de cada cultura en la evolución. Por consiguiente, la arquitectura espontánea es la solución constructiva más adecuada para una población determinada y un lugar bien definido, desde un punto de vista social, económico y, sobre para lograr el control climático.

La arquitectura sin duda resulta ser espontánea, cuando se somete a un análisis objetivo de la relación costo - rendimiento, siendo la respuesta más correcta al problema de la vivienda. Este hecho podría atribuirse a tres razones principales: en primer lugar, al hecho de que se utilizan y explotan las fuentes naturales de energía al máximo y por lo tanto son disponibles en extensión casi ilimitada, posiblemente para compensar la excesiva caída de la temperatura con algunas formas elementales de la energía (calor de animales o producidos por pequeños hogares), así como la arquitectura de baja tecnología hace uso de sólo los materiales locales, siendo que son los más adecuados a la cultura de cada pueblo y los más baratos, ya que son fácilmente encontrados, estos edificios han probado estas soluciones en sus asentamientos que durante las pequeñas variaciones del tiempo y las diferentes mejoras tecnológicas, mientras que la arquitectura contemporánea como es bien sabido de alta tecnología (como el resto de la ciencia y la cultura en general) no es habitual a este proceso de verificación y de autocontrol debido a su frecuencia y rápida evolución .

EVALUADOR ENERGÉTICO: MÉTODO DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE VIVIENDAS.

Autor: John Martín Evans, Silvia de Schiller.

El Evaluador Energético, EE es una planilla electrónica que permite realizar una rápida verificación de la demanda de energía y el impacto ambiental de sistemas domésticos de

²⁵ Roviglioni, Valeria Bioarchitettura. Tesi di Dottorato di Ricerca in Energetica Università degli Studi di Roma Recuperado de: <http://padis.uniroma1.it/bitstream/10805/592/1/RoviglioniValeria80.pdf>

calefacción. Las hojas de la planilla corresponden a las características que influyen en la demanda: ubicación geográfica, características climáticas y grados días, forma, compacidad y características térmicas de los elementos constructivos, influencia de la exposición al sol y al viento, eficiencia de las instalaciones de calefacción y tipo de combustible y tarifa. Los resultados indican el consumo, costo anual e impacto ambiental. El método de cálculo permite aplicar el método definido en la Norma IRAM 11.604, aunque incluye factores adicionales basados en el concepto de grados días con base variable, pudiéndose ajustar todas las variables por 'default', con el fin de contemplar casos no previstos en la planilla. Se presentan resultados de la aplicación del programa en un curso de posgrado.

La energía requerida para calefacción es el rubro de mayor importancia en la demanda energética de viviendas en invierno, especialmente en climas fríos. Este factor es francamente significativo en las provincias de la región patagónica donde subsiste un elevado subsidio que representa casi el 60% del precio del gas natural. Durante el proceso de diseño, la mayoría de los proyectistas no consideran el comportamiento energético de sus proyectos o no cuentan con suficiente tiempo para realizar un balance térmico previo a la etapa de dimensionamiento del sistema de calefacción.

Adicionalmente, el costo de energía para calefacción depende de una serie de factores muy diversos, que se relacionan con la localización del proyecto, la exposición al sol y al viento, la forma edilicia, la especificación constructiva, las características de la instalación de calefacción, el combustible utilizado y la tarifa. El proyectista requiere métodos sencillos y rápidos para evaluar decisiones de diseño y comparar las ventajas de soluciones alternativas.

El proyectista requiere evaluar en forma comparativa los beneficios de una forma muy compacta o una mejor exposición al sol, con formas alargadas y mayor exposición de las ventanas al norte, o el ahorro obtenido con mayores espesores de material aislante, comparado con el beneficio de una mejor calidad de aberturas a fin de reducir infiltraciones. También conviene analizar los beneficios de una instalación de calefacción de mayor eficiencia y mayor costo comparada con una instalación de menor calidad y costo.

En el marco de los proyectos de investigación sobre el desarrollo de métodos de evaluación edilicia y evaluación de nuevas tecnologías, adicionalmente un curso de posgrado dictado por integrantes del Centro de Investigación Hábitat y Energía en la Universidad de la Patagonia Austral, se desarrolló una planilla electrónica que responde a este requerimiento. Este trabajo presenta la estructura integrada de la planilla, el método de cálculo, con énfasis en el concepto de “grados días” con base variable, la verificación de facilidad de uso y conclusiones que surgen de la aplicación de la planilla.²⁶

Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente

Autor: Enrique A. Sierra, Alejandro A. Hossian, Ramón García Martínez y Pablo D. Marino.

El rápido desarrollo de las tecnologías digitales ha contribuido a que la industria de la edificación adopte cada vez más estrategias de automatización sofisticadas para el control de las variables ambientales presentes en las diferentes partes de un edificio provisto de elevadas prestaciones desde el punto de vista tanto del confort humano como en los aspectos energético y ambiental.

Dichas estrategias de control pueden expresarse mediante reglas que podrán ser ingresadas en el motor de inferencias de un sistema experto. Las reglas de automatización presentes en este sistema permitirán una mejor integración de dispositivos y facilitará su interacción con los elementos que definen las prestaciones de un edificio inteligente. Según el paradigma distribuido vigente actualmente en automatización de edificios, el sistema experto residente en el computador de supervisión ejercerá funciones específicas de cooperación y coordinación inteligente, reservando las estrategias de control propias de cada sector del edificio a los controladores locales. Tal como se ilustra en el presente trabajo, el empleo de tecnologías basadas en sistemas inteligentes para modelar y controlar el comportamiento de los sistemas involucrados en la automatización de edificios contribuye

²⁶ John Martín Evans, Silvia de Schiller. EVALUADOR ENERGÉTICO: MÉTODO DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE VIVIENDAS. Recuperado de: <http://asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t007-a009.pdf>

a optimizar significativamente sus prestaciones en cuanto a confort, seguridad y ahorro de energía.²⁷

Investigación e impacto ambiental de los edificios. La energía.

Autor: Antonio Lecuona Neumann, Marcelo Izquierdo Millán, Pedro A. Rodríguez Aumente

Se presenta la problemática actual del uso de la energía de cara al agotamiento de las fuentes fósiles, el abastecimiento y la contaminación atmosférica de gases tóxicos, de efecto invernadero y destructores de la capa de ozono. Se comenta la relevancia de la energía en el impacto ambiental de los edificios y se discuten los distintos aspectos que inciden en la posible evolución futura del problema y en la mejor estrategia de investigación tecnológica para tratar de mejorar la eficiencia energética y medioambiental de los edificios, especialmente en España. Se presentan las tecnologías actuales de introducción de las energías renovables en los edificios y se comentan sus más relevantes características, haciendo hincapié en las barreras para su difusión. Se describe la actividad más reciente de investigación en la climatización por energía solar haciendo uso de máquina de absorción, con aplicación a Madrid.²⁸

Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual

Autor: Dr Arquitecto Flavio Celis D'Amico

Arquitectura bioclimática

El escrito trata de exponer brevemente una imagen global, aunque necesariamente generalista, de la arquitectura bioclimática: sus condiciones de partida, sus conceptos básicos y su relación con los procesos de conservación ambiental, ahorro energético y desarrollo sostenible en curso. Se pretende además ofrecer un breve desarrollo metodológico para la comprensión de la génesis de un proyecto de arquitectura bioclimática y ofrecer un panorama actual de sus últimas tendencias y proyecciones de futuro.

²⁷ Sierra Enrique A, Hossian Alejandro A. Garcia Ramon y Marino Pablo D. Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente. XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, 21 al 23 de septiembre de 2005. Recuperado de: <http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Instalaciones%20Electricas%20Industriales/Articulos%20de%20Automatismos/Control%20Inteligente.pdf>

²⁸ Neumann Antonio Lecuona, Izquierdo Millán Marcelo y Rodríguez Aumente. Pedro A. Investigación e impacto ambiental de los edificios. La energía. Mes de la construcción. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/477/55>

Hablar de arquitectura bioclimática a las puertas del nuevo milenio ya no resulta un ejercicio inusual al alcance de unos pocos iniciados. Los congresos, cursos, conferencias, publicaciones, tesis doctorales y manuales sobre el tema se extienden a todos los ámbitos académicos y profesionales, y se suceden las exposiciones y concursos con referencias explícitas a la construcción bioclimática. Se trata de un desarrollo no casual, fruto de muchos años de trabajos de investigación y de aplicaciones prácticas, que han corrido en paralelo al resto de las reflexiones realizadas desde una lógica de conservación ambiental y de desarrollo sostenible, y que han significado la reflexión sobre el progreso científico-técnico del siglo XX y su coste ecológico. Un progreso marcado por las innovaciones tecnológicas que, en el campo de la construcción, posibilitaron el acceso a una vivienda salubre a una enorme cantidad de población en un siglo que vio el mayor incremento demográfico de la historia, pero que, paralelamente, significaron un elevado coste de desgaste en recursos naturales, en contaminación ambiental y en desastres naturales inducidos por el hombre, difícilmente asumibles a largo plazo.

Es precisamente en las sociedades desarrolladas cuando, a finales de siglo y una vez resueltos los problemas más acuciantes de asentamiento de la población y garantizado su nivel de vida, se asiste a un replanteamiento general de los procesos de producción industrial, y de sus consecuencias en costes energéticos y ambientales. La construcción, como uno de los factores claves del desarrollo industrial, es uno de los primeros objetos de estudio en el campo de la adecuación ambiental, produciéndose numerosos trabajos sobre el tema, a partir, sobre todo, de las crisis energéticas de los setenta. Si en un principio los primeros trabajos realizados se dirigían exclusivamente al ahorro energético, en la actualidad el problema ha trascendido hacia el entendimiento de la arquitectura bioclimática como un proceso activo, donde el ahorro es un factor más a tener en cuenta, pero en el que la adecuación ambiental ha de entenderse como un sistema más amplio, modificador del sistema natural e interactuante con él, en todos los sentidos, desde los energéticos hasta los estéticos y funcionales.²⁹

²⁹ Celis D'Amico, Flavio. Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual. Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>

1.13.3. Marco Legal:

En Colombia la Política Nacional de Construcción Sostenible está en este momento en desarrollo. Basados en el último informe de la Arq. Diana Muñoz Neyra, Asesora Dirección de Desarrollo Urbano, Departamento Nacional de Planeación podemos decir lo siguiente en cuanto al marco legal en nuestro país.

Visión PND (Departamento Nacional de Planeación) 2010-2014:

Definir lineamientos de Política sobre Construcción Sostenible

- Acompañamiento a las entidades territoriales para el desarrollo de incentivos.
- Definición de estándares de diseño y construcción para el uso eficiente de los recursos.
- Desarrollo del Sello Ambiental Colombiano para Edificaciones.
- Implementación de hipotecas verdes.
- Buen Gobierno: convocatorias o concursos.

Avances en la formulación de la Política

Constitución Mesa de Trabajo interinstitucional / 2012:

CCCS – MVCT – MADR – Ministerio de Minas y Energía – UPME – DNP – FNA - CAMACOL – Secretaría de Ambiente Bogotá – AMVA – Universidades

Escenarios de articulación de políticas para la sostenibilidad ambiental de las edificaciones:

- Política Gestión Ambiental Urbana (MADS 2008).
- Política de Producción y Consumo Sostenible (MADS 2010).
- Política Nacional para el Cambio Climático.
- Política Nacional para la Consolidación del Sistema de Ciudades.

- Política Nacional de Drenajes Urbanos.
- Política Pública de Eco-Urbanismo y Construcción Sostenible para Bogotá D.C.
- Estrategia de vivienda y hábitat sostenible del AMVA.

Adicionalmente, se han inventariado y articulado acciones de entidades nacionales para la sostenibilidad ambiental de las edificaciones:

- Código Construcción Sostenible: IFC – MVCT – CAMACOL
- Sello Ambiental para Edificaciones: MADS – ICONTEC
- Sellos para la vivienda sustentable: FNA
- Guía bioclimática de urbanismo y vivienda: FNA
- Perfil energético de edificaciones: UPME
- Estudio de emisiones GEI en vivienda urbana: CCCS – MADS
- Reglamento técnico para vivienda, RETEVIS: UPME
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: DNP

Código Construcción Sostenible:

Objetivo: Promover la construcción sostenible en Colombia a través de un marco regulatorio adecuado, basado en estudios de línea base e impacto de la regulación, que logre una efectiva reducción del consumo de energía y agua en las nuevas edificaciones, además de promover un adecuado uso y manejo de materiales.

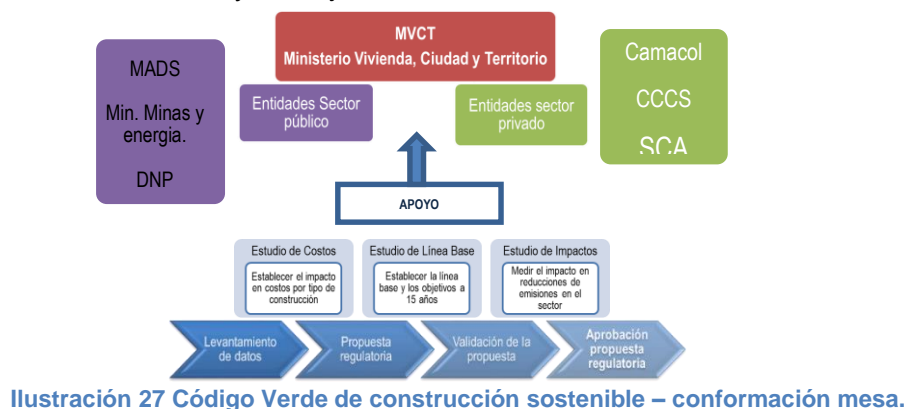


Ilustración 27 Código Verde de construcción sostenible – conformación mesa.

Sello Ambiental Colombiano: MADS – ICONTEC

Etiqueta ecológica que consiste en un distintivo o sello que se obtiene de forma voluntaria y permite diferenciar los bienes o servicios que pueden demostrar el cumplimiento de los criterios ambientales basados en su ciclo de vida.

Con este instrumento se busca brindar a los consumidores información verificable, precisa y no engañosa sobre los aspectos ambientales de los productos, estimular el mejoramiento ambiental de los procesos productivos y alentar la demanda y el suministro de productos que afecten en menor medida el medio ambiente.



Transparencia

Convivencia

Técnico

Medio Ambiente

Hogar Digital

Ilustración 28 Sellos para la vivienda sustentable: FNA

Se otorgan a los proyectos VIS y VIP que toman en cuenta recomendaciones y lineamientos del FNA en sostenibilidad económica, social y ambiental. Su propósito es mejorar las condiciones de habitabilidad, dignidad, conectividad, transparencia, medio ambiente, organización y convivencia para mayor bienestar y calidad de vida de las familias colombianas.³⁰

FONDO NACIONAL DEL AHORRO GUÍA DE ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA FNA		SELLO VERDE Medio Ambiente
		FICHA GUÍA 1*
1º. CLIMA TROPICAL CÁLIDO HÚMEDO HÚMEDO		
ALTURA	0 a 1000 metros	
TEMPERATURA MEDIA DIARIA PROMEDIO	+24 °C	
PRECIPITACIÓN ANUAL TOTAL	1000 a 3000 mm/año	
VEL. DEL VIENTO	2 a 5 m/s	
RADIACIÓN SOLAR	6.0 a 22.0 kWh/m ² /a	
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	70% a 85%	
CONTROL DE LA CALOR	Reducir temperatura 2°C	
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	Reducir % de humedad relativa con estrategias bioclimáticas	
MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	Usar de forma adecuada y apropiada conexiones clasificadas. Calcular volumen y espacio necesario para residuos.	
MITIGACIÓN DE RUIDO	Localizar adecuadamente las viviendas con respecto a vías y usos urbanos.	
OBJETIVO GENERAL: Reducir la producción de calor, evitar el exceso de calor, reducir la pérdida de radiación solar; evitar la radiación solar directa, reducir ganancias por conducción, crear confort térmico urbano y promover ventilación natural.		

Ilustración 29 Guía de urbanismo y arq. bioclimática y zonificación climática: FNA

El FNA elaboró un manual técnico del Sello Verde el cual contiene una Zonificación Climática de Colombia elaborada con información del IDEAM y una guía de urbanismo y arquitectura bioclimática para cada región climática de Colombia que será una herramienta base de los arquitectos para el desarrollo de viviendas con Sello Verde FNA.

Eficiencia Energética en Edificaciones - EEE: UPME

Determinación del consumo energético en la producción de los materiales más utilizados en la construcción.

Uso de algunos materiales no convencionales que resultan en una mayor eficiencia energética.

Auditorías energéticas en 8 edificaciones de la Administración Pública (Bogotá, Medellín, Cali, Quibdó).³¹

³⁰ Presentación realizada en el Taller 2 del Convenio entre Colombia – México – Alemania.

³¹ http://www.upme.gov.co/Docs/Informes_Gestion/GESTION_2012_FINAL.pdf



Eficiencia Energética en Edificaciones
COL 59829



Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono ECDBC: MADS, DNP

Estudio de emisiones GEI en vivienda urbana: CCCS – MADS

Corresponde al estudio que mide el potencial de mitigación de la vivienda en 3 ciudades colombianas (Bogotá, Barranquilla y Medellín).

Hace parte de la serie de investigaciones desarrolladas para los cinco sectores productivos incluidos en la formulación de la ECDBC.³²

Estudio: Estimación curva de abatimiento de gases efecto invernadero sector construcción – segmento vivienda urbana



³² <http://www.ccs.org.co/noticias-y-eventos/424-cuanto-emiten-las-viviendas-estimaciones-para-tres-ciudades-colombianas>

Reglamento Técnico de Eficiencia Energética para Vivienda de Interés Social – RETEVIS: UPME

Parte del concepto de que una vivienda es energéticamente eficiente si en su ciclo de vida hace uso racional y eficiente de la energía y si garantiza condiciones de confort para el usuario.

Su principal objeto es especificar las acciones necesarias para encaminar los procesos de VIS en el uso racional y eficiente de energía, definir parámetros, rangos, índices y métodos de cálculo y valoración de la eficiencia energética.

El RETEVIS establece el confort y los consumos energéticos como parámetros para la valoración del uso racional de energía en la producción y vida útil de la VIS, de igual forma determina requisitos a tener en cuenta desde el inicio y para cada etapa del desarrollo de un proyecto de vivienda de interés social y proporciona la metodología de cálculo para verificar resultados de eficiencia energética en un proyecto de vivienda de interés social.³³

Plan Nacional de Desarrollo - Compromisos en Cambio Climático

- Conformar el Sistema Nacional de Cambio Climático
- Identificar y priorizar medidas de adaptación al cambio climático, en el marco de un Plan Nacional de Adaptación.
- Fortalecer la generación de información para los análisis de vulnerabilidad sectorial y territorial.
- Diseñar, de la mano con los sectores y las regiones, una estrategia de desarrollo bajo en carbono.
- Identificar y valorar barreras comerciales asociadas a actividades productivas, productos y servicios con una huella de carbono alta.

Mitigación: Según el IPCC, la mitigación referida al cambio climático, es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros de carbono.

³³ http://www.minvivienda.gov.co/Vivienda/ProyectoVISyVIP/Documents/guia_asis_tec_vis_3.pdf

Adaptación: El IPCC define la adaptación como aquellas iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático.



AVANCES.

Suscripción Convenio Cooperación Triangular México – Alemania - Colombia para la eficiencia energética en edificaciones / 2012: GIZ – INFONAVIT – DNP – UPME

Intercambio de experiencias en:

- Hipoteca Verde
- Zonificación climática
- Organismos certificadores
- Metodologías de medición de ahorro

- Registro Único de Vivienda Sustentable



Estudio para el diagnóstico e identificación de lineamientos de política en construcción sostenible / 2012:

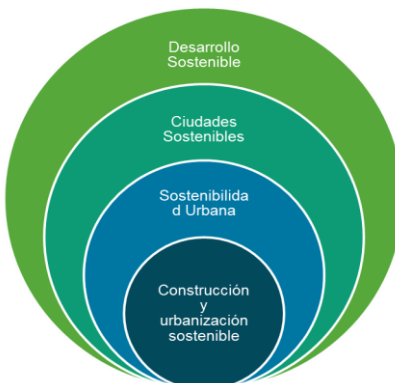
USAID – AECOM

Revisión de experiencias a nivel nacional e internacional.

Consolidación del marco conceptual para la Política.

Análisis de una experiencia exitosa en vivienda sustentable.

Elaboración de lineamientos y recomendaciones de política.



Antecedentes:

A nivel internacional se han generado consensos que han servido como base para la formulación de políticas nacionales para el desarrollo sostenible.

- Agenda 21 – Foro Mundial en Río de Janeiro 1992. Hoja de ruta internacional para el desarrollo sostenible. Capítulo 7 – Rol de los asentamientos humanos en el desarrollo sostenible.
- Agenda 21 – Agenda Hábitat 1996. Hace referencia a la responsabilidad del sector de la construcción por una cantidad substancial de consumo de recursos globales y emisiones.
- Agenda 21 sobre Construcción Sostenible. CIB (Consejo Internacional de Construcción).
- Agenda 21 sobre Construcción Sostenible para países en desarrollo_ PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

Ciudades Amables, DNP (2006)

- Desarrollo Urbano
- Vivienda
- Agua y saneamiento básico
- Transporte.

Política de Gestión Ambiental Urbana, MAVDT (2008)

- Directrices para el manejo sostenible de las áreas urbanas.
- Calidad del hábitat urbano, asegurando la sostenibilidad ambiental.
- Elementos del entorno construido.

Política de Producción y Consumo Sostenible, MAVDT (2010)

Cambio de patrones de producción y consumo hacia la sostenibilidad ambiental, competitividad y calidad de vida. ³⁴

Sector público:

Obras de infraestructura, VIS, transporte, energía, agua

Sector de la construcción: Etapas del ciclo

Justificación:

Las edificaciones son el sector con mayor potencial de mitigación de emisiones de CO₂ hacia 2030. La oportunidad del sector de la construcción frente al Cambio Climático y el Desarrollo Sostenible

Los edificios representan:

40% del consumo energético global

38% de las emisiones globales de GEI

12% del consumo de agua potable global.

Construcción en Colombia

La construcción representa 6,9% del PIB

Edificaciones: 3,2%

Infraestructura: 3,7%.

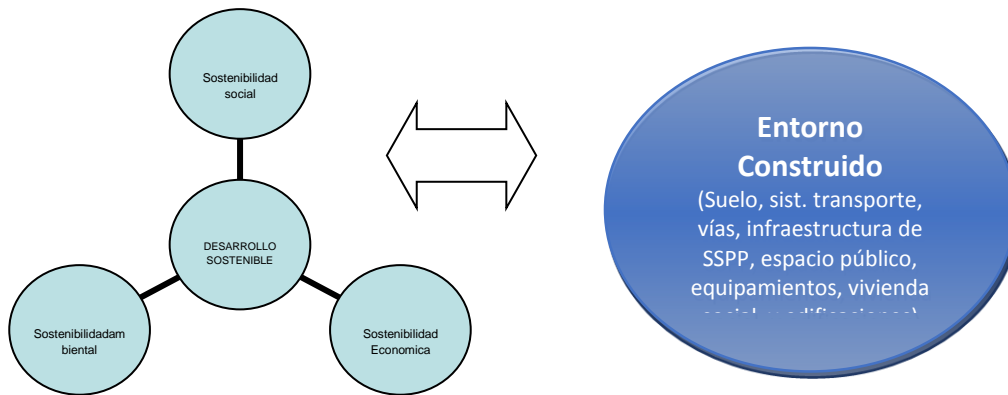
Genera 1,2 millones de empleos (5,8% del total de la mano de obra).

Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), la industria de la construcción representa uno de los sectores con mayor potencial para la reducción de GEI, utilizando bajos niveles de inversión, potencial que se concentra en su mayoría en economías de transición.³⁵

³⁴ PND 2010-2014

³⁵ PNUMA – Green Economy

Marco conceptual: se desarrolla alrededor de las relaciones entre el desarrollo sostenible y el rol que las construcciones e infraestructura juegan para alcanzar dicha condición.



El desarrollo sostenible es la actividad capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las futuras para atender sus propias necesidades (Comisión Bruntland, 1987)

El entorno construido es el entorno físico desarrollado por el hombre que provee lugar para la actividad humana en espacios públicos y privados, a través de los cuales se generan beneficios económicos, sociales y culturales y se proporcionan los entornos de trabajo y residencia (New Zealand Government, 2009).

Del desarrollo sostenible a la construcción sostenible

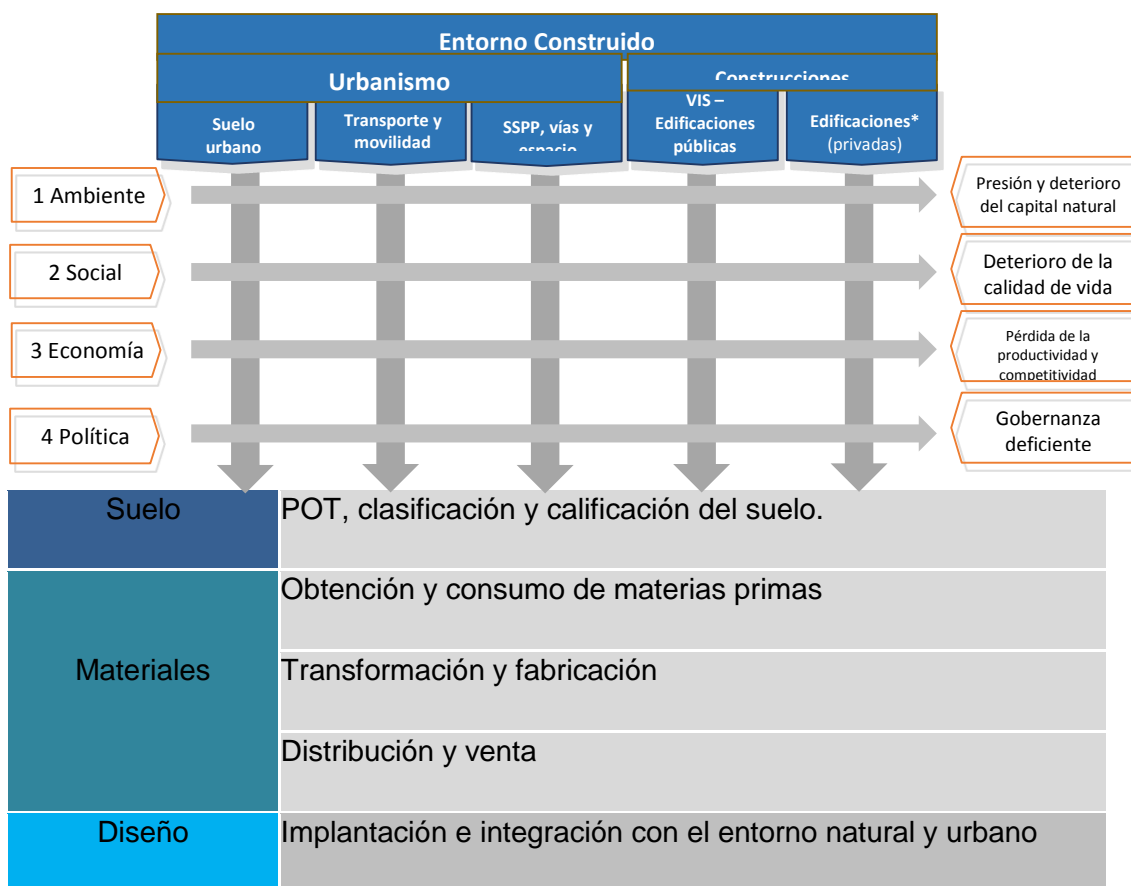
La sostenibilidad urbana: Es el proceso más amplio de construcción de los asentamientos humanos y que involucra la construcción sostenible del entorno construido y la creación de sistemas institucionales, sociales y económicos que apoyen el desarrollo sostenible, y las estrategias para la conservación y cuidado del ambiente natural. Suma de estrategias que son el “cómo” para desarrollar y construir ciudades sostenibles que contribuyan a la sostenibilidad de un país o región.

Ciudades o asentamientos humanos sostenibles: Ciudades o pueblos y sus comunidades que les permiten vivir de forma que se apoye el estado de sostenibilidad y los principios del desarrollo sostenible. Son medio y objetivo.

Metabolismo Urbano: Las ciudades deben consumir recursos naturales finitos (suelo, agua, energía y materiales) que provienen de su entorno, inmediato o no, con el fin de mantener su funcionamiento mediante los diferentes procesos metabólicos que conducen a la producción de bienes y residuos contaminantes que impactan de forma negativa los sistemas que los soportan (agua, energía, materiales, biodiversidad, calidad del aire, etc.). Políticas y gobernanza ambiental desde lo nacional hasta lo municipal.

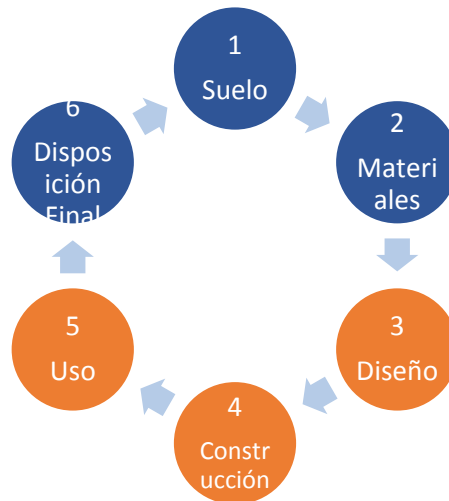
El proceso de urbanización se da en la interacción entre la construcción de los diferentes componentes del entorno construido y su relación con los componentes del metabolismo urbano durante su ciclo de vida.

La sostenibilidad y el ambiente construido³⁶

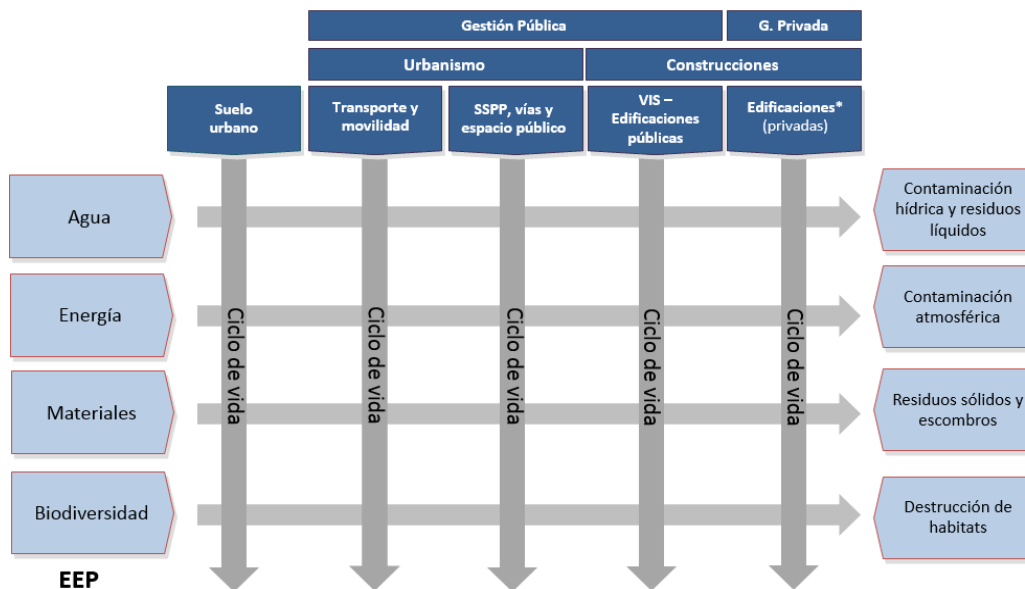


³⁶ Elaboración realizada por Diana Muñoz Neira con base en discusiones sostenidas con el DNP, Ciudades y ciudadanía - *Incluye equipamientos urbanos.

	Definición de morfología urbana y tipología de la edificación
	Definición de materiales de construcción
	Definición de infraestructura (agua, energía transporte, mobiliario) y elementos constructivos
Construcción	Transporte
	Almacenaje
	Proceso de construcción e instalación
Uso	Movilidad
	Gestión del agua
	Consumo de energía
	Gestión de la biodiversidad
	Gestión de residuos
	Mantenimiento
Disposición final	Reciclaje – Reutilización
Planificación y gobernanza	Información para la toma de decisiones -
	Política pública e instrumentos



Patrones actuales de producción y consumo durante el ciclo de vida del Ambiente Construido tienen un alto impacto en el ambiente natural. El ciclo de vida de la edificación se presenta como una oportunidad para responder de manera integral a las problemáticas actuales.

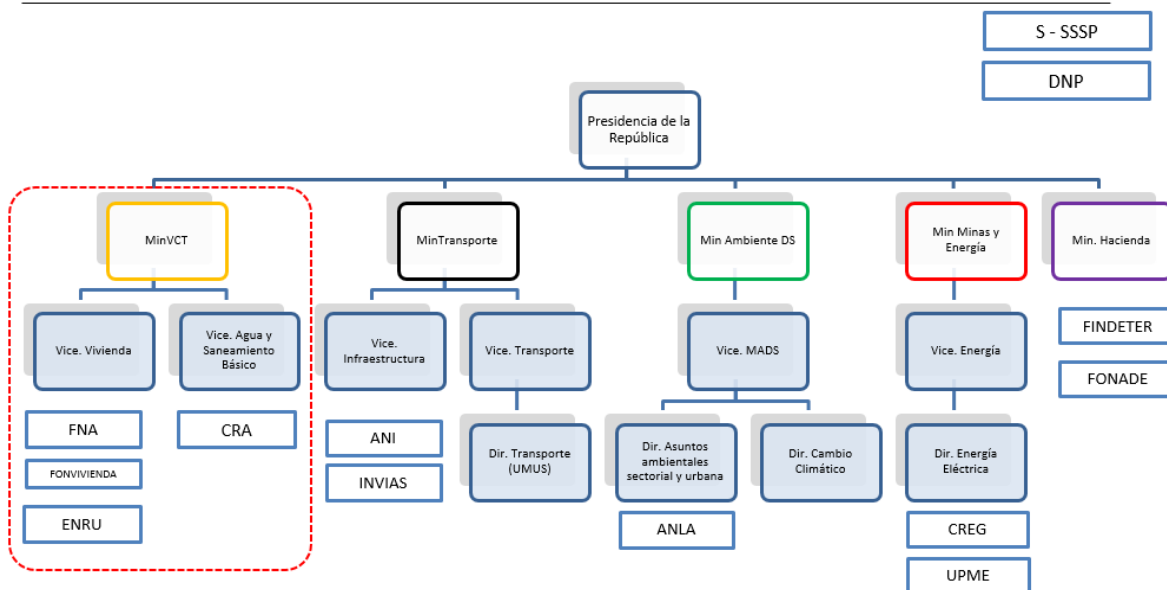


Marco Institucional: Los actores que intervienen el ambiente construido son de múltiples naturalezas. El sector público juega un papel fundamental como regulador de todas las obras de infraestructura pública en el país.

Actores involucrados - Niveles y entidades

Sector	Categoría	Nivel/ Tipo		
Sector Público	Elaboradores de política y de regulación	Nacional	Sistemas Nacionales, Ministerios, Departamentos Administrativos (DNP, DANE), ICONTEC, Congreso Nacional	
		Departamental	Corporaciones Autónomas Regionales, Asambleas departamentales	
		Municipal	Entidades territoriales, Secretarías, Entidades adscritas y vinculadas, Consejos Distritales y municipales	
	Entes ejecutores	Nacional	INVIAS, ANI, ERUN	
		Departamental	Departamentos de obras públicas	
	Entes de control	Municipal	Secretarías de obras públicas, Sociedades de economía mixta (SEM), Empresas comerciales e industriales del estado (ECIE), Establecimientos públicos (EP)	
		Nacional	Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcción Sismoresistente, CRA, CRE, Superintendencias, Procuraduría, Contraloría	
	Entes de financiación	Municipal	Curadurías Urbanas, entidades de control urbano, personería y contralorías	
		Financiadores	Findeter, FNA, FONADE	
	Sector Privado	Gremios	Urbanizadores	Camara Colombiana de Infraestructura
Constructores			Camara Colombiana de Construcción (CAMACOL), Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS)	
Productores, fabricantes y comercializadores			Cementeros, Acereros, Madereros, Concreteros	
Planeadores y diseñadores			Sociedad Colombiana de Arquitectos (SCA), Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI)	
Seguridad Industrial			Aseguradoras de Riesgos Profesionales (ARP)	
Sector financiero		Financiadores	Bancos y entidades financieras	
Empresas SSPP		Nacional	Andesco	
		Municipal	Empresas públicas, privadas o mixtas	
Sector Investigación y Educación		Gubernamental	Nacional	Ministerio de Educación, Ministerio de Cultura
			Municipal	CPNAA, COPNIA, ACFA
	Universidades (polos regionales)	Secretarías de Educación y cultura		
		Bogotá	UN, Universidad Javeriana, Universidad Piloto, Universidad de los Andes, entre otros	
		Medellín	UN, Universidad Pontificia Bolivariana	
Sector usuarios	Usuarios	Directos e indirectos	Usuarios de la cadena productiva, ONGs, Sociedad civil	
		Financiadores	Banco Mundial (IFC), Banco Interamericano de Desarrollo, Corporación Andina de Fomento (CAF)	
Sector Cooperación Internacional	Organismos multilaterales	Capacidad técnica	GIZ, Naciones Unidas (PNUMA, Hábitat), USGBC, Globe Alliance, CIB	
		Países, Ciudades aliadas	Capacidad técnica	

Marco Institucional Nacional actual para el Desarrollo Urbano

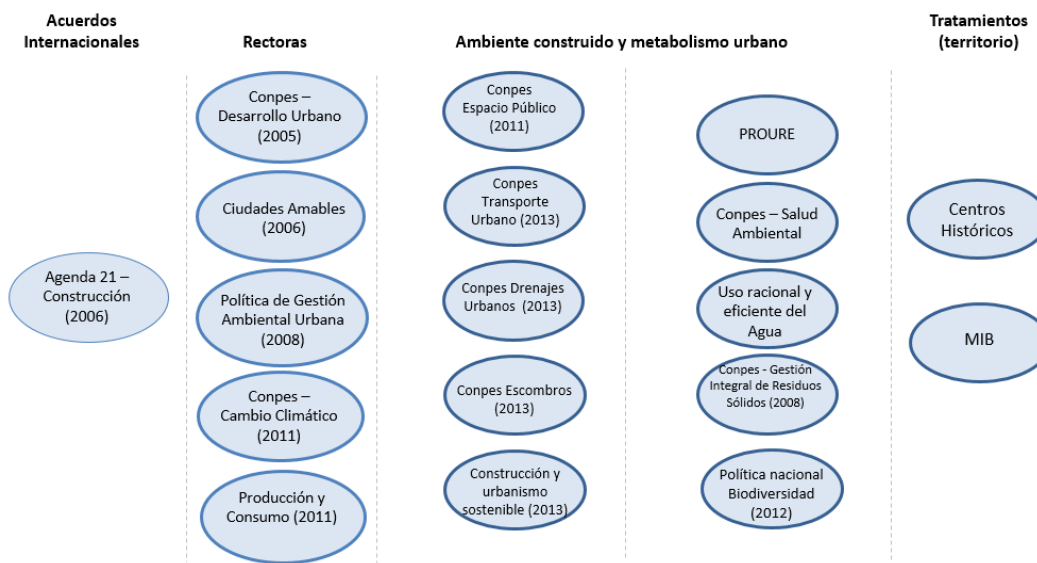


Coordinación intersectorial a nivel nacional. Esfuerzos aislados. Carencia de instancias institucionales inter-sectoriales enfocados en temas urbanos. Desde los sistemas.³⁷

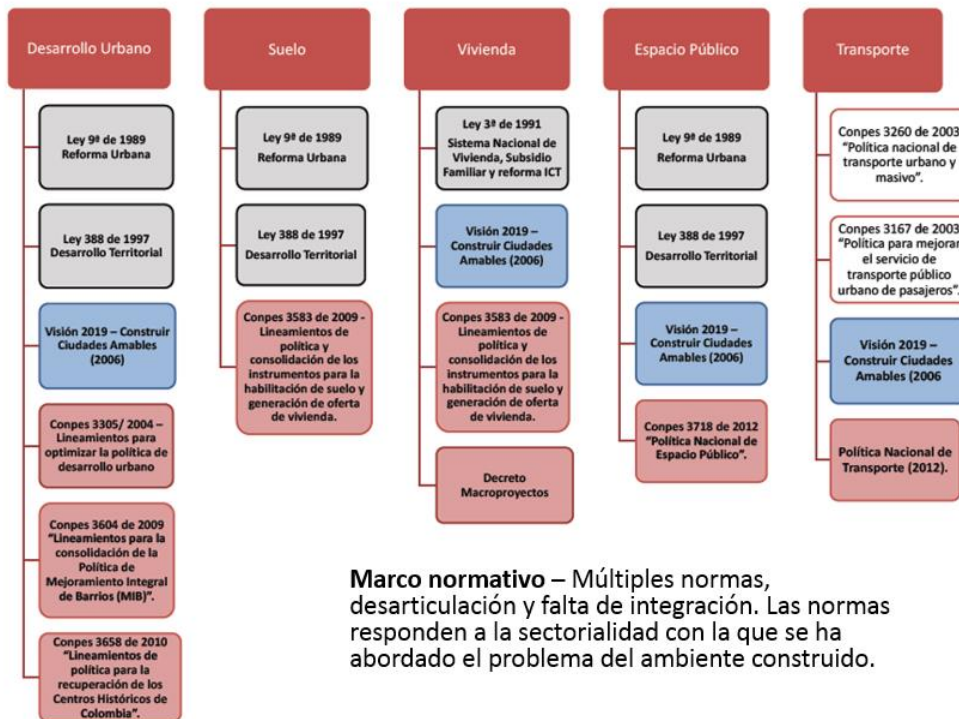
Política nacional para la sostenibilidad urbana: Falta articulación entre las políticas existentes relacionadas con la sostenibilidad. Las reglamentaciones existentes incluyen de manera incipiente criterios y patrones de sostenibilidad.

³⁷ Elaboración equipo consultoría. DNP – Construcción y Urbanismo Sostenible

Conpes – Políticas y programas nacionales

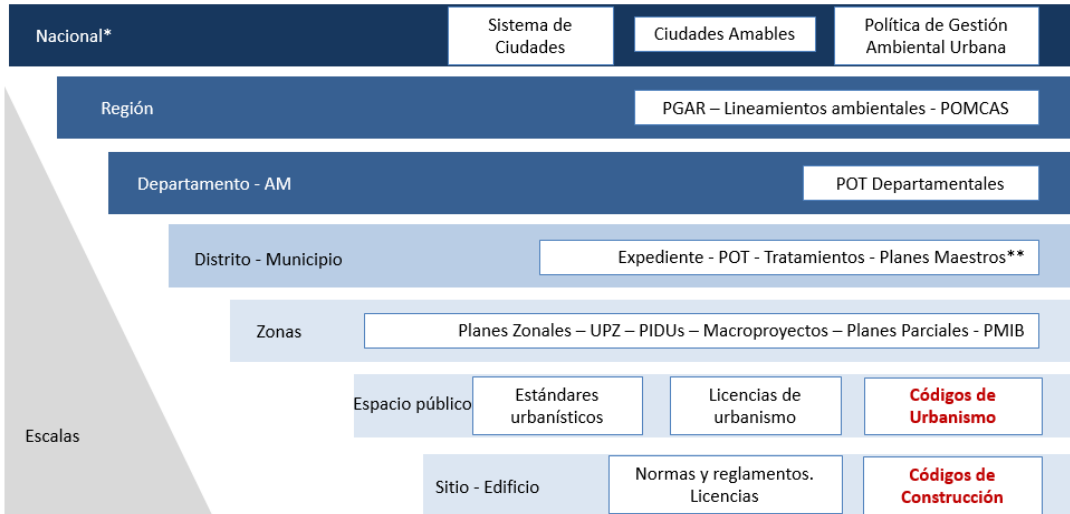


Marco normativo – Políticas territoriales relacionadas con desarrollo urbano.



Marco normativo – Múltiples normas, desarticulación y falta de integración. Las normas responden a la sectorialidad con la que se ha abordado el problema del ambiente construido.

Instrumentos de planificación, control y regulación urbana: Ausencia de criterios de sostenibilidad y de instrumentos de escala "calle", que articulen la escala del edificio con la más macro de la zona o barrio.

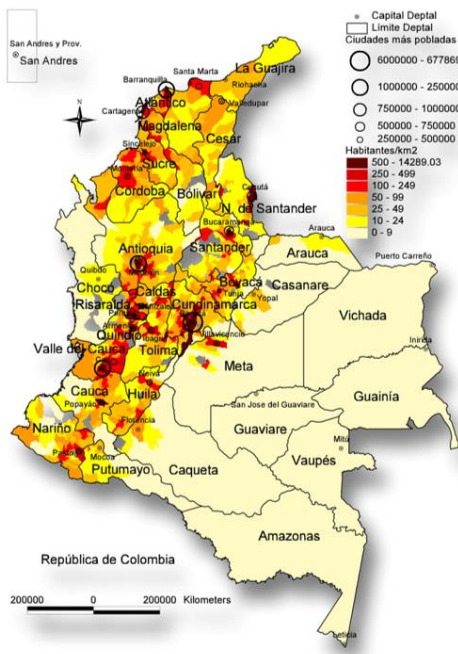


* Políticas nacionales (CONPES) rectoras ** Ciudades como Bogotá han desarrollado Planes Maestros Sectoriales

Diagnóstico general de las ciudades en Colombia

El 76% de la población vive sobre una gran red de ciudades. Es fundamental incorporar medidas y enfoques de sostenibilidad a la planeación de las ciudades y las regiones para garantizar una adecuada construcción y manejo del entorno construido.

En la actualidad se desarrolla una Política Nacional para la consolidación del sistema de ciudades. Uno de sus componentes es la sostenibilidad ambiental.



Enfoque metodológico de análisis de las problemáticas (A21 CSPD)

Institucional:

Enfoque en las estrategias y mecanismos con las que cuenta las instituciones para promover patrones de desarrollo sostenible.

- Limitada articulación de normatividad y políticas.
- Desarticulación y duplicidad institucional.
- Falta de una visión conjunta a largo plazo.
- Limitada capacidad técnica de entidades estatales.
- Limitados instrumentos financieros e incentivos.
- Falta de reglamentación y regulación para el control.
- Baja formación profesional en sostenibilidad.

Técnica:

Enfoque en los patrones, procesos, productos, equipos, modelos de información y conocimiento que afectan y guían el proceso de desarrollo del entorno construido.

- El entorno construido no se aborda como un sistema integrado.
- Limitada información sobre el sector de la construcción y su impacto en el ambiente natural.
- Bajo desarrollo y utilización de tecnologías enfocadas en la sostenibilidad ambiental.
- Prácticas durante el diseño y construcción no incorporan criterios de sostenibilidad.

Limitada investigación e innovación e intercambio

Cultural:

Enfoque en el sistema de valores y prácticas que rigen las fuerzas de oferta y demanda dentro del desarrollo del entorno construido. Sistema de valores.

- Sistema de valores y medición enfocado únicamente en valor económico del sector.
- Limitada divulgación de temas de sostenibilidad por los diferentes actores involucrados.
- Deficiente educación y desinformación sobre temas de sostenibilidad.
- Limitada inclusión de la comunidad como parte de las estrategias de planeación, diseño, construcción y operación de proyectos urbanos.

Diagnóstico y reconocimiento de problemáticas técnicas, institucionales y culturales:

Ciclo de vida	Problemáticas y barreras
Suelo	<p>Limitada información sobre el sector de la construcción y sus impactos al ambiente natural y la ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL.</p> <p>El proceso de planeación de las edificaciones en Colombia carece de un marco institucional y políticas articuladas, de instrumentos de financiación y normativos articulados.</p> <p>Sistemas de planificación y normatividad urbana enfocada en la sostenibilidad</p>
Materiales	<p>Falta introducir criterios de sostenibilidad ambiental en la producción de materiales. Incipiente desarrollo técnico e innovación, desarticulación entre guías e instrumentos normativos, falta de conocimiento y transferencia del mismo en el subsector.</p> <p>Limitado desarrollo de tecnología local con contexto climático, dependencia de tecnologías internacionales.</p> <p>Poca información sobre gasto energético e hídrico en la producción de materiales.</p> <p>Sistemas de indicadores, Certificaciones y normas técnicas. Desarrollo de capacidad (educación).</p>

Ciclo de vida	Problemáticas y barreras	
Diseño	<p>Falta incorporar criterios de diseño bioclimático que permitan en las edificaciones una adecuada gestión del agua y los residuos.</p> <p>Limitadas guías e instrumentos normativos enfocados en la construcción. Formación de profesionales limitada en temas de sostenibilidad.</p> <p>Costos de las inversiones iniciales y periodos de retorno difíciles de prever.</p>	<p>Concursos, Sistema de certificación, Códigos de construcción, Auditorías y obligaciones de desempeño, Desarrollo de capacidad (educación) y acreditación profesional.</p>
Construcción	<p>Bajo desarrollo y utilización de tecnologías locales y de innovación.</p> <p>Prácticas sin criterios de sostenibilidad ambiental.</p> <p>Falta de una masa crítica de empresas ha resultado en esfuerzos muy aislados.</p>	<p>Concursos, Sistema de certificación, Códigos de construcción. Descuentos para la compra de equipos eficientes. Incentivos fiscales para el uso de materiales eficientes.</p>
Ciclo de vida	Problemáticas y barreras	
Uso y operación	<p>Limitada capacidad de las familias de pagar por inversiones en la sostenibilidad.</p> <p>Falta de suficiente información y comprensión por parte de los usuarios a tomar decisiones racionales de consumo y la inversión.</p> <p>Percepción que medidas de eficiencia energética y sostenibilidad hacen edificios más caros.</p> <p>Limitado conocimiento sobre eco-tecnología aplicable a hogares.</p> <p>Código de Policía presenta limitados contenidos sobre vigilancia ambiental de las edificaciones.</p> <p>Falta de incentivos económicos a usuarios finales.</p>	<p>Auditorías de eficiencia, Nuevas tecnologías de medición, Sistema tarifario asociado al consumo. Deducción de impuestos prediales. Contratación sobre desempeño energético (ESCO). Hipotecas verdes.</p>
Disposición final	<p>Alta informalidad. Limitada regulación.</p> <p>Deficiencias en el manejo de escombros y desperdicios de la construcción. Falta de cultura de reciclaje. Desconocimiento de tecnologías para el procesamiento de los residuos de la construcción.</p>	<p>Planeación y regulación para la disposición y el reciclaje. Incentivos financieros. Sistemas de certificación.</p>

Estructura del documento de política pública: Marco Lógico.



Problema Central

Entorno construido insostenible. Los criterios y patrones de planificación, producción y consumo de las construcciones no promueven su sostenibilidad.

Efecto General

Agotamiento de los recursos naturales, crecimiento insostenible de las ciudades y deterioro de la calidad de vida de los habitantes.

Causas de primer nivel

Los criterios técnicos empleados durante el ciclo de vida de la construcción no promueven prácticas de producción y consumo que garanticen la sostenibilidad en sus tres dimensiones.

Los hábitos y sistema de valores de productores y consumidores de la construcción no incorporan una conciencia real sobre los impactos o beneficios que en el ciclo de vida de la construcción se genera o podrían generar sobre el ambiente natural y el desarrollo económico y social.

Existe desarticulación, fragmentación y limitaciones institucionales para incorporar criterios y patrones de planificación, producción y consumo de las construcciones, que promuevan su sostenibilidad.

Vision sugerida:

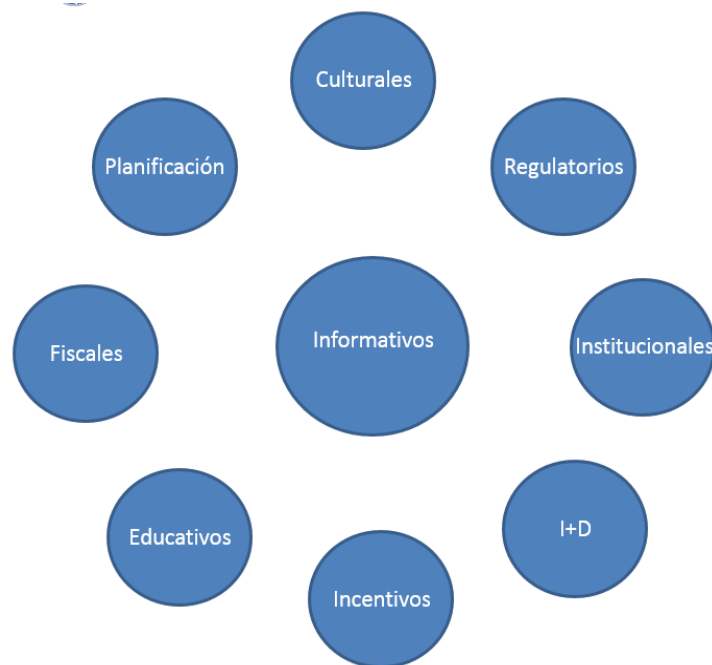
Contribuir a la construcción de ciudades más amables a través de un cambio en los patrones de ocupación, producción y consumo del entorno construido.

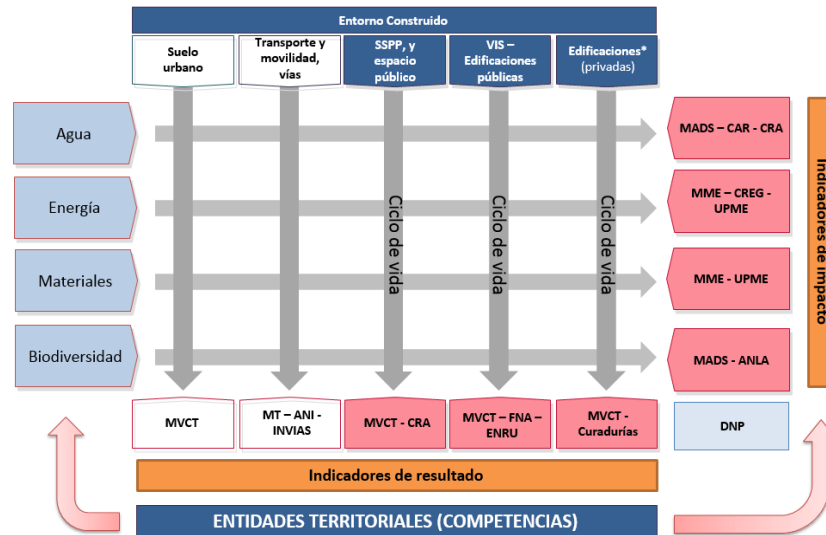
Objetivo general

Orientar un cambio en los patrones de producción y consumo de los agentes urbanizadores, constructores y los usuarios finales en Colombia, hacia la adaptación y mitigación al cambio climático y la sostenibilidad ambiental urbana, contribuyendo a la competitividad del sector y al bienestar de los agentes involucrados en la construcción y de la población colombiana.

Lineas de acción:

Que deberán intentar desarrollarse para las diferentes etapas del ciclo de la construcción y que deberán tener en cuenta los avances ya obtenidos por las diferentes entidades que adelantan iniciativas a nivel nacional y local.





Opciones de política pública: enfocados en la eficiencia energética y en la reducción de gases efecto invernadero. Atención y desarrollo de instrumentos enfocados en eficiencia y racionalización en el uso del agua.

Instrumentos de política

Regulatorios e informativos

- Estándares para aplicaciones y equipos
- Códigos de construcción o edificación.
- Regulaciones de formulación, contratación y compra (sector público).
- Certificados de eficiencia energética e hídrica
- Auditoría obligatoria de eficiencia energética (comissioning)
- Creación de línea base y metas de desempeño
- Certificados o sellos – Sistemas de indicadores enlazados a instrumentos financieros

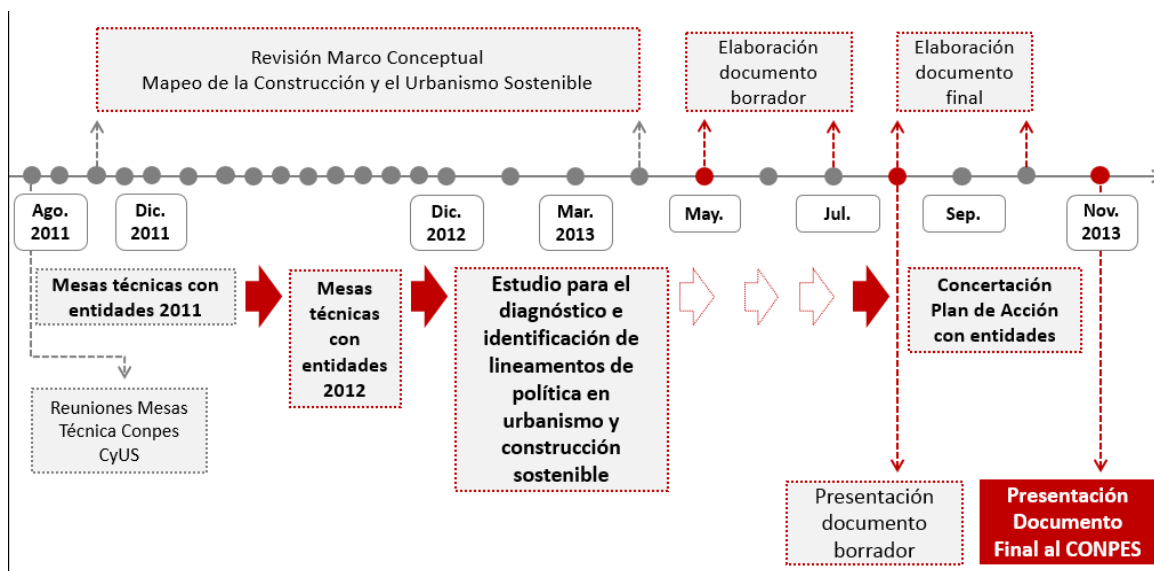
Económicos

- Contratación basada sobre el desempeño energético e hídrico
- Contratación tecnológica
- Certificados de eficiencia energética “blancos”
- Mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto (CDM, Implementación compartida, NAMAs)
- Políticas para incrementar las energías renovables en el mercado.

<p>Fiscales e incentivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de impuestos o exenciones • Subsidios, créditos, donaciones, descuentos • Incentivos fiscales para la compra de equipos eficientes energéticamente • Hipotecas verdes
<p>Culturales – Conciencia – I+D</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concursos • Divulgación de desempeño • Campañas de concientización • Programas educativos – Desarrollo de capacidad • Marcos consultivos • Proyectos de liderazgo público (Edificios públicos)
<p>SSPP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorros en consumo • Fondos de utilidad pública • Financiación tarifaria enlazada a desempeño energético e hídrico • Sistemas avanzados de medición

Conpes Política Nacional de Urbanismo y Construcción Sostenible

Cronograma para la construcción de la política.³⁸



También nos basaremos en el tipo de certificado LEED, ya que en los edificios se logra reducción entre el 30% y el 70% de energía de uno convencional, del 30% al 50% de

³⁸ Diana Muñoz Neyra, Asesora Dirección de Desarrollo Urbano. Departamento Nacional de Planeación

agua, entre el 50% y el 90% del costo de los residuos, y el 35% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Los edificios LEED ofrecen, según el USGBC, entornos más saludables que mejoran la calidad de vida y la productividad. Estos expertos han elaborado una larga lista de beneficios tras la aplicación de este certificado, como la mejora de la calidad del aire y del agua o la reducción de los desechos sólidos.

Los costos de construcción y diseño suelen incrementarse con este certificado. Un edificio con nivel plata puede aumentar su presupuesto total en más de un 1,8%. Entre las razones de este sobrecosto, el USGBC indica que los constructores y diseñadores no suelen dominar las técnicas sostenibles, por lo que necesitan tiempo y esfuerzo para assimilarlas. Otro problema común es la falta de materiales y equipamientos específicos necesarios. El proceso de calificación LEED supone, además, un gasto en si mismo.

Pero el esfuerzo inicial merece la pena. Los miembros del USGBC aseguran que el ahorro que supone amortiza los gastos a partir del tercer año, sin olvidar las mejoras en la calidad de vida. En algunos casos, afirman, el costo ha sido similar al de un inmueble convencional. A medida que estos sistemas de construcción ecológica se generalicen, razonan estos expertos, sus costos se reducirán.

Evalúa el grado de sostenibilidad de un inmueble a través de ocho criterios principales: innovación y proceso de diseño, localidad y conexiones con el transporte, sostenibilidad, eficiencia en el aprovechamiento del agua, energía e impacto atmosférico, materiales y recursos empleados e calidad del ambiente interior.

En virtud de la calificación obtenida, el edificio se encuadra en uno de los cuatro niveles LEED: desde el certificado básico, que se consigue con la mínima puntuación, hasta llegar al nivel de plata, oro y platino, la máxima calificación.

LEED certified – entre 40 y 49 puntos

LEED silver – entre 50 y 59 puntos

LEED gold – entre 60 y 79 puntos

LEED platinum – entre 80 y 110 puntos

Sostenibilidad del sitio (26 puntos)

- Prevenir la polución de la actividad de obra.
- Selección del sitio.
- Densidad edilicia y cercanía a los servicios.
- Recuperación y recualificación de los sitios contaminados.
- Trasportes alternativos: acceso a los transportes públicos.
- Trasportes alternativos: portabicicletas y vestuarios.
- Trasportes alternativos: vehículos a baja emisión y a carburante alternativo.
- Trasportes alternativos: capacidad del área de aparcamiento.
- Desarrollo del sitio: proteger y restablecer el hábitat.
- Desarrollo del sitio: maximizar los espacios abiertos.
- Agua lluvia: control de la cantidad.
- Agua lluvia: control de la calidad.
- Efecto isla de calor: superficies externas.
- Efecto isla de calor: cubiertas.
- Reducción de la polución luminosa.

Energía y atmosfera (35 puntos)

- Commissioning de los sistemas energéticos del edificio.
- Prestaciones energéticas mínimas.
- Gestión de los fluidos refrigerantes.
- Optimización de las prestaciones energéticas.
- Producción en sitio de energías renovables.
- Energía verde.

Materiales y recursos (14 puntos)

- Recogida y almacenamiento de los materiales reciclables.
- Reutilizo de los edificios: mantenimiento de las mamposterías, techos y cubiertas existentes.
- Reutilizo de los edificios: mantenimiento del 50% de los elementos internos no estructurales.

Gestión de los desechos de la obra.

Reutilizo de los materiales.

Contenido de reciclado.

Uso de los materiales regionales.

Gestión del agua (10 puntos)

Reducción del uso del agua.

Gestión eficiente de las aguas para regadío Tecnología innovadora para las aguas refluentes.

Calidad ambiental interna (14 puntos)

Control ambiental del humo.

Vigilancia de la portada del aire de recirculo.

Incremento de la ventilación.

Plan de gestión IAQ: fase de construcción.

Plan de gestión IAQ: antes de la ocupación.

Uso de los materiales bajo emisivos: adhesivos, sellantes, materiales en base de cemento, acabados para madera, pinturas, pisos, productos en madera compuesta y fibras vegetales.

Control de las fuentes químicas y de la polución interna.

Control y gestión de las instalaciones: iluminación, confort térmico, proyecto, verifica.

Luz natural: luz natural por el 75% de los espacios Visibilidad: visibilidad externa por el 90% de los espacios.

Prioridades regionales (4 puntos)


Otros puntos se logran de otra forma, por ejemplo usar el acero en estructura, el tipo de paramento, materiales livianos, reciclaje, tipo de instalaciones hidráulicas, etcétera.

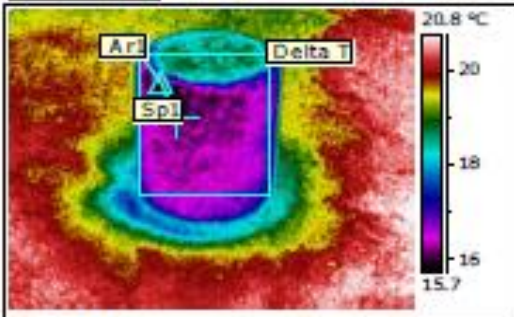
2. Proceso de Laboratorio.

Se harán las respectivas pruebas a los cuatro elementos en un espacio abierto donde se encuentra el estado atmosférico de Bogotá, ya que estarán los elementos expuestos al medio natural, en este estudio exactamente ubicado en el centro de la ciudad, en la universidad la Gran Colombia. Dentro del campus universitario se encontró un patio donde se expondrán los elementos en un tiempo de dos semanas cada uno. Se medirán los diferentes elementos en 3 tomas a diferentes horas del día. La primera toma se realiza a las 9 am, la segunda toma se realiza a la 1 pm y la tercera toma se realiza a las 5 pm, durante los días de la semana, específicamente de lunes a sábado. Se miden 3 variables que nos llevan a las conclusiones que buscamos, estas variables son: temperatura, presión atmosférica y humedad relativa.

PREPARACION PARA LA EXPERIMENTACION	
II FASE DEL PROYECTO INVESTIGATIVO	
TERMODINAMICA & FORMA	
FACULTAD DE ARQUITECTURA	
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES	
UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA	
MADERA	DOS SEMANAS
CORCHO	DOS SEMANAS
CONCRETO	DOS SEMANAS
ARCILLA	DOS SEMANAS

TOMA 1	09:00:00
TOMA 2	13:00:00
TOMA 3	17:00:00
12 MEDICIONES DIARIAS	
60 MEDICIONES SEMANALES	
120 MEDICIONES POR SOLIDO	
TOTAL	480 MEDICIONES

	Termodinámica & Forma Proyecto Investigación de Grado Facultad de Arquitectura	Día 10 Corcho
---	--	-------------------------

Termografía**Fotografía**

Delta T Value	2.9 °C
Date	24/04/2014
Image Time	09:51:44 a.m.
File name	corcho cilindro 11.jpg
Max. Temperature	21.1 °C
Min. Temperature	15.6 °C
Image Camera Type	FLIR E40
Emissivity	0.70
Object Distance	1.0 m
Reflected Temperature	13.0 °C
Atmospheric Temperature	13.0 °C
Atmospheric transmission	0.99
Relative Humidity	88.0 %
Reference Temperature	20.00
Arl Average Temperature	16.7 °C

Location	Bogotá
Equipment	Corcho
Toma	1
Forma	Cilindro
Presión Atmosférica	1031 hPa
Velocidad del viento	6 Km/h

Ilustración 30. Formato datos análisis elementos. Por toma y hora

Temperatura media Días de analisis										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
Temperatura	16,62	14,28	16,62	15,28	16,62	15,62	15,98	15,20	16,98	18,22
horas	Temperatura									
9	17	14	15	15	15	16	16	13	18	16
13	18	16	18	17	18	17	17	15	17	18
17	15	13	17	14	17	14	15	18	16	21

Ilustración 31 Cuadro de anotaciones diarias de temperatura.

2.1. Lugar de estudio: Bogotá.

Datos para la ciudad de Bogotá. La Posición Geográfica de Santa Fe de Bogotá es la siguiente:

Coordenadas Geográficas:

- Latitud Norte 4°35'56"57 Longitud Oeste de Greenwich 74°04'51"30.

Coordenadas planas:

1. metros norte 1.000.000 metros este.

El Distrito Capital cubre un área de 1.587 Kms² y el Departamento al cual pertenece, Cundinamarca, cubre 22.246 Kms²; además, Bogotá se halla ubicada a una altura sobre el nivel del mar de 2.630 metros, mientras que el cerro de Monserrate está a 3.190 metros y el de Guadalupe a 3.316 metros.

Datos de variables atmosféricas para Bogotá:

- Temperatura media anual: 14.0° C
- Temperatura máxima media anual: 19.9° C
- Temperatura mínima media anual: 8.2° C
- Temperatura mínima absoluta: 5.2° C
- Precipitación media anual: 1.013 mm.
- Presión atmosférica: 752 milibares.
- Humedad relativa media anual: 72%

En la ciudad se presenta escasa lluvia en enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre; y lluvias fuertes en marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre. Sin embargo, se presentan variaciones en estos períodos de lluvia debido a los fenómenos climatológicos ocurridos en los últimos tiempos.³⁹

³⁹ Datos tomados de: <http://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas/>

2.2. Definiciones de términos.

2.2.1 Clima.

El clima de acuerdo a la definición de la Organización Meteorológica Mundial “OMM”, es “el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por las evoluciones del estado del tiempo, durante un período de tiempo y un lugar o región dados, el cual está controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera)⁴⁰

2.2.2. Análisis Espacial.

Para comprender la distribución de la temperatura con respecto a la elevación, se encontró una gráfica que muestra el gradiente para esta variable.

“La temperatura con la elevación disminuye normalmente con un gradiente teórico de 6,5 °C/kilómetro. Para el caso del área de estudio (Bogotá), se obtuvo un gradiente aprox. de 6.5 °C/700 metros, el cual es superior al teórico.⁴¹”

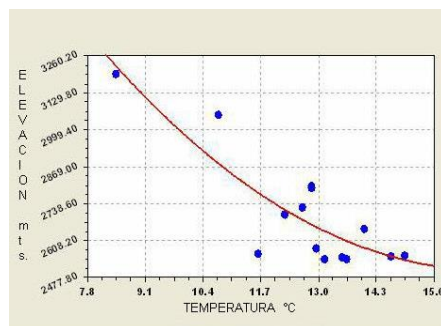


Ilustración 32 Comportamiento distribución de la temp. vs Elevación, Bogotá.

⁴⁰ Retallack, B. J. Compendio Apuntes para Formación Personal Meteorológico. Clase IV. OMM. NO286.

⁴¹ Fuente: Programa “Curve Expert Sift”

La distribución espacial de la temperatura media del aire en la zona de estudio (mapa N° 2), tiene una configuración alargada en sentido sur - norte, con diversos gradientes horizontales que van desde menor a mayor, tal como se puede apreciar a lo largo del sector oriental y el sur del área. Los gradientes más pronunciados son consecuencia de la incidencia del sistema montañoso, con temperaturas medias de 12 °C en una cota de 2650 msnm y 6°C en 3600 msnm, sobre las divisorias de aguas.

Se aprecian gradientes menores en la parte plana, con temperaturas en aumento desde los diferentes contornos de la zona hasta alcanzar un núcleo alargado en dirección noreste - suroeste, con registros de temperatura entre los 15 y 16°C en el sector central del área urbana, formando de esta manera un área de mayor temperatura en la ciudad de Bogotá.

Esto delimita la “Isla de Calor”, presente en las grandes ciudades, debido a la incidencia de las emisiones de calor antropogénicas de gases, efecto de invernadero, producido por fuentes móviles, como se muestra en la ilustración N.º31. El fenómeno de la Isla de Calor se define como: “el exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica”⁴², e indica que las ciudades son, en general, más cálidas que su periferia. La forma e intensidad de este fenómeno varía con el tiempo y el espacio, siendo un resultado de las características meteorológicas, geográficas y urbanas.

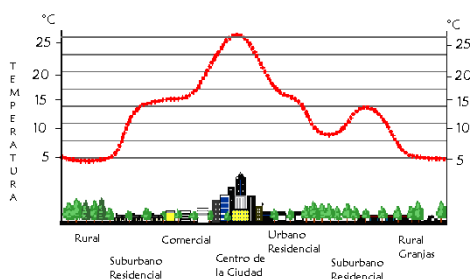


Ilustración 33 Perfil de un efecto de Isla del Calor Urbano.

⁴² Capella de Steffens, Isla de Calor. Santiago de Chile, 1997.

La transformación del medio natural por la acción de sus habitantes alcanza su máxima expresión en las ciudades en este caso Bogotá, donde se ve la afección en modo especial las condiciones climáticas. En la medida que las edificaciones y vías de circulación se desarrollan y avanzan hacia áreas periféricas, modifican el paisaje natural y con ello introducen y se dan variaciones en los parámetros meteorológicos. La atmósfera urbana contiene gran cantidad y variedad de partículas en suspensión, muchas de ellas contaminantes; las primeras determinan aumento de la temperatura debido a su capacidad de absorción de calor, mientras que las partículas contaminantes pueden llegar a producir afectaciones en la calidad de vida de sus habitantes.

2.2.3. Brillo solar.

La cantidad de insolación que se recibe en un área cualquiera es uno de los factores más importantes en la determinación de la caracterización climática de cualquier zona. La distribución de los valores de insolación o brillo solar están relacionadas en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación en una región.

2.2.4. Diagrama de trayectoria solar para Bogotá.

La proyección de la trayectoria del sol sobre el plano horizontal es llamada “Diagrama de Trayectoria Solar”, mostrado en la Ilustración 33, la cual se utiliza como aplicación en diferentes aspectos de carácter técnico-científico, biológico y además para el mejoramiento del hábitat y confort climático.

El Diagrama de Trayectoria para Bogotá, permite conocer la geometría solar para la ciudad, a fin de aprovechar al máximo las condiciones locales y la distribución del

elemento, al igual que sus trayectorias en las diferentes épocas del año y sus ángulos acimutales y de altitud sobre la ciudad.

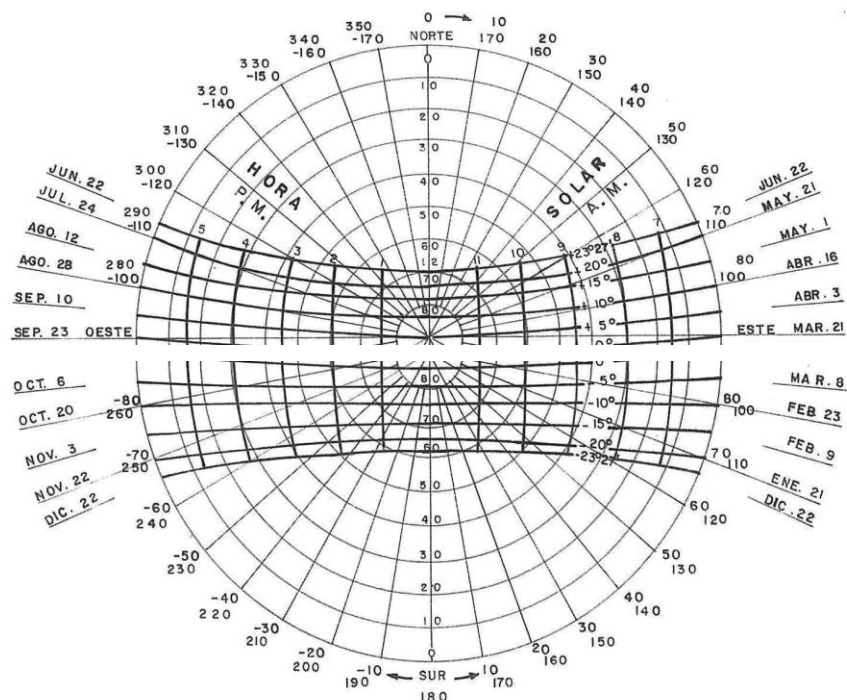


Ilustración 34 Diagrama de Trayectoria del sol, Altitud y Acimut para Bogotá. Fuente: Geometría Solar y Trayectorias del Sol en Colombia. Himat – Bogotá.

2.2.5. Vientos

El viento es el movimiento del aire cuya intensidad está sujeta a variaciones, tanto en período como en amplitud, debido a que no es laminar. El viento sobre la Tierra es un flujo turbulento, que comprende remolinos de tamaños diversos y parámetros físicos que se desplazan con el flujo. La orografía de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento. Esta estructura del flujo del aire se manifiesta a través de la llamada “rafagosidad” del viento, o sea fluctuaciones de los parámetros del viento de superficie.

La dirección del viento es determinada por la trayectoria media que hace el aire en su movimiento y en general, está dada por el punto correspondiente de donde fluye

la corriente de viento y no de aquel, hacia el cual se dirige. Las distintas direcciones del viento están referidas en la Rosa de los Vientos, la cual señala los diferentes puntos cardinales que van desde 4 hasta 16 direcciones. La velocidad del viento se determina por el espacio recorrido por las partículas de aire que el flujo del aire impulsa en su movimiento, o también por la presión que el viento ejerce sobre un obstáculo dado, se expresa en metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h), nudos, millas /hora.

Debido a la posición geográfica de Colombia, localizada en la zona Tropical, se encuentra influenciada por los vientos Alisios, los cuales soplan de direcciones Noreste en el hemisferio norte y Sureste en el hemisferio sur; sin embargo y debido a la cercanía sobre el Ecuador Geográfico, el campo del viento debido a estas dos corrientes provenientes de los dos hemisferios tienden a quedar paralelas al confluir y van debilitándose dejando en su límite común una región en donde la atmósfera está poco agitada, la cual se conoce con el nombre de Calmas Ecuatoriales.

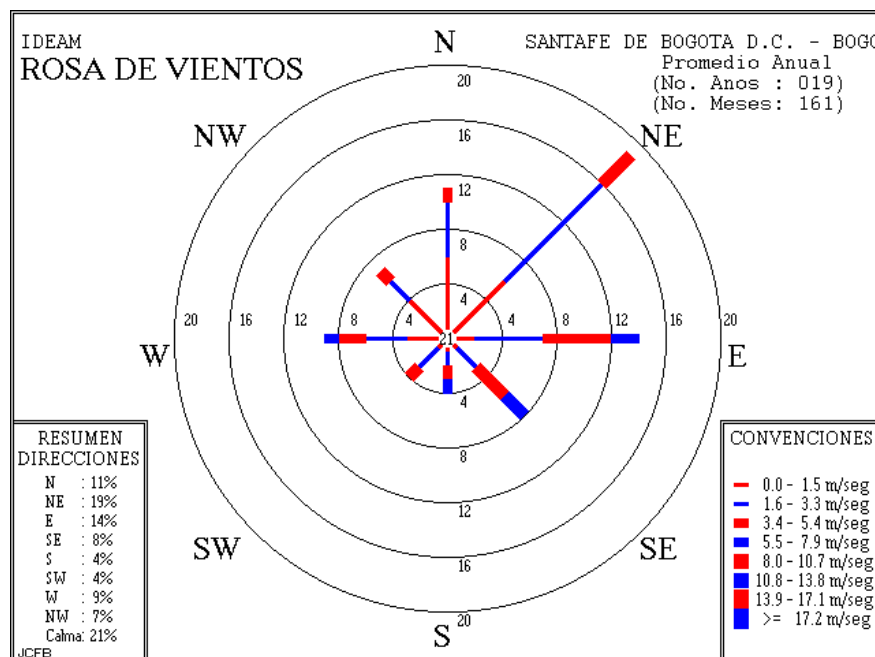


Ilustración 35 Rosa de los vientos Bogotá. Fuente: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

2.3. Factores a tener en cuenta para la investigación.

2.3.1. Humedad.

El vapor de agua es uno de los componentes de la atmósfera de la Tierra. La humedad es un elemento meteorológico que tiene una relación estrecha con la componente en la estabilidad atmosférica y por consiguiente con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una zona o porción terrestre.

El comportamiento temporal de la humedad presenta valores medios mayores en los meses de lluvias altas como son: abril, mayo, octubre y noviembre; en tanto, que las menores se presentan en los meses relativamente secos o de bajas lluvias como: enero, febrero, julio y agosto. En los demás meses la humedad fluctúa mucho dado que son meses de transición donde hay presencia de masas húmedas y secas.

En general, la humedad no tiene fuertes variaciones en sus valores medios debido al alto contenido que normalmente se presenta en la zona tropical.

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire. La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de vapor de saturación.

$$\text{Relative Humidity} = \frac{\text{actual vapor density}}{\text{saturation vapor density}} \times 100\%$$

G VAPOR AGUA SAT. DENSITY = presión de saturación (Generalmente dada en una tabla en función de la temperatura)

Presión de Vapor Saturado, Densidad del Agua							
Temp (°C)	Temp (°F)	Saturated Vapor Pressure (mmHg)	Saturated Vapor Density (gm/m ³)	Temp (°C)	Temp (°F)	Saturated Vapor Pressure (mmHg)	Saturated Vapor Density (gm/m ³)
-10	14	2,15	2,36	40	104	55,3	51,1
0	32	4,58	4,85	60	140	149,4	130,5
5	41	6,54	6,8	80	176	355,1	293,8
10	50	9,21	9,4	95	203	634	505
11	51,8	9,84	10,01	96	205	658	523
12	53,6	10,52	10,66	97	207	682	541
13	55,4	11,23	11,35	98	208	707	560
14	57,2	11,99	12,07	99	210	733	579
15	59	12,79	12,83	100	212	760	598
20	68	17,54	17,3	101	214	788	618
25	77	23,76	23	110	230	1074,6	...
30	86	31,8	30,4	120	248	1489	...
37	98,6	47,07	44	200	392	11659	7840

Ilustración 36 presión de vapor saturado, densidad del agua.

La humedad relativa se mide con la estación metereologica PCE-FWS 20.

2.3.2. Temperatura.

La temperatura es un parámetro del estado térmico de la materia. El valor de éste, depende de la energía cinética media de las moléculas. La medida de temperatura se hace posible debido a la transferencia de calor entre cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media. Esta variable se determina como una magnitud física, que caracteriza el movimiento aleatorio medio y presenta una variabilidad en función de la elevación.

Otra definición más simple “es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como «energía cinética», que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida de que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que éste se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor.

En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido⁴³.

La temperatura es una propiedad física que se refiere a la noción común de calor o ausencia de mismo, pero su significado en termodinámica es más complejo, el calor o el frío percibido por las personas tiene más que ver con la sensación térmica que con la temperatura real. La temperatura es una propiedad de los sistemas físicos a nivel macroscópico, la cual tiene una causa a nivel microscópico, que es la energía promedio por la partícula. Por ello en la investigación realizamos el análisis del material y la forma en una de sus formas más básicas, (sólidos Euclidianos) y no a nivel molecular. Al contrario de otras cantidades termodinámicas como el calor o la entropía, cuyas definiciones microscópicas son válidas muy lejos del equilibrio térmico, la temperatura sólo puede ser medida en el equilibrio, precisamente porque se define como un promedio.

La temperatura está íntimamente relacionada con la energía interna y con la entalpía de un sistema: a mayor temperatura mayor será la energía interna y la entalpía del sistema.

La temperatura es una propiedad intensiva, es decir, no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia, ni del material del que este compuesto.

El concepto de equilibrio térmico nos enseña que si dos partes de un sistema entran en contacto térmico es probable que ocurran cambios en las propiedades de ambas. Estos cambios se deben a la transferencia de calor entre las partes. Para que un sistema esté en equilibrio térmico debe llegar al punto en que ya no hay intercambio neto de calor entre sus partes, además ninguna de las propiedades que dependen de la temperatura debe variar.

La definición de temperatura se puede obtener de la Ley cero de la termodinámica, que establece que si dos sistemas A y B están en equilibrio térmico, con un tercer sistema C, entonces los sistemas A y B estarán en equilibrio térmico entre sí. Este es un hecho empírico más que un resultado teórico. Ya que tanto los sistemas A, B, y C están todos en equilibrio térmico, es razonable decir que comparten un valor común de alguna propiedad física. Llamamos a esta propiedad temperatura.

⁴³ Fuente: Wikipedia

La segunda ley de la termodinámica, dice que la entropía de todos los sistemas, o bien permanece igual o bien aumenta con el tiempo, esto se aplica al Universo entero como sistema termodinámico. La entropía es una medida del desorden que hay en un sistema.

	Kelvin	Grado Celsius	Grado Fahrenheit	Rankine	Grado Réaumur	Grado Rémer	Grado Newton	Grado Delisle
Kelvin	$K = K$	$K = C + 273,15$	$K = (F + 459,67) \frac{5}{9}$	$K = Ra \frac{5}{9}$	$K = Re \frac{5}{4} + 273,15$	$K = (Ro - 7,5) \frac{40}{21} + 273,15$	$K = N \frac{100}{33} + 273,15$	$K = 373,15 - De \frac{2}{3}$
Grado Celsius	$C = K - 273,15$	$C = C$	$C = (F - 32) \frac{5}{9}$	$C = (Ra - 491,67) \frac{5}{9}$	$C = Re \frac{5}{4}$	$C = (Ro - 7,5) \frac{40}{21}$	$C = N \frac{100}{33}$	$C = 100 - De \frac{2}{3}$
Grado Fahrenheit	$F = K \frac{9}{5} - 459,67$	$F = C \frac{9}{5} + 32$	$F = F$	$F = Ra - 459,67$	$F = Re \frac{9}{4} + 32$	$F = (Ro - 7,5) \frac{24}{7} + 32$	$F = N \frac{60}{11} + 32$	$F = 121 - De \frac{6}{5}$
Rankine	$Ra = K \frac{9}{5}$	$Ra = (C + 273,15) \frac{9}{5}$	$Ra = F + 459,67$	$Ra = Ra$	$Ra = Re \frac{9}{4} + 491,67$	$Ra = (Ro - 7,5) \frac{24}{7} + 491,67$	$Ra = N \frac{60}{11} + 491,67$	$Ra = 171,67 - De \frac{6}{5}$
Grado Réaumur	$Re = (K - 273,15) \frac{4}{5}$	$Re = C \frac{4}{5}$	$Re = (F - 32) \frac{4}{9}$	$Re = (Ra - 491,67) \frac{4}{9}$	$Re = Re$	$Re = (Ro - 7,5) \frac{32}{21}$	$Re = N \frac{80}{33}$	$Re = 80 - De \frac{5}{6}$
Grado Rémer	$Ro = (K - 273,15) \frac{21}{40} + 7,5$	$Ro = C \frac{21}{40} + 7,5$	$Ro = (F - 32) \frac{7}{24} + 7,5$	$Ro = Ra - 491,67 \frac{7}{24} + 7,5$	$Ro = Re \frac{21}{32} + 7,5$	$Ro = Ro$	$Ro = N \frac{35}{22} + 7,5$	$Ro = 60 - De \frac{7}{20}$
Grado Newton	$N = (K - 273,15) \frac{33}{100}$	$N = C \frac{33}{100}$	$N = (F - 32) \frac{11}{60}$	$N = (Ra - 491,67) \frac{11}{60}$	$N = Re \frac{33}{80}$	$N = (Ro - 7,5) \frac{22}{35}$	$N = N$	$N = 33 - De \frac{11}{50}$
Grado Delisle	$De = (373,15 - K) \frac{3}{2}$	$De = (100 - C) \frac{3}{2}$	$De = (121 - F) \frac{5}{6}$	$De = (580,67 - Ra) \frac{5}{6}$	$De = (80 - Re) \frac{6}{5}$	$De = (60 - Ro) \frac{20}{7}$	$De = (33 - N) \frac{50}{11}$	$De = De$

Ilustración 37 Cuadro de conversión de temperaturas.

La medición de la temperatura se realiza por medio de la cámara termográfica de marca Flir E 40. Cámara Termográfica con Resolución IR 160 x 120 y Cámara Visual de 3.1MP.

2.3.3. Presión Atmosférica.

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre un área. La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire ρ en función de la altitud z o de la presión p . Por ello, no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre.

La temperatura como la presión del aire varían continuamente, en una escala temporal como espacial, dificultando el cálculo. Podemos obtener una medida de la presión atmosférica en un lugar determinado pero es la variación de dicha presión a lo largo del tiempo lo que nos permite obtener una información útil que, unida a otros datos meteorológicos (temperatura atmosférica, humedad y vientos) nos da una imagen bastante acertada del tiempo atmosférico en dicho lugar e incluso un pronóstico a corto plazo del mismo.

La presión atmosférica en un lugar experimenta variaciones asociadas con los cambios meteorológicos. La presión atmosférica disminuye con la altitud. Esta decrece a razón de 1 mmHg o Torr por cada 10 m de elevación en los niveles próximos al del mar. También varía según la latitud. La menor presión atmosférica al nivel del mar se alcanza en las latitudes ecuatoriales. Ello se debe al abombamiento ecuatorial de la Tierra: la litósfera está abultada en el ecuador terrestre, mientras que la hidrósfera está aún más abultada por lo que las costas de la zona ecuatorial se encuentran varios km más alejadas del centro de la Tierra que en las zonas templadas y, especialmente, en las zonas polares.

Debido a su menor densidad, la atmósfera está mucho más abultada en el ecuador terrestre que la hidrósfera, por lo que su espesor es mucho mayor que el que tiene en las zonas templadas y polares. Es por ello que la zona ecuatorial es el dominio permanente de bajas presiones atmosféricas por razones dinámicas derivadas de la rotación terrestre. Y es por ello que la temperatura atmosférica disminuye un grado por cada 154 m de altitud, mientras que en la zona intertropical esta cifra alcanza unos 180 m de altitud.

La altura modifica tanto la temperatura como la presión atmosféricas al modificarse la densidad del aire. El aire se calienta en contacto con la superficie terrestre, tanto en la parte sólida como en la superficie de los océanos y mares. Al calentarse el aire se eleva porque disminuye de densidad y por lo tanto, de presión y asciende hasta equilibrarse la temperatura de la columna ascendente del aire con su entorno a un nivel superior.

La comprensión de este proceso es mucho más compleja, ya que las variaciones de la presión no varían exclusivamente con la altura sino con otros factores como son la mayor o menor humedad y con la latitud, que modifica sustancialmente el mayor o menor espesor de la atmósfera por razones dinámicas:

Este espesor es máximo en la zona ecuatorial debido a la fuerza centrífuga de la rotación terrestre en dicha zona y, por ende, menor en los polos.

Formula de la presión atmosférica.

$$P_a = \rho gh$$

P: es la densidad del mercurio

$$\rho = 13550 \text{ kg/m}^3$$

g es la aceleración de la gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

h es la altura de la columna de mercurio

$$h = 0.76 \text{ m al nivel del mar}$$

En las mediciones que se realizan en el proyecto se tienen en cuenta esta serie de variables, las cuales nos dan unos resultados específicos y al hacer el cotejo tenemos la conclusión y la seguridad de cuál de estos elementos analizados y en que material, es el que mejor equilibrio energético tiene en el desarrollo del ecosistema de Bogotá.

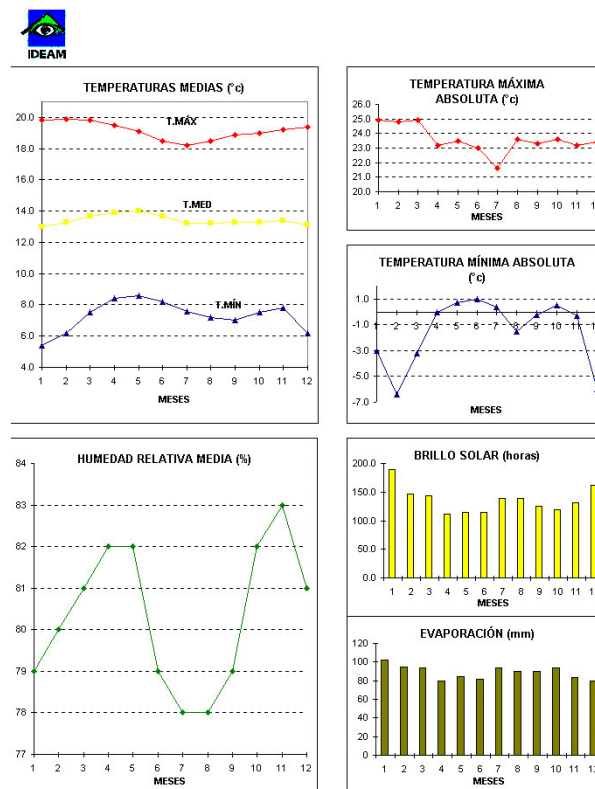


Ilustración 38 Carta Climatológica medias mensuales para la ciudad de Bogotá. Fuente: IDEAM

<http://www.meteo aeronautica.gov.co/jsp/1674>

2.4. Materiales de estudio

2.4.1. Madera

La madera es un material ortótropo, con distinta elasticidad según la dirección de deformación, encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año, formando anillos, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina.

Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para distintas finalidades y distintas áreas:

Fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel, alimentar el fuego, menaje: vajillas, cuberterías, ingeniería, construcción y carpintería, en medicina, medios de transporte.

Cedro (Puerto Asis)

(*Cedrela odorata*)

FAMILIA MELIACEAE, NOMBRE COMÚN: Cedro.

TAMBIEN LLAMADA: cedro Real- Cedar spanish, Tabasco Cedar; Cedro Amargo, Red Cedar; Cedro Colorado. Sinónimos: Culche (Maya), Culche (México), Cedro colorado (El Salvador), Cedro real (Nicaragua), Cedro amargo, Cedro blanco, Cedro Cóbano (Costa Rica), Cedro Puerto Asis (Colombia).

NOMBRE CIENTÍFICO: *Cedrela odorata* L. Sinónimos: *Cedrela angustifolia* Mocino & Sesse ex DC., *C. brounii* Loef. ex D. Kize, *C. fissilis* Vellozo, *C. guianensis* A. Juss, *C. longipes* Blake, *C. mexicana* Roem, *C. mexicana* var. *puberula* DC, *C. occidentalis* DC. & Rose, *C. sinteisi* C. DC, *C. velloziana* Roem, *C. yucatanica* Blake, *Surcubus brounii* (Loefl. ex O. Ltz.) Ktze.

El nombre genérico fue establecido por Patrick Browne en 1756 en una publicación bajo el título de *Civil and Natural History of Jamaica*, en donde se hace una descripción sobre las

particularidades de este género. Cedrela y sus demás especies se considera como una de las maderas comerciales y preciosas más importantes de América Latina en especial C. Odorata⁴⁴.

2.4.2. Concreto

El hormigón o concreto es un material compuesto, empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla.

2.4.3. Arcilla.

La arcilla es un suelo o roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

⁴⁴ (Aguilar Cumes, 1992)

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos.

2.4.4. Corcho

El corcho es un producto natural de propiedades maravillosas y aunque no es muy conocido, es utilizado hace muchos años por los hombres para aislar, sellar y proteger. Ningún material artificial actualmente está probado en el tiempo como el corcho en sus diversas aplicaciones. Este material milenario es utilizado en la construcción desde hace varios años en Europa como un material bio compatible.

El corcho se obtiene de la corteza del alcornoque (*Quercus suber*). Es un producto natural, muy apreciado desde la antigüedad. Es un árbol de crecimiento lento y uniforme, autóctono de la zona mediterránea occidental, zona atlántica, el norte de África y parte norte de la Mediterránea Oriental como Cataluña, Francia e Italia. Logra alturas de unos 10 metros y su vida productiva es de unos 150-200 años. Hasta que el árbol no tiene unos 30-40 años no se puede sacar la corteza. Se debe esperar entre 9 y 10 años a las zonas del sur mencionadas anteriormente y entre 12 y 14 años a las zonas del norte para las extracciones o sacas sucesivas. Es a la segunda extracción que la corteza se puede utilizar para la producción de tapones.

2.4.5. Propiedades térmicas de los materiales de análisis.

Basados en la medida de los sólidos analizados, (cilindro, cono, cubo y esfera) presentamos el siguiente cuadro donde se especifican las variables más importantes de análisis en el campo de materiales constructivos y la termodinámica.

Medida de los objetos 0,15 cm

PROPIEDADES TERMICAS DE LOS MATERIALES DE ANALISIS.								
	En física y química, la densidad (símbolo ρ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. (ρ) $\rho = \frac{m}{V}$	El calor específico es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad. (C)	La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor de una sustancia es transportado desde las regiones de alta temperatura a las regiones de baja temperatura. La capacidad de un material para transferir calor. $\lambda = \frac{\dot{q}}{ \nabla T }$	La Difusividad térmica en los problemas de transferencia de calor, es valor obtenido de la conductividad térmica de un cierto material dividido entre el producto del valor de su densidad y la capacidad calorífica específica del mismo. $\alpha = \frac{\kappa}{\rho c_p}$	La capacidad calorífica es una propiedad que indica la "habilidad" de un material para absorber calor de su entorno; representa la cantidad de energía necesaria para producir un aumento unitario de la temperatura. $C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{Q}{\Delta T}$	Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a una diferencia de temperatura con su entorno. $e = \frac{\text{radiación emitida por una superficie}}{\text{radiación emitida si fuera un cuerpo negro}}$	La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. $R = \frac{e}{\lambda}$	La conductancia térmica C , es una medida de transferencia de calor a través de los materiales, formados por una o varias capas, y en condiciones de laboratorio. $C = \frac{\lambda}{e} = \frac{1}{R}$
MATERIAL (0,15 cm)	DENSIDAD (ρ)	CALOR ESPECIFICO (C)	CONDUCTIVIDAD TERMICA	DIFUSIVIDAD TERMICA	CAPACIDAD CALORIFICA	EMISIVIDAD	RESISTENCIA TERMICA	CONDUCTANCIA
MADERA	530	1,381	0,13	0,112	0,83	0,9	1,15	0,87
CONCRETO	2200	837	0,8	0,761	2,52	0,94	0,19	5,33
ARCILLA	2100	879	0,93	0,261	1,47	0,54	0,16	6,20
CORCHO	200	1,46	0,04	0,16	0,29	0,7	3,75	0,27

2.4.6. Propiedades físicas de los elementos analizados.

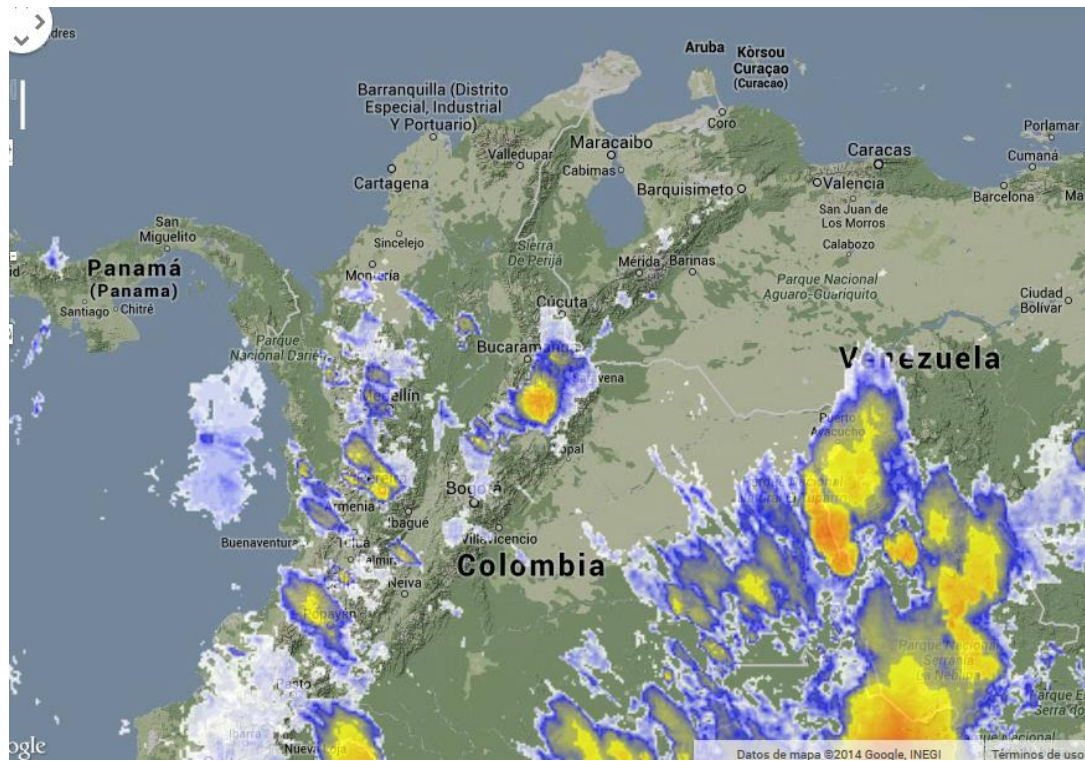
	Propiedades Físicas
CORCHO	<ul style="list-style-type: none"> Levedad: la densidad del corcho está entre 0,12 y 0,25. Cuanto más baja es mayor es la calidad del corcho. Impermeabilidad: El corcho es casi impermeable gracias a la suberina y la cera que contiene, aunque se trata de una impermeabilidad no absoluta ya que deja fluir lentamente el gas debido al contenido gaseoso de las células. Adherencia: Posee un alto coeficiente de fricción atribuido al hecho de que el corcho en contacto con una superficie lisa presenta un gran

	<p>número de ventosas constituidas por las cavidades de las células (lenticelas) que se encuentran en la superficie cortada del corcho.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compresibilidad y elasticidad: El corcho es el único cuerpo sólido que tiene la propiedad de ser comprimido sin dilatación lateral. Además, recupera hasta el 85% de su volumen inicial 24 horas después de haber sido sometido a una presión; esto hace que la resistencia al desgaste sea también más alta. Ambas propiedades varían en función de la hidratación del corcho y de su temperatura, los cuales dependen a su vez, de la forma de las células, el espesor de las paredes celulares y a la composición de las mismas.
Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto fresco: Trabajabilidad, homogeneidad, asentamiento y sangrado. • Concreto edurecido: Densidad, compacidad y contracción. • Granulometría: En los tratamientos superficiales simples lo ideal es que las partículas sean monogranulares (partículas de dimensión única), porque ofrecen una cobertura uniforme, fijación adecuada, distribución de cargas adecuada y facilidad de dosificación. • Forma: La forma de las partículas está determinada por: Naturaleza de la roca. Proceso de trituración: regularidad en la alimentación. Coeficiente de reducción en el proceso de trituración. Tipos y características principales: Redondeadas: menor rozamiento interno, mayor tasa de ligante, escurrimientos. Laminares: facilidad de dislocamiento/fragmentación, sobre posición. Cúbicas: drenaje superficial deficiente, mayor riesgo de exudación. Poliédricas (ideales): Condiciones de fijación superiores, rozamiento interno elevado, mayor resistencia a la fragmentación, rugosidad (profundidad de textura) adecuada, drenaje superficial apropiado, dosificación fácil. • Angularidad: Por lo menos debe tener dos caras fracturadas. Cuando se trituran cantos rodados se debe elegir tamaños que cumplan la relación: $\frac{\text{Dimensión máx. del canto}}{\text{Dimensión máx. del agregado}} > 4$ • Dureza: Esta característica es muy importante, se debe controlar mediante el Ensayo de Abrasión de Los Ángeles. Las especificaciones

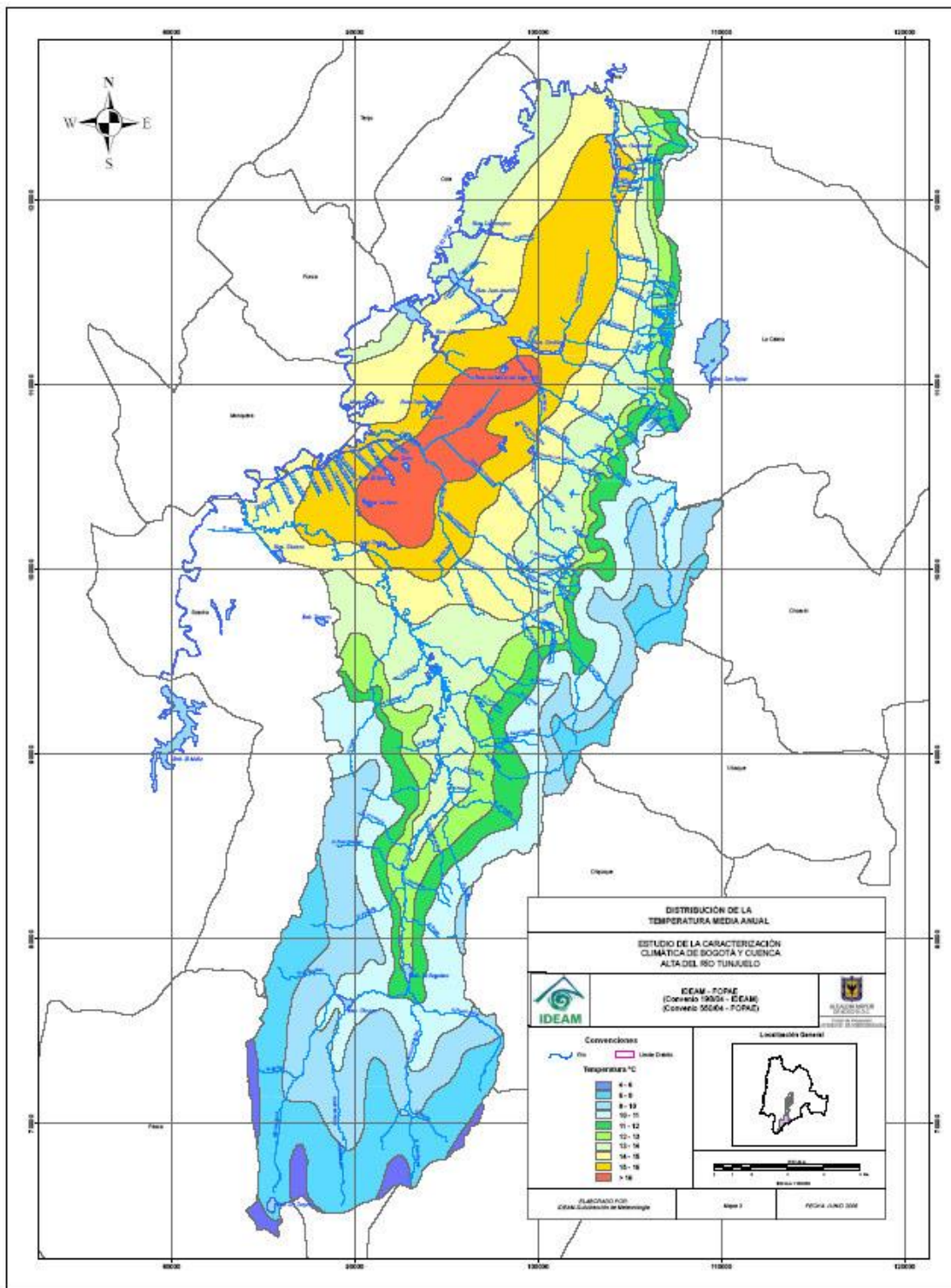
	<p>para construcción de carreteras establecen que el desgaste no debe ser mayor a 40 %. Los agregados deben ser de piedra triturada, cascajo o guijarros rodados triturados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porosidad: Una pequeña porosidad es beneficiosa, porque permite una penetración apropiada del ligante, lo cual aumenta la resistencia al desprendimiento de la película de ligante bajo la acción del agua. • Limpieza: Es necesario controlar la limpieza de los agregados, para garantizar la adherencia entre las partículas del agregado y el ligante bituminoso, por lo cual las partículas pétreas deben estar exentas de polvo, materia orgánica o cualquier sustancia perjudicial.
Madera	<ul style="list-style-type: none"> • Hendilidad: es la facilidad que tiene la madera de hendirse o partirse en el sentido de las fibras • Dureza o resistencial al corte: la dureza depende casi siempre de la cohesión de las fibras y de su estructura, y consiste en la mayor o menor dificultad puesta por la madera a la penetración de otros cuerpos como clavos, tornillos; o a ser trabajada con el cepillo, la sierra o el formón. • Flexibilidad: es la propiedad que tienen algunas maderas de poderse doblar o ser curvadas en sentido de su longitud, sin romperse. • Facilidad del pulido: - Plasticidad: es la propiedad que tienen algunos cuerpos de dejarse moldear. Es muy relativa en la madera, y se obtiene aprovechando el poder de compresión de las fibras. • Densidad: es la relación que existe entre su peso y su volumen. • Porosidad: es la propiedad que poseen los cuerpos de tener entre sus moléculas unos espacios vacíos, llamadas poros. La superficie cepillada de las maderas se presenta en algunas especies, unida y compacta; y en otras, porosa. • Higroscopicidad: la madera es notablemente higroscópica, es decir, que absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente en que esté situada. • Retractividad o contracción: la madera conserva normalmente de un 15 a un 20% de agua. Por evaporación, las células disminuyen de volumen, y la madera experimenta contracción. • Hinchazón: es la propiedad que tiene la madera de absorber, a través de los vasos, la humedad atmosférica. La absorción del agua o de la humedad origina un aumento de volumen, o hinchazón de las fibras leñosas. • Homogeneidad: una madera es homogénea, cuando su estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes. • Color: cambia de una especie a otra. • Veteado: depende de los dibujos que las fibras presentan al exterior. • Olor: el olor puede servir para diferenciar las diversas especies de madera- • Conductibilidad: la madera seca es mala conductora del calor y de la electricidad, pero la húmeda se hace conductora. La conductibilidad es mayor en el sentido longitudinal de sus fibras. • Duración: varía mucho, no sólo según la especie, la forma de apeo, de secado, etc., sino principalmente según el medio ambiente y condiciones de la puesta en obra.
Arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • Plasticidad: Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura

	<p>del grano (cuanto más pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa así como una cantidad adecuada de materia orgánica.</p> <ul style="list-style-type: none">• Merma: Debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.• Refractariedad: Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.• Porosidad: El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.• Color: Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico.
--	--

3. Mapas



Mapa 1. canalclima.com/satelites/imagen-satelital-de-colombia/



Mapa 2. Distribución de la temperatura media anual de Bogotá.

4. Conclusiones y recomendaciones.

4.1. Conclusiones Marco Histórico.

Una y otra vez, la escasez de combustible en algún tiempo o lugar ha estimulado la búsqueda de alternativas energéticas, espoleando los avances de la arquitectura y la técnica solar. Pero esta misma energía es tildada de antieconómica y desdeñosamente marginada cada vez que se descubría una nueva fuente de combustible abundante.

La cuestión del abastecimiento de combustible en la actualidad nos recuerda a la situación vivida en la Grecia y Roma antiguas. Mientras que los combustibles convencionales siguen agotándose y encareciéndose sólo relativamente, las alternativas parecen limitadas. Todas las nuevas técnicas (extracción de petróleo de arena o de esquistos bituminosos, la producción de fuel-oil sintético, la energía nuclear), presentan numerosos problemas ecológicos (e incluso económicos).

El Sol es, sin embargo, una fuente probada de energía capaz de satisfacer indefinidamente a muchas de nuestras necesidades energéticas, de hecho a todas, si pudiéramos o supiéramos adaptar nuestras necesidades a los recursos disponibles en nuestro rededor. Resulta asombroso el hecho de que la más eficiente de las técnicas solares, la arquitectura solar pasiva, haya sido redescubierta innumerables veces, para volver a ser olvidada.

El Sol podría ser la fuente energética práctica y abundante de la que dependiera la civilización el día en que se agoten los actuales suministros de combustibles fósiles. Y

quizás nos encontremos en el umbral de una perdurable y estable era solar. La historia ofrece numerosas lecciones que facilitarían esa quizá deseable transición a una nueva era.

Lo cierto es que los navíos romanos navegando por el Mediterráneo en busca de leña han sido sustituidos por los petroleros rumbo al Golfo Árabe; su objetivo es el mismo. Mientras tanto el Sol todavía nos calienta, aun cuando los bosques del Norte de África desaparecieron hace largo tiempo. Y seguirá calentando a las generaciones futuras después de que los pozos de gas y petróleo se hayan vaciado, y sea lo que sea de nuestra actual civilización.

Por ello lo más reseñable de esta historia reside en aquellas características que propiciaron que los seres humanos se interesaran, fabricaran y emplearan técnicas solares y aquellas otras que propiciaron lo contrario.

Entre las primeras pueden enumerarse algunas: la autonomía individual, el uso local, el interés por el conocimiento. Entre las últimas sólo encontramos una: una particular visión económica del mundo, que utiliza la moneda como vara universal de medida.

Estas características favorables y desfavorables al desarrollo de técnicas autónomas y sostenibles no son exclusivas de la arquitectura solar. Por el contrario, la historia de muchas soluciones o problemas arquitectónicos e ingenieriles conducen a conclusiones similares.

La búsqueda de nuevas claves de comprensión ha ido surgiendo en muy diversas áreas de conocimiento, según los ideales de la Revolución Industrial se han mostrado incapaces de explicar el devenir histórico, de entender como técnicas eficientes se veían sustituidas por técnicas problemáticas (pero económicamente rentables para algunas partes del planeta).

Esta búsqueda de nuevas claves exige salir fuera del marco estrictamente arquitectónico, dando sentido nuevo a palabras tópicas como "interdisciplinar" adjetivo muchas veces empleado, pero vacío también de más contenido que el de mezclar distintos titulados en las portadas de los trabajos. Esta "salida hacia fuera" cuadra también con la vocación generalista, de la arquitectura. Quizá tras realizarla, podamos encontrar respuestas detalladas a estos sucesivos pasos atrás de técnicas eficientes, tal y como la técnica solar.

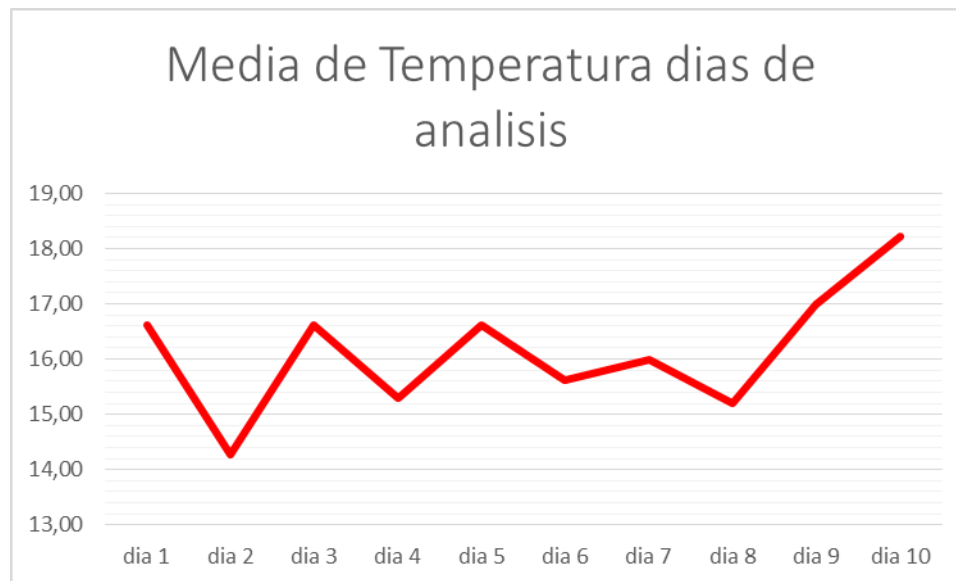
4.2 Conclusiones de las pruebas de laboratorio.

Tabla de los días de análisis, con sus 3 tomas respectivas. Temperatura en ° Celsius.

horas	Temperatura									
9	17	14	15	15	15	16	16	13	18	16
13	18	16	18	17	18	17	17	15	17	18
17	15	13	17	14	17	14	15	18	16	21

Grafica temperatura 10 días de análisis.

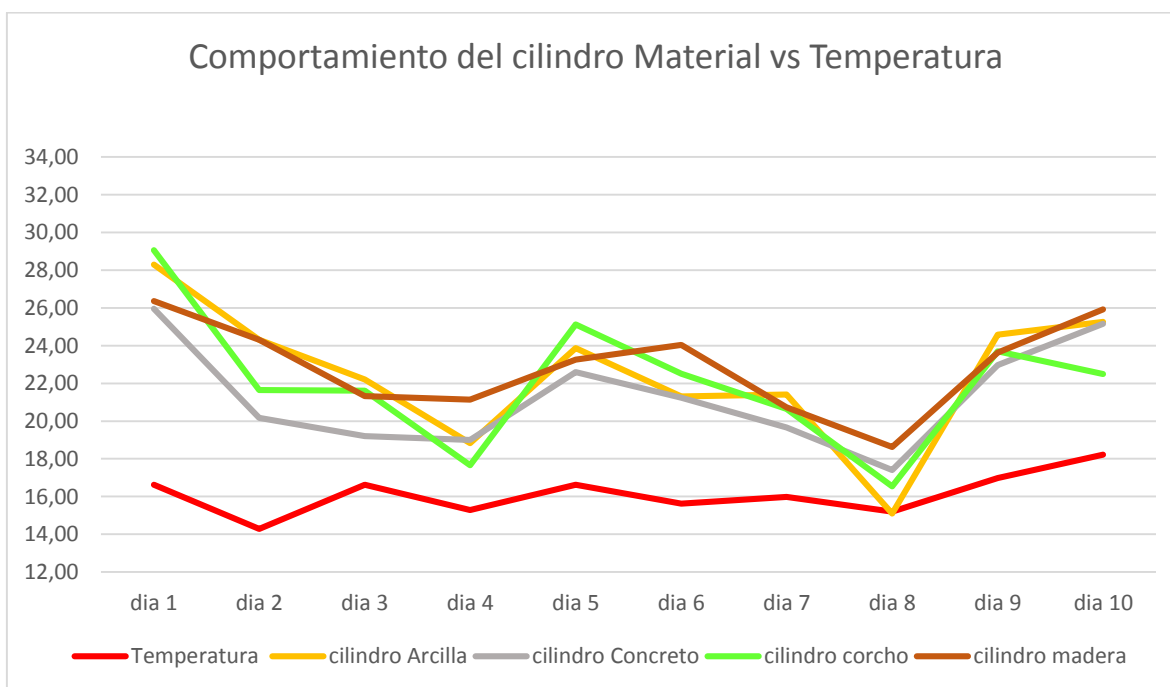
Temperatura media Dias de analisis										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
Temperatura	16,62	14,28	16,62	15,28	16,62	15,62	15,98	15,20	16,98	18,22

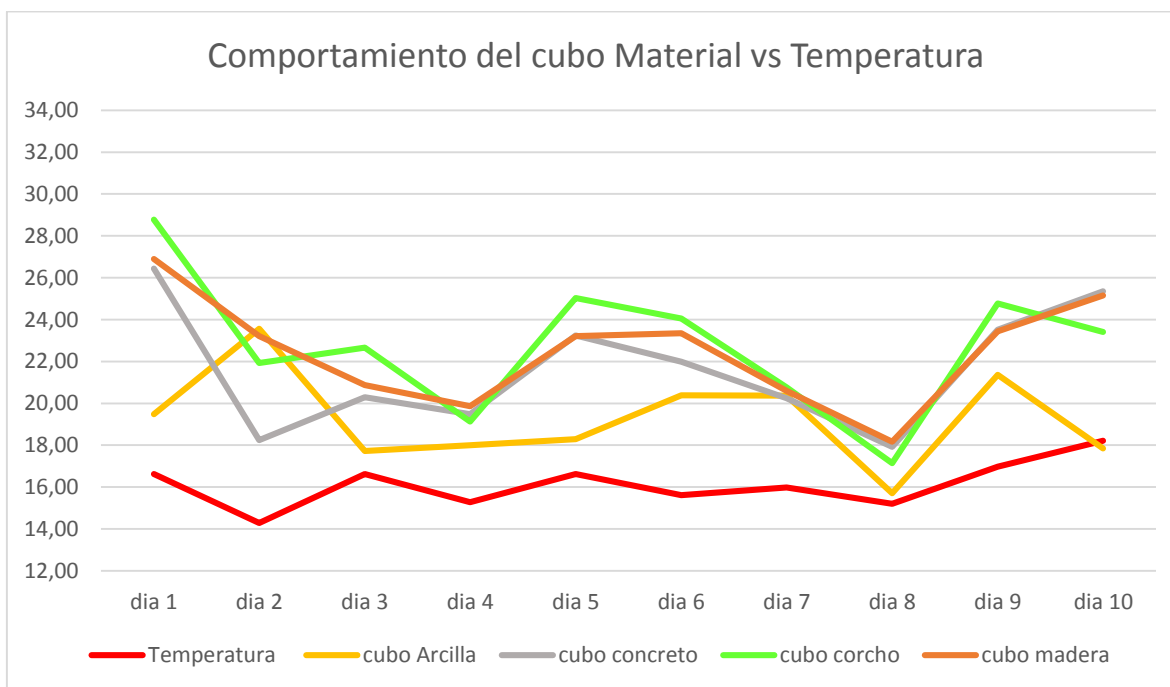
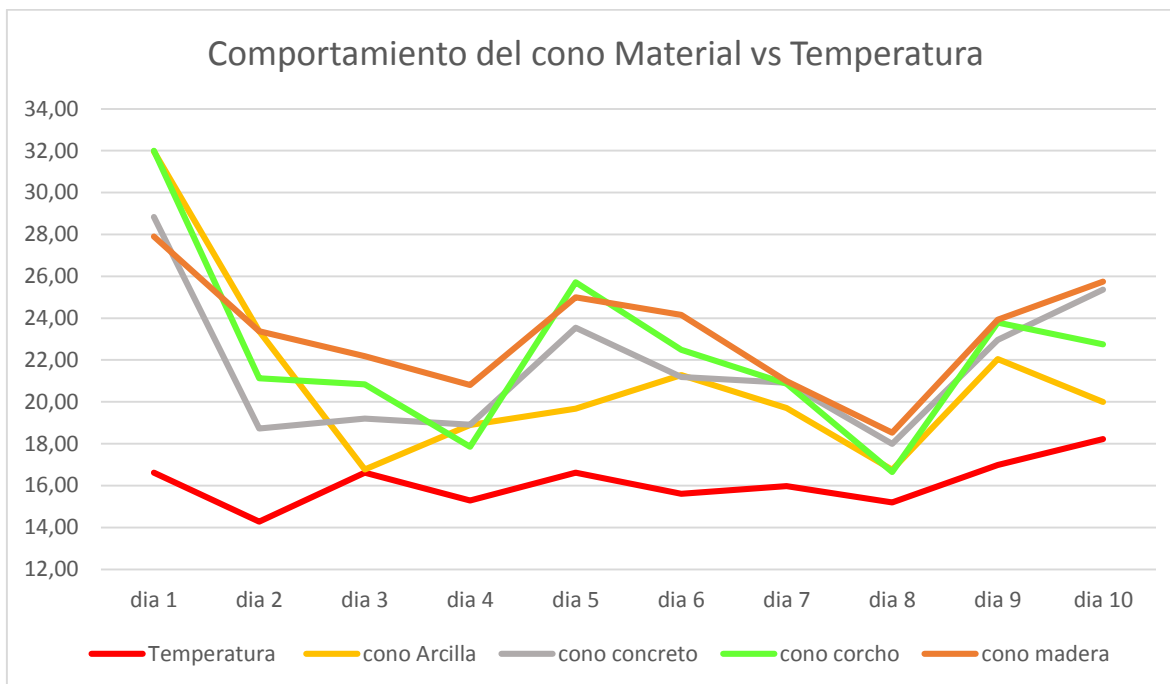


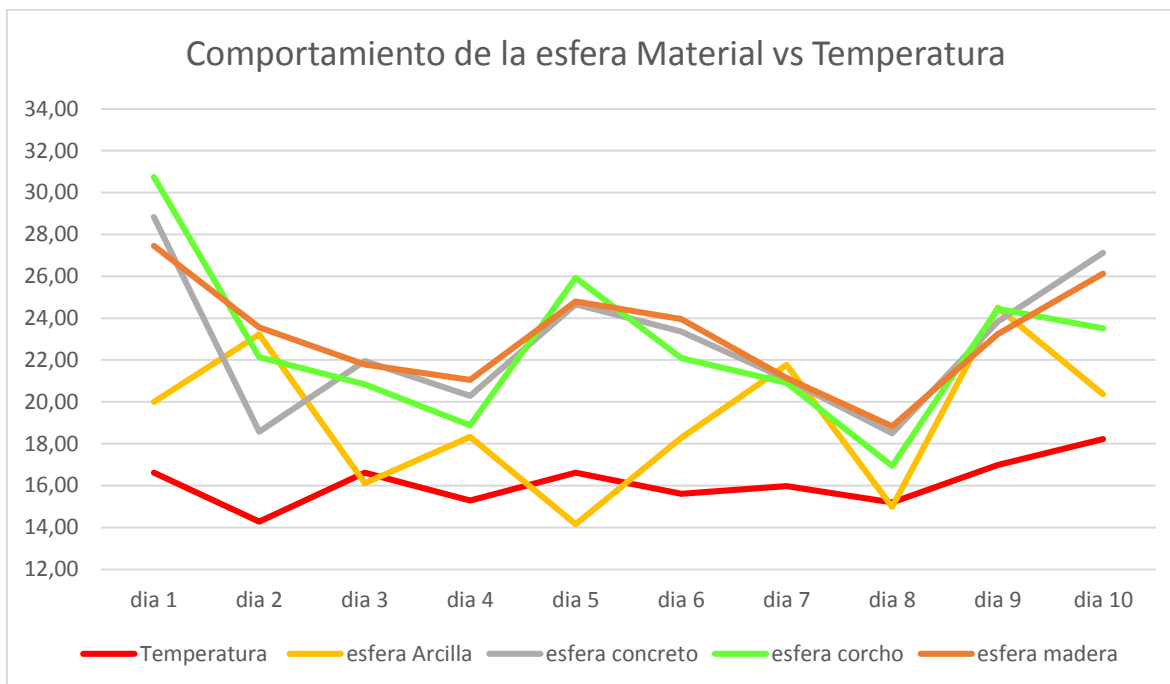
Tablas de análisis de temperatura media material durante los 10 días de análisis.

Temperatura Media Arcilla 10 días										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
cilindro Arcilla	28,29	24,30	22,21	18,83	23,87	21,30	21,41	15,10	24,58	25,26
cono Arcilla	31,96	23,37	16,77	18,89	19,67	21,29	19,71	16,75	22,04	19,99
cubo Arcilla	19,48	23,56	17,72	18,00	18,29	20,39	20,36	15,70	21,35	17,84
esfera Arcilla	19,99	23,22	16,12	18,33	14,15	18,28	21,77	14,99	24,51	20,36
Temperatura Media Concreto 10 días										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
cilindro Concreto	25,95	20,17	19,20	19,00	22,60	21,24	19,67	17,41	22,97	25,16
cono concreto	28,83	18,73	19,2	18,91	23,54	21,19	20,92	17,99	22,96	25,36
cubo concreto	26,44	18,24	20,29	19,48	23,24	21,99	20,24	17,93	23,51	25,35
esfera concreto	28,84	18,57	21,95	20,29	24,66	23,36	21,08	18,50	23,84	27,12
Temperatura Media corcho 10 días										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
cilindro corcho	29,07	21,65	21,61	17,66	25,12	22,51	20,64	16,54	23,70	22,49
cono corcho	31,99	21,13	20,83	17,86	25,72	22,50	20,87	16,65	23,79	22,75
cubo corcho	28,78	21,92	22,66	19,13	25,03	24,06	20,76	17,15	24,77	23,41
esfera corcho	30,75	22,13	20,83	18,89	25,93	22,09	20,91	16,94	24,45	23,51
Temperatura Media Madera 10 días										
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10
cilindro madera	26,36	24,30	21,32	21,13	23,25	24,04	20,73	18,62	23,64	25,92
cono madera	27,9	23,37	22,19	20,81	25,00	24,15	20,99	18,52	23,93	25,74
cubo madera	26,89	23,22	20,87	19,86	23,22	23,35	20,59	18,16	23,43	25,15
esfera madera	27,46	23,56	21,78	21,05	24,80	23,96	21,14	18,83	23,24	26,13

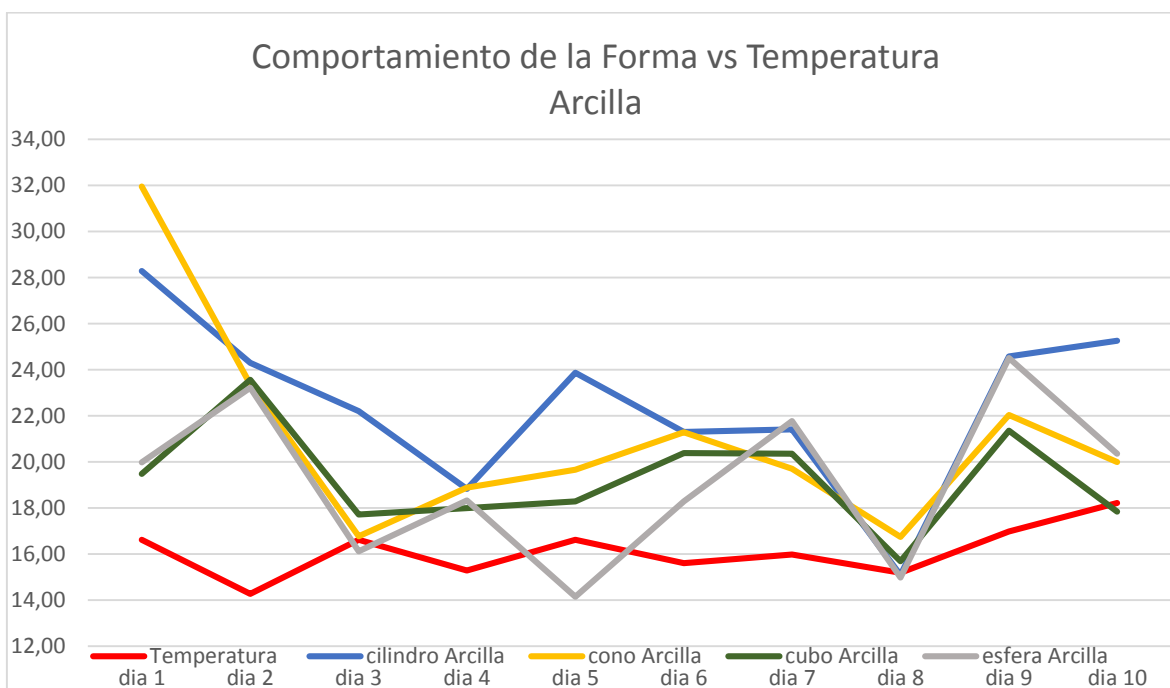
Los siguientes gráficos son el análisis del comportamiento del material vs temperatura.

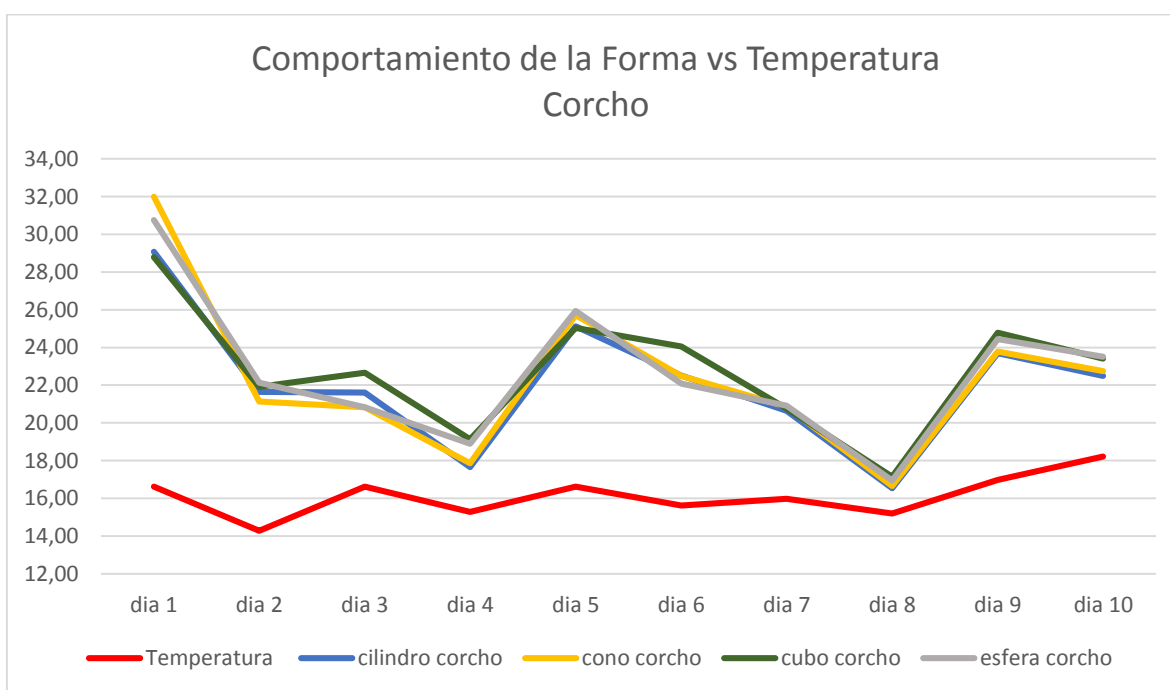
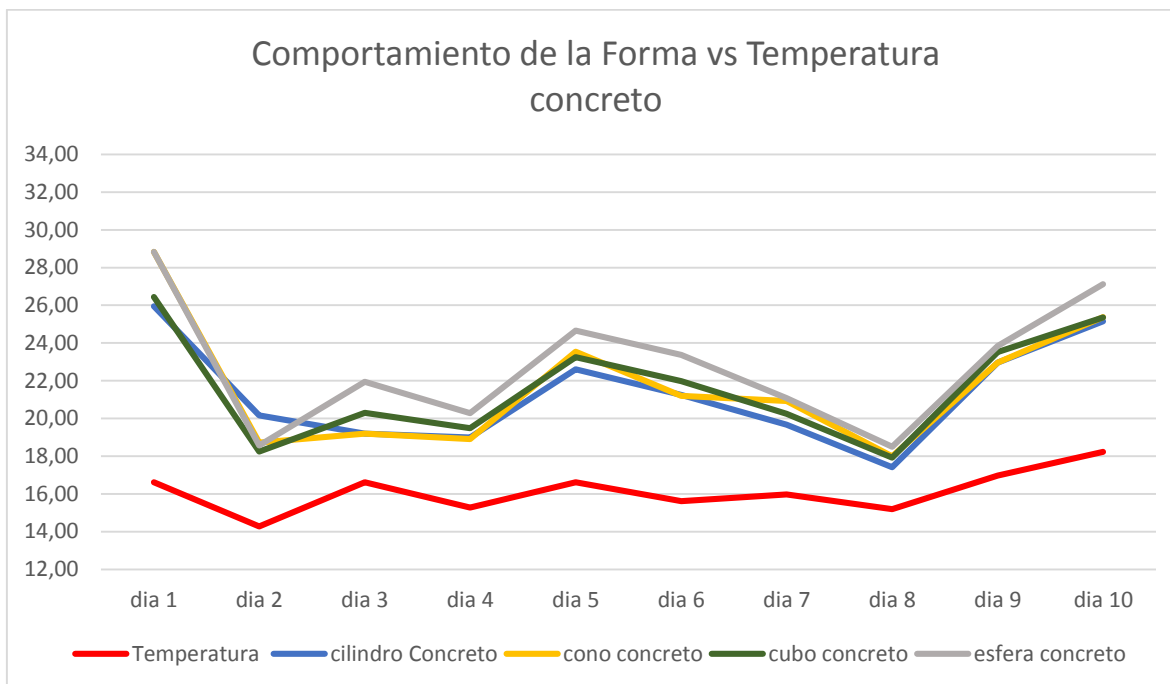


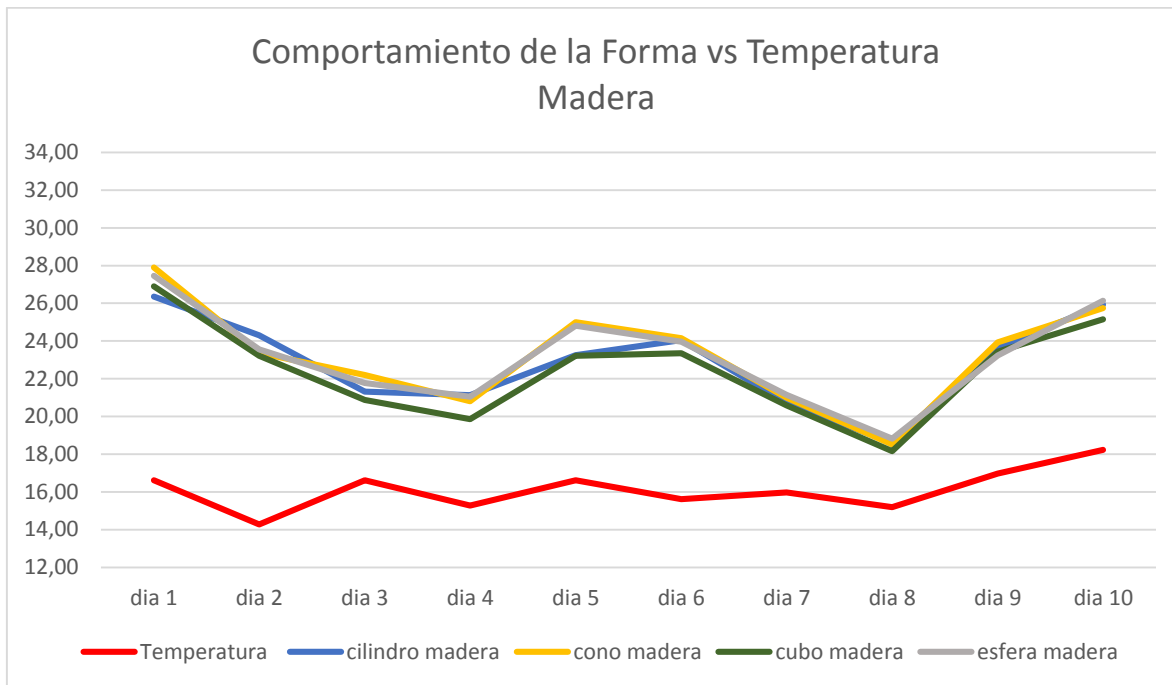




Los siguientes gráficos son del análisis del comportamiento de la forma vs la temperatura.







MATERIAL V/S TEMPERATURA

CORCHO	CONCRETO	MADERA	ARCILLA
<p>El corcho es de todos el material que en sus diferentes formas (cubo, cilindro, cono y esfera) es más eficiente, ya que se mantiene con una mejor estabilidad térmica y frente a los diversos cambios del ambiente, su reacción muestra claramente su resistencia térmica.</p> <p>Conserva rangos de 22 ° en todas las figuras.</p>	<p>El material tiende a manejar de manera independiente su energía térmica con respecto a la temperatura ambiente:</p> <p>La esfera tiende a conservar la energía y el cilindro es el que tiene una menor estabilidad térmica.</p> <p>Conserva rangos de 21° y 22° (esta última, solo en la esfera)</p>	<p>Es el material que con respecto a la temperatura del ambiente y sus cambios, funciona de manera correcta, nos brinda el mejor equilibrio térmico en la forma de cono y cilindro, ya que estos solidos no se obtuvo una mayor afectación en el proceso de experimentación. La menos eficiente es la forma cubica.</p> <p>Conserva rangos de 22° (cilindro y cubo) y 23°(cono y esfera)</p>	<p>Comprobamos que el comportamiento de la arcilla no es el mejor para la ciudad de Bogotá, porque claramente no alcanza una la estabilidad térmica, ya que sus variaciones son irregulares y contrarias en muchos puntos del análisis y basados en el comportamiento del ambiente, en algunos puntos para su funcionamiento está condicionada con la forma.</p> <p>La esfera es la que pierde mayor energía con una media de 19°</p>

FORMA V/S TEMPERATURA

CONO	CILINDRO	ESFERA	CUBO
<p>Posición 1. Es la forma que bajo el análisis, nos dice que para el ecosistema Bogotá tiene el mejor comportamiento térmico respecto a las otras formas.</p> <p>Para esta forma se identifica que el material más idóneo es la Madera. Mientras que en el concreto presenta la resistencia térmica menor que el resto de figuras.</p>	<p>Posición 2. Con respecto a la forma el cilindro obtiene su mejor comportamiento en el material arcilla.</p> <p>Mientras que el cilindro de concreto es el que muestra el peor comportamiento con respecto a las demás formas.</p>	<p>Posición 3. Tiene su mejor comportamiento en el concreto y el peor en la arcilla natural. En la madera alcanza una segunda posición igual que en el corcho.</p> <p>Es una forma que nos genera un buen equilibrio pero no es la mejor según el resultado.</p>	<p>Ultima posición con respecto a la forma.</p> <p>En el cubo de corcho presenta el mejor comportamiento, alcanzando los 22,77°, que es una respuesta muy por encima de otras figuras analizadas.</p> <p>Por el contrario el cubo de arcilla, vemos que es el que presenta la mayor pérdida y peor comportamiento respecto a los demás.</p>

Nota: LA FORMA ES UNA DETERMINANTE EN EL EQUILIBRIO ENERGÉTICO DEL MATERIAL EN UN ECOSISTEMA ESPECÍFICO. El material, su emisividad, su calor específico, la resistencia térmica, etc., son coeficientes ya establecidos, pero su respuesta en base a la forma es diferente en cada uno de los sólidos, lo cual nos afirma la hipótesis que se establece como la forma y el material en la arquitectura son una determinante para el diseño de edificios, y la conservación de la energía, con el fin de generar geometrías arquitectónicas en función de la eficiencia energética.

MATRIZ DE VALORACIÓN ENERGÉTICA

	Madera	Concreto	Corcho	Arcilla	TEMP. MEDIA
Cono	23,26	21,76	22,41	22,51	22,49
Cilindro	22,93	21,34	22,10	22,51	22,22
Esfera	23,19	22,82	22,64	19,17	21,96
Cubo	22,47	21,67	22,77	19,27	21,55
Confort higrotermico medio = 22°C, 50% HR					

5. Anexos

5.1. Aparatos de medición.

5.1.1. Estación meteorológica PCE-FWS 20



Ilustración 39 Estación Meteorológica.

Estación meteorológica con 5 sensores y mástil (para dirección del viento, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, pluviosidad) / función de alarma / puerto USB / software de análisis.

5.1.2. Lascar EL-GFX Data Loggers with Graphing LCD Display

Temperature, Humidity, Thermocouple & Thermistor Models Available

- ✓ Logs over 250,000 Recorded Readings onto Non-Volatile Memory
- ✓ Graphic LCD Shows Real-Time Readings, Trend Graph and Current Status
- ✓ Customizable Alarm Settings and LED Status and Alarm Indicators
- ✓ Immediate, Delayed, Push-Button or Temperature Triggered Start Modes
- ✓ (3) Input Buttons for Starting, Stopping & Restarting the Loggers in the Field



Ilustración 40 Data Loggers

5.1.3. Termo anemómetro digital Extech AN200



Ilustración 41 Termoanemómetro digital

Características

- Model AN200 - CFM/CMM Thermo- Anemometer with built-in non-contact IR Thermometer measures remote surface temperatures to 500°F (260°C) with an 8:1 distance-to-spot ratio and Laser Pointer
- Simultaneous display of Ambient Temperature and Air Flow or Air Velocity
- Up to 8 easy to set Area dimensions (ft² or cm²) are stored in the meter's internal memory
- 20 point average function for Air Flow
- Super large LCD Backlit Display
- 3% velocity accuracy via low friction 2.83"D (72mm) ball bearing vane wheel on 3.9ft (120cm) cable
- Data Hold and MIN/MAX

- Auto Power off
- Complete with vane sensor with 3.9ft (120cm) cable,9V battery,protective rubber holster,and carrying case

Aplicaciones

- HVAC installation,repair,diagnostics,and optimization.
- Fume hood testing,installation,and verification
- Ventilation system installation,servicing,and analysis
- Environmental wind and temperature testing/analysis
- Boiler rooms
- Ionizer flow output monitoring
- Automobile aerodynamic testing
- Plant/Facilities Maintenance

5.1.4. Cámara termográfica FLIR E 40.

SoloStocks

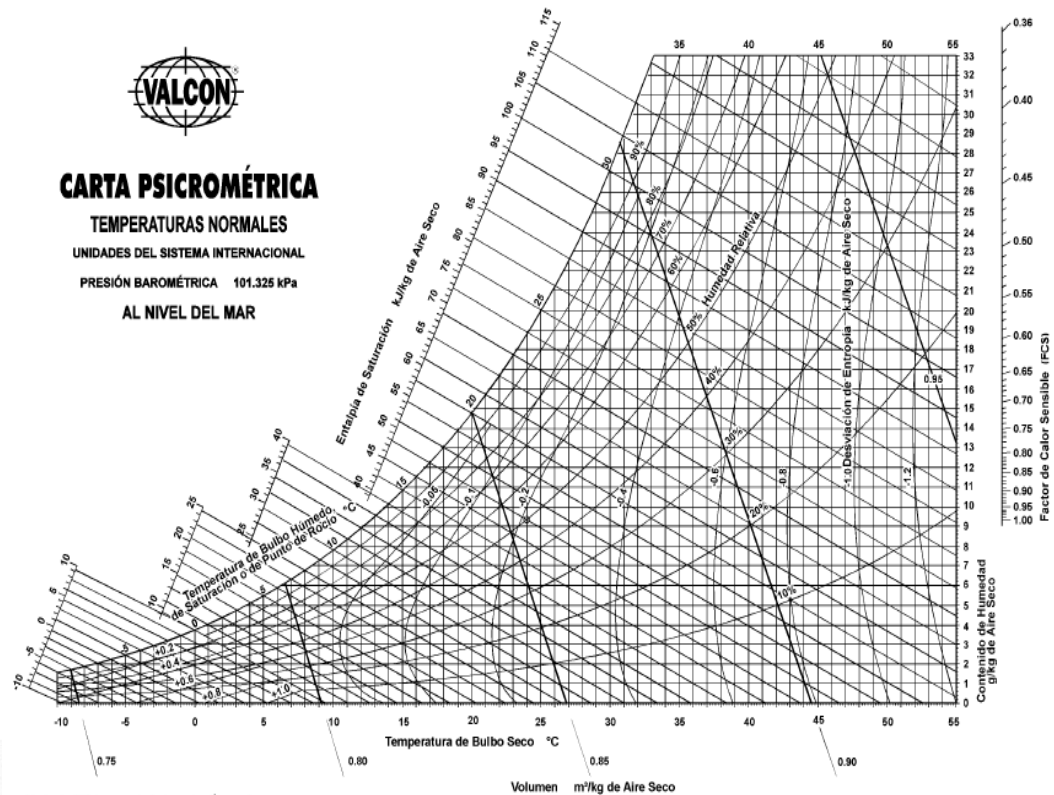


Ilustración 42 Cámara Termográfica

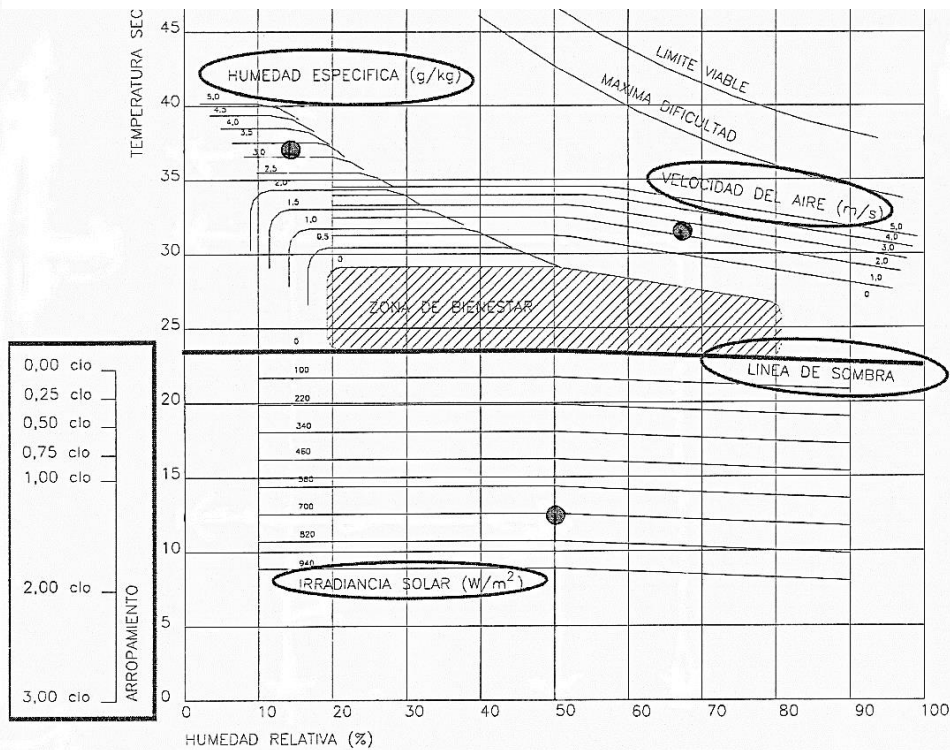
FLIR E40

- Sensibilidad Térmica: 0.07 °C @ 25 °C
- Resolución IR: 160 x 120 (19,200 píxeles)
- Rango de Temperatura: -20 a 650 °C (-4° F a 1202° F)
- Fusión Picture-in Picture (fijo)
- Zoom 2X
- Comentarios de voz y texto
- Comunicación METERLiNK™ via Bluetooth®
- Conectividad Wi-Fi5.1.5. Carta Psicométrica

5.1.5. Carta Psicrométrica



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo



Bibliografía

Bibliografía inicial:

- Zemansky, Mark W .1961. Calor y termodinámica. Madrid: Aguilar
- Camargo Ponce de León, Germán. 2008. Ciudad ecosistema introducción a la ecología urbana. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente
- Especial piscinas. 2008. Creciente incorporación de soluciones bioclimáticas. Ahorro, aprovechamiento y eficiencia, las claves de la sostenibilidad. CIC Arquitectura y Construcción. -- Año: 2008, Número: 455. -- (pag. 56).
- Mira Vázquez, Oscar; Minguet Fructuoso, Josep María. 2009. Bioclimatic architecture. Barcelona Instituto Monsa de Ediciones.
- Isasi, Justo. 2005. Internacional bioclimática: De la sostenibilidad, la eficiencia y otros eco-conceptos. Arquitectura Viva. -- Año: 2005, Número: 105. -- (pags. 26-29)
- Bedoya Frutos, Cesar_Neila González, F. Javier 1997. Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental. Madrid Munilla - Leria
- Faires, Virgil Moring; García Díaz, María Dolores. 2010. Termodinámica. México Limusa Noriega Editores.
- Alcaldía Mayor de Bogotá e IDEAM, Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del rio Tunjuelito.

Web grafía:

- Armesto, Antonio. 1985. La economía en arquitectura: una cuestión de termodinámica. Recuperado de:
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/5348/1/Article19.pdf> 17 de agosto de 2013.
- De Pereda, Luis. 2009. Rehabilitación para la eficiencia energética en la climatización de edificios. Recuperación de:
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2986311>. 17 de agosto de 2013.
- Mestre Martínez, Nieves. 2012. Pacto energético y nueva sintaxis del edificio híbrido adyacencia y oportunidad ambiental. Recuperado de:
<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1891517596.pdf>. Agosto 20 de 2013.
- López López, Víctor Manuel. 2001. DESARROLLO SOSTENIBLE: Aproximación conceptual y operativa de los principios de sostenibilidad al sector de la construcción. Recuperación de:
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=6080>. Agosto 20 de 2013.
- *Butti, Ken et John Perlin* (1980) **A golden thread**. (Se cita la versión castellana: Un hilo dorado. Madrid: Blume, 1985).
- *Esquilo* (1993!) **Tragedias completas**. (Madrid: Cátedra).
- *Gille, Bertrand* (1980) **Les mécaniciens grecs**. (Éditions du Seuil. (Se cita la tr. castellana: La cultura técnica griega. Barcelona: Juan García Ediciones, 1985).)
- *Maunder, W.J.* (1988) **The human impact of climate uncertainty**. (London: Routledge).
- *Naredo, José Manuel* (1987) **La economía en evolución**. (Madrid: Siglo XXI Ediciones).

-
- *Paladius* (1990!) **De Re Rustica**. (Madrid: Ed. Gredos. Tr. castellana: Tratado de agricultura. Medicina Veterinaria. Poema de los injertos. por Ana Moure Casas).
 - *Pou, Antonio* (1992) "**Cambio climático y referencia a la degradación de suelos**". (Ecosistemas, n.3).
 - *Vázquez Espí, Mariano* (1986) "**Siete malentendidos alrededor de la arquitectura vernácula**" (en La tierra, material de construcción. Soria: Interacción, pp. 199-210.)
 - *Vázquez Espí, Mariano* (1997) "**Los límites de la técnica**". (Boletín de la Biblioteca Ciudades para un futuro más sostenible, número 3 <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n3/amvaz.html>).
 - *Vitruvio* (1970!) **Los diez Libros de Arquitectura**. (Barcelona: Editorial Iberia, tr. directa del latín por Agustín Blázquez).
Fecha de referencia: 30-4-1999
 - Propiedades físicas y mecánicas del concreto.
<http://elconcreto.blogspot.com/2009/01/propiedades-fisicas-y-mecanicas-del.html>
 - Materiales cerámicos.
<https://sites.google.com/site/materialesceramicoseq6/Home/117-propiedades-termicas-de-las-cermicas>
 - <http://www.asecor.com>
 - <http://www.subertap.com>