



TÍTULO

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA-LABORATORIO TROPICAL,
ENERGÉTICAMENTE AUTOSUFICIENTE**

AUTOR

Fernando Galvis Hurtado

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2013

Director	Jaime López de Asiaín
Tutor	Luis Manuel Miranda Aguirre
Curso	Maestría en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible
ISBN	978-84-7993-877-2
©	Fernando Galvis Hurtado
©	Universidad Internacional de Andalucía (para esta edición)



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

TESIS DE MAESTRIA
XII Maestría en Energías Renovables:
Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA-LABORATORIO TROPICAL,
ENERGÉTICAMENTE AUTOSUFICIENTE**

POR: FERNANDO GALVIS HURTADO



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCIA
LA RÁBIDA,
2012

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE MASTER POR
LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA

AUTOR: Fernando Galvis Hurtado
DIRECTOR: Jaime López de Asiaín y Martín
TÍTULO: DISEÑO DE UNA VIVIENDA-LABORATORIO TROPICAL,
ENERGÉTICAMENTE AUTOSUFICIENTE.

DIRECTOR:

Jaime López de Asiaín y Martín

AUTOR:

Fernando Galvis Hurtado

Dedico este Proyecto de Grado a Dios, creador de todas las cosas. A mi familia, frecuentemente repartida en cuatro continentes, a las empresas que me patrocinaron esta necesidad, a todos mis compañeros del Master y a mis profesores. A todos ellos, muchas gracias por aguantarme. Dios los bendiga.

RESÚMEN

El presente documento trata del diseño de un aparta-estudio de 156.2 m² suficiente para cuatro (4) personas, que son las que generalmente trabajan en un Taller anexo de 109.3 m² en donde se realizan trabajos de ensamble de circuitos electrónicos, algunas operaciones de mecanizado y se tiene un laboratorio metrológico para la calibración, pruebas y puesta a punto de los ensambles.

El emplazamiento se ha propuesto en la ciudad Santiago de Cali, en Colombia, que tiene un clima de **Sabana Tropical**.

Este proyecto considera estrategias arquitectónicas climáticas pasivas, su cálculo y simulación con software especializado y el uso de energía termo-solar y fotovoltaica para satisfacer todas sus necesidades energéticas tales como el acondicionamiento térmico-higrométrico del aire en el taller, provee ACS, electricidad para las máquinas y la iluminación, así como una propuesta para suplir las necesidades de cocción de alimentos durante cualquier hora del día o la noche, almacenando energía térmica.

Como parte del estudio de sostenibilidad, se ofrecen unas estrategias para el manejo del agua lluvia y sus posibilidades de potabilización con ozono, igualmente utilizando energía termo-solar.

ABSTRACT

This paper deals with the design of a studio apartment of 156.2 m² enough for four (4) people, who are usually working in Annex 109.3 m² workshop where work is carried out electronic circuit assembly, some machining operations and has a metrology lab for calibration, testing and commissioning of the assemblies.

The site has been proposed in the city Santiago de Cali, Colombia, which has a tropical savanna climate.

This project considers passive climatic architectural strategies, their calculation and simulation with specialized software and using solar thermal energy and photovoltaic to meet all its energy needs such as thermal conditioning air-moisture content in the workshop, ACS provides, electricity for machines and lighting, and a proposal to meet the cooking needs during any time of day or night, storing thermal energy.

As part of the sustainability study, offered some strategies for rain water management and water treatment with ozone possibilities, also using solar thermal energy.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	POSTURA PERSONAL	8
1.2	JUSTIFICACIÓN	9
1.3	HIPÓTESIS	12
1.4	MI TESIS	13
1.5	ESTADO DEL ARTE	13
1.6	METODOLOGÍA GENERAL	18
1.7	METODOLOGIA PARTICULAR	20
1.8	OBJETIVOS	20
2	MARCO TEÓRICO	21
2.1	RELACIÓN CONFORT ENERGÍA Y FÍSICA	21
2.2	EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y LA BIOCLIMÁTICA	22
2.2.1	QUÉ ES LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE	22
2.2.2	ORIGEN DEL TÉRMINO	22
2.2.3	ENERGÍA Y ARQUITECTURA	25
2.2.4	CALEFACCION EFICIENTE	25
2.2.5	ENFRIAMIENTO EFICIENTE	27
2.2.6	REFRESCAMIENTO PASIVO	27
2.2.7	GENERACION DE ENERGIA ALTERNATIVA EN EDIFICIOS	30
2.2.8	RASCACIELOS DE ARQUITECTURA VERDE	31
2.3	ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DEL DISEÑO	32
2.3.1	MATERIALES AISLANTES TERMICOS	32
2.3.2	VENTANAS Y PUERTAS	40
2.3.3	MATERIALES PARA LAS PAREDES	42
2.3.4	MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA	46
2.3.5	PLANIFICACION HELIOTÉRMICA	50
2.3.6	ESTRATEGIAS PARA REGION CALIDO HUMEDAS	54
2.3.7	ILUMINACIÓN NATURAL	56
2.4	FACTORES INDIVIDUALES DEL PROYECTO	60
2.4.1	VENTILACION	60
2.4.2	DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO	64

3	ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO	69
3.1	LOCALIZACIÓN	69
3.2	DESCRIPCIÓN BIOCLIMÁTICA	71
3.3	ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR	73
3.4	ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO	77
3.5	ESTRUCTURA URBANA DEL SECTOR	78
3.6	PAISAJE Y VEGETACIÓN	80
4	ANÁLISIS DEL PROYECTO	83
4.1	DESCRIPCIÓN DE ESPACIOS	83
4.2	ANÁLISIS DE FACHADAS	90
4.3	CUBIERTAS	91
4.4	DESEMPEÑO TERMICO DEL EDIFICIO	92
4.5	VENTILACIÓN	95
4.6	ILUMINACIÓN NATURAL	97
4.7	ILUMINACION ARTIFICIAL	102
4.8	VISTA Y PAISAJE	105
5	RECURSOS AMBIENTALES REQUERIDOS EN EL EDIFICIO	106
5.1	REQUERIMIENTOS DE AGUA	106
5.1.1	OBTENCIÓN	106
5.1.2	TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN	107
5.2	AGUAS SERVIDAS	110
5.2.1	RECICLAJE	110
5.2.2	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	111
5.3	REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	118
5.3.1	LA OFICINA	118
5.3.2	EL TALLER	119
5.3.3	LA VIVIENDA	119
5.3.4	CALCULO ENERGIA FOTOVOLTAICA	120
5.4	REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA TÉRMICA	123
5.4.1	AIRE ACONDICIONADO	123
5.4.2	REFRIGERACIÓN	127
5.4.3	COCCIÓN	131
5.4.4	AGUA CALIENTE SANITARIA	135
6	PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN	136
6.1	PRESUPUESTO CLÁSICO	136

6.2	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	137
7	CONCLUSIONES	138
7.1	EL MODELO BIOCLIMÁTICO GENERAL	138
7.2	SOSTENIBILIDAD DEL HÁBITAT CONSTRUIDO	139
8	ANEXOS	140
8.1	BIBLIOGRAFÍA	140
8.2	CIBERGRAFÍA	141
8.3	ÍNDICE DE IMÁGENES	142
8.4	ÍNDICE DE TABLAS	145

1 INTRODUCCIÓN

1.1 POSTURA PERSONAL

Desde que se tuvo acceso público a las cifras sobre calentamiento global, el impacto del bióxido de carbono y demás contaminantes en la atmósfera, los desastres producidos por la acción antropogénica, muchos profesionales han considerado la posibilidad de contribuir desde lo local a ese gran cambio global cuyo principal fin es preservar la vida en La Tierra, tal y como se le conoce. Las ciencias de la ingeniería, junto con la arquitectura, pueden generar soluciones que sean sostenibles para todos los actores: la vida, los banqueros y el hombre.

Teniendo en cuenta que cerca del 41.7 % de la energía primaria que se consume en La Tierra se destina a la vivienda, el 32.3 % a la industria y el 26.0 % al transporte y que más del 88.8 % de esas energías primarias viene de fuentes no renovables¹, resulta importante enfocarse en reducir el mayor de los consumos y el que de manera natural le corresponde resolver al Arquitecto, con la ayuda de los Ingenieros, cual es el de realizar una Arquitectura Energéticamente eficiente, considerando el uso de estrategias pasivas para aprovechar el clima en las edificaciones y fomentar el uso de energías renovables para reducir la dependencia del petróleo.

Visto el problema así, resulta atractivo tanto desde la perspectiva del ingeniero como del arquitecto, analizar un caso específico de diseño que sirva como ejemplo de edificio energéticamente autosuficiente, pero sostenible en cuanto a los recursos naturales que utiliza. Aunque para ello tenga que ir más allá de las técnicas bioclimáticas y haya que recurrir al uso de equipos y sistemas de control. Así, entre Arquitecto e Ingeniero, se logrará un mayor valor agregado al proyecto y tendrá más oportunidades de mercado, que si cada uno de estos profesionales fuera por separado.

La pregunta clave del proyecto será como: ¿Cuánta energía consume y cuánta energía puede generar una vivienda-laboratorio en el trópico?

Así mismo, el diseño con estas técnicas se orienta a generar posibilidades de negocio reales al comparar no solo los costos de construcción entre una vivienda clásica y otra vivienda diseñada energéticamente eficiente, sino que se compara además la componente de operación y mantenimiento (y hasta la disposición final), de modo que el ejercicio financiero demuestre que es rentable tal inversión a medida que los costos de los energéticos se vean afectados por la disponibilidad real de las fuentes no renovables.

¹ Ruiz Hernández, Valeriano. **EL RETO ENERGÉTICO**. Multimedia. Sevilla, 1999. www.sodean.es

Desde lo personal, el obstáculo más grande a resolver será compaginar la arquitectura (que no es mi fuerte de conocimiento) con los modelos y cálculos de ingeniería, para lograr espacios habitables confortables, estéticos, económicos y funcionales.

El segundo punto a resolver, será asegurar que los cálculos de estimaciones solares, clima, aislamientos y selección de materiales son apropiados para el proyecto referente.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Una de las principales características de la actual sociedad global, al menos desde el punto de vista objetivo y material, es que está fundamentada en un abastecimiento energético cada vez mayor y más abundante. Sin esto, la industria, el transporte e incluso la agricultura o la vida doméstica urbana no podrían existir.

Durante miles de años la sociedad subsistió con base en el trabajo humano y animal. Las primeras fuentes de energía inanimadas, como los molinos de viento o las ruedas hidráulicas, significaron un incremento del régimen de trabajo al aumentar la potencia disponible. Pero el salto cualitativo no se produjo sino hasta finales del siglo XVII con la invención de los motores de vapor y de combustión interna².

El desarrollo del motor de combustión interna y de diversas turbinas hidráulicas incrementaron tanto la potencia como el número de unidades instaladas y por tanto, su correspondiente consumo de combustible. EL crecimiento exponencial del consumo de combustible se inició con la revolución industrial del Siglo XVIII y no había sido comprobado sino hasta los años 70.

Hoy en día, se acepta que la producción mundial de energéticos primarios llega a las 12150 MTEP, de las cuales su composición se muestra en la Tabla 1.

Petróleo	37.2%	Carbón	24.2%
Gas GNC	20.7%	Biomasa	8.5%
Nuclear	6.7%	Hidráulica	2.4%
Otras formas	0.4%		

Lo que implica que el 88,8% son producidos con combustibles fósiles, en tanto que el 11,3% se producen con energías renovables. Por importantes que sean, las reservas de combustibles fósiles son limitadas. El consumo continuado significa consumir el capital, de modo que el ritmo actual de explotación es claramente insostenible. Tanto el carbón como el petróleo no son solamente combustibles, sino también importantes materias pri-

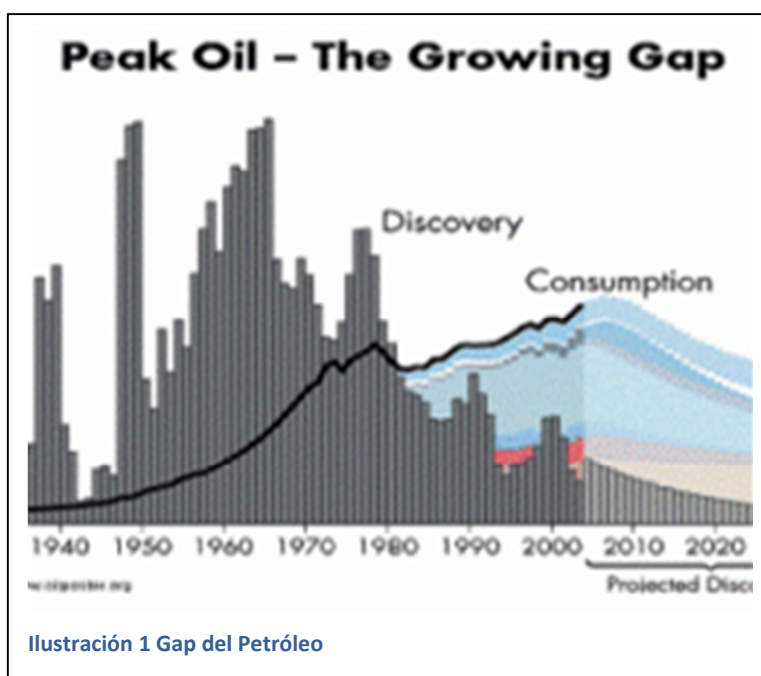
² Szokolay, S. V. **SOLAR ENERGY AND BUILDING**. ED. BLUME, Barcelona, 1978. P11

³ Ruiz Hernández, Valeriano. **EL RETO ENERGÉTICO**. Multimedia. Sevilla, 1999. www.sodean.es

mas para la industria química. Su uso como combustible resulta ser una cuestión de miopía al “no importar de dónde venga, mientras lo tenga” por decir algo suave.

Conocido es el tema de **Índice Estático**, el cual se obtiene dividiendo el consumo anual de petróleo por la cantidad de reservas conocidas. Este índice está actualmente en 31 años y asocia el número de años que quedan para consumir petróleo a la tasa actual. Pero el **Índice Exponencial** aunque se presenta de forma similar, tiene en cuenta el crecimiento exponencial del consumo de petróleo. Bajo esa perspectiva, entonces al petróleo sólo le quedarán reservas para 20 años más de consumo. Las actuales previsiones tienen en cuenta las estimaciones de descubrimientos futuros de reservas, así como la reducción de la tasa de consumo dictada por el incremento en los precios esperados como consecuencia de la creciente escasez.

Mas allá de esto, hay una preocupación en lo político – militar porque el pico de la producción mundial de petróleo aumentará la concienciación sobre los recursos de las grandes potencias y en su consumo, de acuerdo con la Ilustración 1. Cuando la producción de petróleo disminuya tal y como se prevé, los países intentarán mantener sus altos niveles de organización. La política mundial pasará del idealismo, típico de



nuestra actual economía creciente, al realismo y al realismo ofensivo. Las reglas económicas pasarán a ser de un juego de suma negativa. Como consecuencia, los jugadores geopolíticos menores tendrán que alinearse con las grandes potencias para asegurar mínimas pérdidas en el suministro de petróleo.

Finalmente, las grandes potencias esperarán hasta el último momento para iniciar medidas de mitigación contra el agotamiento del petróleo. De hecho, una transición demasiado temprana hacia nuevas fuentes de energía constituye un riesgo de alterar su actual posición geopolítica”⁴

⁴ Fuente: Te. GS Pascal Eggen F.A.Suizas. EL IMPACTO DEL PICO DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PETRÓLEO EN EL EQUILIBRIO GLOBAL DE PODER. USA, 2012 en www.elextremosur.com/archives/756

La energía básica más necesaria para el ser humano es la alimentación, aunque el consumo diario per cápita varía entre amplios márgenes, de acuerdo con la Tabla 3. Aun así, la producción mundial de alimentos equivale a menos del 4% del consumo total de energía, que de acuerdo con su uso final, se distribuye según la Tabla 2. Así, una persona promedio necesita 2000 calorías diarias mínimas para mantenerse activa. La cuestión está en la eficiencia de conversión de la energía primaria a energía útil, pues en el caso del transporte, su eficiencia real llega 26%, en electricidad generada por procesos térmicos, llega al 35% e incluso la energía nuclear tiene una eficiencia muy baja, tan solo el 33%.

Pero la energía realmente utilizada en todos estos procesos, no tiene una eficiencia general superior al 3%. Por tanto, el combustible que se derrocha en el mundo es muy elevado. Si el combustible fuera el único problema, quizás la solución fuera tener más combustible.

Sector	Consumo (KWhX10 ⁹ /año)	Porcentaje
Industria	705	42,2%
Uso doméstico	415	24,9%
Transporte	341	20,4%
Servicios públicos	100	6,0%
Varios	86	5,1%
Agricultura	23	1,4%
TOTAL	1670	100,0%

El problema se acrecienta cuando todo el combustible consumido genera un contaminante atmosférico como el CO₂, entre otros, cuya presencia de más en la atmósfera ha exacerbado el **efecto invernadero** a nivel global, que nadie cobra por esas emisiones para controlarlas eficazmente, que ha elevado la temperatura

Países	Calorías/día	KWh/día
Reino Unido	3838	3,30
USA	3754	3,23
Recomendado FAO	3024	2,60
La India	1047	0,90
Kenya	2155	1,85
Suiza	3545	3,05

de La Tierra en cerca de 0,5 °C en los últimos 50 años trayendo consigo grandes cambios en el clima, el deshielo de los polos, la extinción de especies... nuevas enfermedades, incremento en el nivel del mar, disminución de la cantidad de agua dulce disponible y una gran cantidad de consecuencias adversas para la humanidad, que sólo algunos políticos se atreven a negar⁷

⁵ Fuente: Consejo Mundial de la Energía. TECNOLOGÍAS DE USO FINAL DE LA ENERGIA PARA EL SIGLO XXI. USA, 2004 disponible en <http://www.worldenergy.org/>

⁶ Fuente: <http://www.guiadelmundo.org.uy/cd/countries/>

⁷ Fuente: Al Gore. Video UNA VERDAD INCÓMODA. Paramount Home Entertainment, 2006

Revisado este panorama mundial, resulta interesante presentar una propuesta adicional a lo que hay, que permita reducir estos consumos al menos desde la perspectiva del Ingeniero-Arquitecto, pues la vivienda es uno de los principales consumidores de energía.

Una vivienda construida con elevada eficiencia energética, estrategias pasivas para el mantenimiento del confort, elementos generadores de su propia energía primaria y algo de tecnología, puede ahorrar hasta un 95% de su energía requerida, con un costo tan solo un 25% superior a una vivienda normal para el trópico.

Esto, sin contar el ahorro en las redes de distribución de energía gas, ahora concebidas como **Smart Grids** y que prometen ser el futuro campo de desarrollo de la Ingeniería Eléctrica en el campo de las Redes y de la distribución y comercialización de energía eléctrica.

1.3 HIPÓTESIS

¿Cuánta energía consume y cuánta puede generar una Vivienda Home Office ubicada en un clima tropical?

La solución de vivienda autosuficiente ya es una realidad en el mundo pero se basa, en su mayor proporción, en la utilización de paneles solares fotovoltaicos y sistemas domóticos costosos que hacen muy prolongada su recuperación económica en el tiempo. Aunque se ha progresado enormemente en el desarrollo de modelos arquitectónicos eficientes y que aprovechan el clima para lograr condiciones de confort.

La presente propuesta le apunta a lograr esa misma autosuficiencia utilizando un mínimo de paneles fotovoltaicos pero utilizando la ayuda de otras fuentes de energía renovables que se basen en tecnologías convencionales electromecánicas, electrónicas, termosolares, eólicas y biomasa, que estén al alcance de países menos desarrollados tecnológicamente, dentro de un contexto de arquitectura de alta eficiencia energética. Es decir, se acrecienta el uso de la energía térmica del sol, como fuente primaria y otras fuentes de energía, principalmente para procesos como calefacción, aire acondicionado, cocción y refrigeración.

Los sistemas domóticos y de control serán imprescindibles en el proyecto, pero se pretende basarlos en tecnologías conocidas y micro controladores de bajo costo.

Esta solución podría contribuir de una manera importante a mejorar el balance de CO₂ en La Tierra y por tanto, a disminuir las causas de su calentamiento global, en la medida en que se implemente como sistema constructivo.

Por otra parte, se perfilaría como una solución a las necesidades energéticas en regiones donde la energía del petróleo no es alcanzable o donde no está presente la interconexión eléctrica a las redes de distribución.

1.4 MI TESIS

Una vivienda tipo home-office compuesta por una zona habitacional para cuatro (4) personas y una zona de trabajo dividida en dos: un laboratorio metrológico y un taller para fabricar prototipos electrónicos debería estar en capacidad de consumir un 45% menos de energía que una construcción convencional y producir al menos el 95% de la energía requerida, ser amigable con el ambiente en cuanto a la generación de CO₂, al consumo de agua y a la correspondiente disposición de las aguas servidas.

En cuanto al costo, no debería aumentar en más de un 35% sobre su valor convencional, tomando en cuenta la vida económicamente útil del proyecto.

1.5 ESTADO DEL ARTE

Para analizar este punto, se presentan dos casos tomados como representativos por ser proyectos ganadores de concursos internacionales de arquitectura bioclimática. Uno en USA (Washington) en el cual se presenta la propuesta de la UPM al concurso:

- **VIVIENDA BIOCLIMÁTICA AUTOSUFICIENTE EN WASHINGTON: “MAGIC BOX” PROYECTO DE LA UPM PARA EL CONCURSO SOLAR DECATHLON 2005⁸**

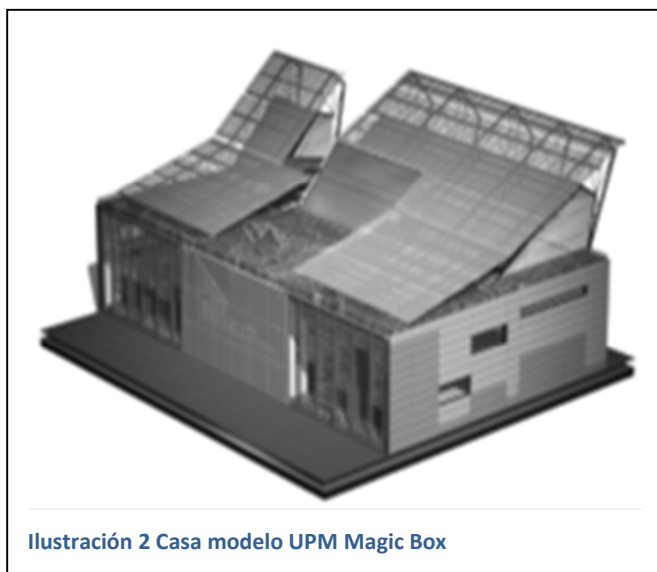


Ilustración 2 Casa modelo UPM Magic Box

Resumen. Un equipo multidisciplinario integrado fundamentalmente por profesores y estudiantes de la **Escuela Técnica Superior de Arquitectura** y la **Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación** de la **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**, en el que participan empresas del sector.

Ellos están desarrollando un proyecto de construcción de una vivienda bioclimática autosuficiente

en el marco del concurso SOLAR DECATHLON 2005, organizado por la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EERE) de los Estados Unidos, que tendrá lugar en Washington el año próximo. Se empezará a construir un prototipo en Madrid en noviembre de 2004.

⁸ Fuente: <http://www.solardecathlon.org>

*MAGIC BOX es una unidad **home office habitacional** sencilla (Véase la Ilustración 2) que alojará una pareja en 70 m² y un solar de 500 m² emplazado en Washington DC, práctica, versátil, ordenada, representativa de la cultura mediterránea y dialogante con su entorno, tanto desde el punto de vista visual y espacial, como en lo relativo al consumo de materiales, recursos, energía y la producción de desechos contaminantes.*

Las características principales del edificio son su diseño pasivo, la aplicación de estrategias empleadas tradicionalmente en la arquitectura popular española – aunque con técnicas, sistemas y materiales nuevos - y el empleo racional de porches, invernaderos, cubiertas ecológicas, elementos vegetales, voladizos, celosías, paneles móviles e incluso un patio “plegable” para regular las condiciones de confort, la luz y la calidad del aire, y conseguir así un elevado grado de bienestar higrotérmico. La electricidad es de origen fotovoltaico y se utiliza un sistema de acumulación vinculado a los colectores, el calentamiento solar y el enfriamiento nocturno. Todos los dispositivos interiores se regulan mediante un sistema de domótica integrado.

ANÁLISIS: Se observa en esta iniciativa que se ha pretendido ir más allá de la sostenibilidad pretendiendo llegar a la autosuficiencia energética y al aprovechamiento de los recursos naturales del solar, para obtener y disponer de los recursos necesarios en su operación. Pero el suministro de energía eléctrica sigue siendo Fotovoltaico exclusivamente. Si bien aprovecha la energía termo solar en el calentamiento del agua sanitaria, la estrategia energética (basada en células FV) tiene un costo inicial muy elevado (150.000 €) debido a que la fabricación de los paneles requiere de alta tecnología, si bien el tiempo de recuperación de la energía invertida en su fabricación ha decrecido drásticamente y actualmente se encuentra en valores entre 1.5 y 1.7 años⁹ contando con radiaciones solares de 1700 KWh/m²-año (como en el sur de Europa).

- **LA VIVIENDA AUTOSUFICIENTE: UN NUEVO TEMA DE REFLEXIÓN LANZADO A LA COMUNIDAD ARQUITECTÓNICA INTERNACIONAL POR EL INSTITUT D'ARQUITECTURA AVANÇADA DE CATALUNYA¹⁰.**

¿Qué es la vivienda autosuficiente?

Si a principio del siglo XX se propuso que la vivienda era una “maquina de habitar” como referencia un nuevo modo de entender la construcción de los espacios habitables propios de una nueva era, en el siglo XXI nos enfrentamos al reto de la construcción de una vivienda sostenible, y en su límite, autosuficiente.

⁹ Fuente: http://www.terra.org/la-energia-de-fabricar-un-panel-fotovoltaico_2394.html

¹⁰ Fuente: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?id=723&c=6&idm=10&pat=10>

La vivienda entendida como un organismo vivo, que interactúa con su entorno, que toma recursos de él, emite y gestiona información y en su funcionamiento global es autosuficiente (Véase la Ilustración 3). Como un árbol en un campo. La vivienda, como producto inmobiliario no es el objetivo de la arquitectura avanzada. Lo es la creación de las condiciones de la habitabilidad de un individuo, que resuelve sus necesidades vitales, a diferentes escalas y en diferentes tiempos.

El proyecto de habitabilidad humana se resuelve en un entorno local, a la escala del barrio, del edificio o de los

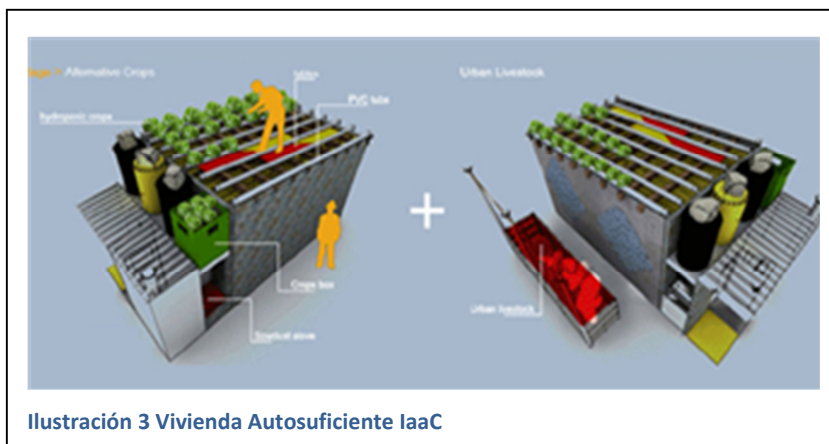


Ilustración 3 Vivienda Autosuficiente laaC

proprios límites individuales de una vivienda. Una vivienda autosuficiente estará conectada a este sistema local, y sabrá responder a las condiciones sociales, culturales, técnicas y económicas de su entorno. Y, al mismo tiempo,

sabrá gestionar su pertenencia a una red de información a escala global, a organismos similares a él, con los que comparte recursos e información e interactúa de forma remota.

En la práctica diaria, en los países occidentales, observamos asombrados como el precio de la vivienda en las ciudades aumenta, sin que aumente de forma objetiva su valor.

La vivienda pierde en gran medida su valor social para convertirse en un puro objetivo económico, en el que el valor del suelo sobre el que se asienta fija su valor de mercado. Ante esta situación cabría exigir a las propias viviendas adecuar sus cualidades específicas a su precio de mercado. Cabría exigir el diseño y la construcción de edificios que generen el 100% de la energía que consumen, que reciclen la totalidad de su agua a través de varios procesos, que reciclen los residuos que generan localmente y que, en el límite, son capaces de generar una nueva materialidad con ellos. Si en el siglo XX la alta disponibilidad y consumo de energía fueron paradigmas de desarrollo a nivel internacional, en el siglo XXI el paradigma es el ahorro y la utilización inteligente de los recursos disponibles, de forma local y entrelazada.

De esta manera, la Arquitectura tiene una nueva responsabilidad: la de ser capaz de responder a nuevas necesidades. Los barrios, los edificios o las viviendas deberían ser capaces de asumir nuevas funciones como captadoras, acumuladores o transformado-

res de sinergias, más allá de la creación de una piel que aísla del clima cambiante del entorno. A la Arquitectura hay que exigirle más. Los arquitectos deben ser capaces de diseñar organismos habitables que desarrollen funciones e integren procesos propios del mundo natural, que antes se realizaban de forma remota en otros lugares del territorio. La subcontratación de la creación de energía en un lugar remoto parece propia de una época pasada, como era la dependencia de la computación remota para el proceso de datos.

El Arquitecto tiene el reto de pensar cómo deben ser los edificios o las viviendas en esta nueva situación. Cómo somos capaces de evolucionar el diseño y la construcción, de forma integral más allá de superponer soluciones tecnológicas de catálogos a edificios de catálogo. Más allá de consideraciones puramente formales sobre las que en la actualidad parece centrada la arquitectura. La investigación en el desarrollo de materiales debe permitir una actualización de la materialidad de los edificios, para mejorar los sistemas constructivos que durante siglos han llevado al desarrollo de una arquitectura muy basada en la transformación de los materiales encontrados de forma local. Ahora es el momento de la interacción entre disciplinas y tecnologías con el fin de producir soluciones que integren diferentes ámbitos de investigación.

¿Por qué la necesidad del hábitat autosuficiente?

Francesc Fernández i Joval, Presidente del IaaC, expone algunas razones y reflexiones:

- ***Recursos escasos:*** *El impacto de la humanidad en la tierra es una preocupación corriente. El consumo intensivo de los recursos continúa sin introducir mecanismos de reciclaje; esto eventualmente llevará a una carestía de los mismos.*
- ***Población y consumo:*** *Una pequeña porción de la población mundial consume cerca del 80% de los recursos potenciales y produce el 80% de la contaminación ambiental. La población se ha incrementado diez veces en los últimos cien años debido a las innovaciones científicas y al incesante desarrollo tecnológico. Estas cifras se verán aumentadas de 6 billones a 10 billones de personas con el consecuente impacto sobre recursos en escasez.*
- ***Disparidad mundial:*** *Esta situación profundiza la brecha entre los países de alta tecnología y los países pobres. La mayoría de los estados con ingresos elevados tiene poblaciones de crecimiento estable pero la tasa de consumo de recursos continúa en alza. La pugna por comida, materias primas y espacios vitales entre los países industrializados y aquellos en vías de desarrollo se hará cada vez más severa.*
- ***Resultados:*** *En corto tiempo se alcanzará un impasse derivado de un crecimiento y desarrollo caóticos cuyas consecuencias ecológicas son ya visibles.*

- **Algunas cifras:** Los edificios son responsables de una gran parte del consumo de energía y de materia prima del mundo. Cerca del 25% de la tala forestal y el 16% del repliegue del agua potable son el resultado de este consumo. Las áreas edificadas producen alrededor del 40% de los desechos sólidos que van a parar a los basureros y afectan considerablemente las cuencas de agua, la calidad del aire, el hábitat natural y los patrones de transporte público.
- **Movimiento de Edificios Autosuficientes:** El severo impacto que tienen en el medio ambiente los materiales constructivos, las técnicas de construcción y el propio funcionamiento de los edificios, puede ser reducido. El movimiento de Edificios Autosuficientes emerge para reforzar un proyecto constructivo total que tenga en cuenta los efectos ecológicos, económicos y sociales de tales actividades.



Ilustración 4 Proyecto ganador 2006 IaaC

- **El futuro:** El concepto de edificio autosuficiente surge con el impulso de diversas comunidades interesadas en la conservación del agua, el aire y la tierra, en el uso eficiente de la energía y la búsqueda de recursos alternativos, todas ellas trabajando conjuntamente para desarrollar estrategias y sistemas alternativos de abordaje de la acción constructiva.

ANÁLISIS: El anterior artículo fue escrito en el 2006 y es el preámbulo a un concurso internacional al que se presentaron 524 proyectos provenientes de 108 países. Actualmente el concurso se lleva a cabo anualmente y cada vez es patrocinado por empresas diferentes. La versión 2011 fue patrocinada por HP y terminó el 5 de diciembre. En la categoría de vivienda unifamiliar, en el 2006, el proyecto propuesto por **Gaetan Kohler**, (ver Ilustración 4) en donde la idea fundamental consistía en explotar la especificidad local, hizo que esta propuesta fuera interesante desde un punto de vista técnico.

Además, esta propuesta fue una de las pocas que plantearon una agenda de autosuficiencia exhaustiva y bien articulada vinculada a la producción agrícola local, al considerar que los alimentos básicos son parte de las necesidades energéticas de la futura vivienda sostenible y autosuficiente.

Los miembros del jurado respondieron positivamente a la forma en que el diseño final se relacionaba con el existente paisaje y le otorgaron el primer lugar. El modelo presentado por los anfitriones tenía un costo inicial de 2000.000 €, sin incluir el solar.

1.6 METODOLOGÍA GENERAL

Los seres humanos se han enfrentado siempre al reto teórico y práctico de aumentar los conocimientos y de transformar la realidad circundante y así se han ido acumulando saberes sobre el entorno en el que vive.

Este conjunto de conocimientos que las personas tienen sobre el mundo, así como la actividad humana destinada a conseguirlos, es lo que se denomina **ciencia** (deriva del latín "*scire*" que significa: saber, conocer; su equivalente griego es "*sophia*", que significa el arte de saber). No obstante el título de ciencia no se puede aplicar a todo conocimiento, sino únicamente a los saberes que han sido obtenidos mediante una metodología -el método científico- y cumplen determinadas condiciones tales como que sea racional, sistemático, exacto, verificable y fiable.

Se entiende por conocimiento el saber consciente y fundamentado que se es capaz de comunicar y discutir; se corresponde con el término griego "*episteme*" y se distingue así del conocimiento vulgar o "*doxa*" que es simplemente recordado y que no se puede someter a crítica. Actualmente se considera que el **conocimiento** es un proceso, en oposición a la consideración de la filosofía tradicional que lo concebía como algo estático (las formas inmanentes pero permanentes de Aristóteles, el idealismo cartesiano...).

Así, lo que caracteriza a la ciencia actual no es la pretensión de alcanzar un saber verdadero sino, como afirma Popper, la obtención de un saber riguroso y contrastable: "*La ciencia debe conseguir estructurar sistemáticamente los conocimientos en función de unos princi-*

pios generales que sirven de explicación y poseen a aquéllos, dando una coherencia general y claridad inexistente anteriormente"

Y es que la ciencia no debe perseguir la ilusoria meta de que sus respuestas sean definitivas, ni siquiera probables; antes bien, su avance se encamina hacia una finalidad infinita: la de descubrir incesantemente problemas nuevos, más profundos, más generales y justificar nuestras respuestas al respecto. Por otra parte, como destaca Shulman, *"El conocimiento no crece de forma natural e inexorable. Crece por las investigaciones de los estudiosos (empíricos, teóricos, prácticos) y es por tanto una función de los tipos de preguntas formuladas, problemas planteados y cuestiones estructuradas por aquellos que investigan"* (1986: 9-10)¹¹

Bertran Russell (1969) señala que el método científico consiste en observar aquellos hechos que permiten al observador descubrir las leyes generales que los rigen y describe así el proceso de investigación científica: *"Para llegar a establecer una ley científica existen tres etapas principales: la primera consiste en observar los hechos significativos; la segunda en sentar hipótesis que, si son verdaderas, expliquen aquellos hechos; la tercera en deducir de estas hipótesis consecuencias que pueden ser puestas a prueba por la observación. Si las consecuencias son verificadas, se acepta provisionalmente la hipótesis como verdadera, aunque requerirá ordinariamente modificación posterior, como resultado del descubrimiento de hechos ulteriores."*

En tal virtud, en el presente proyecto se desarrolla una *metodología explorativa*, que tiene como finalidad investigar, estudiar y *analizar* cada uno de los procesos, relacionarlos según sus ventajas y desventajas y establecer el más adecuado para solucionar la problemática planteada.

El estudio se desarrolla desde tres puntos de vista como lo son: la investigación de la tecnología adecuada para el requerimiento; el diseño completo y modelado de la **vivienda-laboratorio** basado en un software tipo CAD y algunas simulaciones para evaluar tanto el comportamiento bioclimático como el dimensionamiento e instalación de sus componentes, así como realizar el análisis de la relación costo-beneficio del proyecto una vez sea ejecutado, para efectuar comparaciones entre la **vivienda-laboratorio** propuesta y una vivienda clásica existente, de modo que pueda calcularse la rentabilidad del proyecto.

Para la presente propuesta de investigación es necesario, en primera instancia, realizar una serie de estudios tanto climáticos, para evaluar el potencia natural y el recurso hídrico.

Posteriormente se establece la necesidad a satisfacer del lugar, teniendo en cuenta las cifras de consumo energético y costos por mes registrados y que se pretenden alcanzar. Luego de la recopilación de datos, se procede al diseño completo de la **vivienda-**

¹¹ Arias G. Fidas; EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Editorial Episteme. Caracas, 1999. Disponible en <http://peremarques.pangea.org>

laboratorio utilizando las estrategias pasivas conocidas y al estudio y correcta selección de su arquitectura y de los materiales para su construcción. Posteriormente se realizará un modelo digital en un software validado para aplicaciones de arquitectura bioclimática, a fin de corroborar los cálculos analíticos y digitales realizados. Las fuentes primarias utilizadas para el desarrollo de esta propuesta de investigación son básicamente las instituciones que estudian la climatología e hidrología colombiana, libros, enciclopedias en línea, páginas de internet, artículos, etc., que se han venido relacionando en la bibliografía/cibergrafía.

1.7 METODOLOGIA PARTICULAR

EL análisis y validación del modelo se espera hacer por medio de una metodología específica basada en:

- El cálculo analítico directo de algunas variables cuya metodología de diseño se conozca claramente y pueda resolverse por métodos matemáticos convencionales.
- La simulación digital en programas de computador conocidos como ECOTECT®, RADIANCE®, AUTOCAD® y DIALUX®.

1.8 OBJETIVOS

GENERAL: Diseñar una Vivienda-Laboratorio en el emplazamiento específico clasificado como clima húmedo tropical en Cali, Colombia, aplicando las técnicas del diseño bioclimática, que sea autosuficiente en materia de energía para proveer suficiente confort a dos tipos de habitantes: los profesionales que laboran en un laboratorio de metrología y fabricación de prototipos industriales y aquellos (o ellos mismos) que utilizan otra parte de la instalación como vivienda temporal, en razón a que vienen a hacer trabajos específicos al laboratorio o bien, porque residen lejos y les es más conveniente vivir en las propias instalaciones, reduciendo enormemente las necesidades de movilidad diaria. Este mecanismo se utiliza actualmente en un Centro de Investigación y ha resultado muy confortable para el personal, tanto en su rendimiento como en sus condiciones de vida, incluyendo algunas actividades recreativas y sociales que allí se realizan.

PARTICULARES:

- Estudiar el emplazamiento desde la perspectiva de la bioclimática para lograr la ubicación y orientación óptima del edificio, dentro del solar disponible
- Estudiar las necesidades de espacio, confort, energéticos y de recursos naturales de los futuros habitantes
- Resolver la forma de obtener la energía y los recursos naturales requeridos, así como de su disposición final compatible con la sostenibilidad
- Realizar el diseño arquitectónico basado en las restricciones y estrategias bioclimáticas apropiadas para lograr el confort de los habitantes.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 RELACIÓN CONFORT ENERGÍA Y FÍSICA

De un tiempo para acá se habla de arquitectura sostenible y muchos afirman que proyectan y construyen edificios sostenibles¹². Desgraciadamente, en la mayoría de los casos se trata de afirmaciones que no corresponden a la realidad. La razón de la distancia entre las intenciones y los hechos son numerosas, pero **la principal se encuentra en el escaso conocimiento que los arquitectos tienen de la Física**. De hecho, la arquitectura sostenible se basa en la capacidad de hacer dialogar el producto humano, el edificio, con el ambiente natural. Para establecer un diálogo es necesario tener un lenguaje en común. Y precisamente, el lenguaje que el hombre ha desarrollado para comunicarse con el ambiente natural es la física y sus hijas la química, a la biología y a la ecología.

Pero hay más. Si se consume energía y se genera un impacto sobre el medio ambiente construyendo y haciendo funcionar los edificios, es porque se quiere crear y mantener las condiciones adecuadas de confort. Pero el confort es un fenómeno fisiológico (además de psicológico), y la fisiología usa precisamente el lenguaje de la física.

En consecuencia, los edificios hoy día están llenos de aparatos más o menos “devoradores de energías” que garantizan una elevada calidad de vida y que, mientras funcionan, contribuyen a aumentar el impacto ambiental del edificio. Y las tecnologías funcionan con base en los principios de la física.

Por tanto, no es posible proyectar edificios sostenibles si no se conocen, al menos, los rudimentos esenciales de la física y en particular, de la termodinámica. Gracias al conocimiento de estos rudimentos el arquitecto podrá mantener un verdadero diálogo con el medioambiente y podrá ejercer el necesario control sobre los especialistas, los expertos en sistemas energéticos y los instaladores.

La historia del confort y de su relación con la energía permite comprender el proceso evolutivo al que ha estado sometida la habitación, desde el papel de modulador pasivo de las condiciones ambientales externas, al del ambiente confinado con confort higró-termico y luminoso totalmente controlado, hasta llegar a las funciones domóticas sofisticadas que crea y mantiene las condiciones ambientales preferidas, elimina la fatiga física relativa a la actividad doméstica y reduce al mínimo el impacto sobre el medioambiente. Esta última fase del proceso evolutivo se identifica con la casa ecológica, que no es simplemente un edificio bien aislado, con la cubierta verde o con bajo consumo de energía para la calefación.

¹² Fuente: Butera, Federico. **Por qué un arquitecto debe conocer las bases de la física, los principios en los que se basa el confort y la historia de las relaciones entre confort y energía**. REVISTA LE CARRÉ BLEU ¼ 2010.

ción; es un organismo complejo, sofisticado, cuya piel -como la nuestra- modifica sus características en función de las condiciones ambientales externas e internas y cuyos órganos, el climatizador, la lavadora, el televisor, forman parte de un sistema integrado gobernado por un cerebro y un sistema nervioso. El edificio sostenible es un sistema complejo, dinámico, rico en funciones, y para proyectarlo necesita integrar un amplio espectro de conocimientos y competencia. La historia de la evolución de la casa, de “choza” a robot es una parte esencial del bagaje de conocimientos del arquitecto de hoy, si quiere (y debe) aprender a proyectar edificios, barrios y ciudades sostenibles.

2.2 EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y LA BIOCLIMÁTICA

2.2.1 QUÉ ES LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE

La arquitectura sustentable¹³, también denominada arquitectura sostenible, arquitectura verde, eco-arquitectura y arquitectura ambientalmente consciente, es un modo de concebir el diseño arquitectónico de manera sostenible, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de la edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes.

Los principios de la arquitectura sustentable incluyen:

- La consideración de las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del entorno en que se construyen los edificios, para obtener el máximo rendimiento con el menor impacto.
- La eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, primando los de bajo contenido energético frente a los de alto contenido energético
- La reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación y otros equipamientos, cubriendo el resto de la demanda con fuentes de energía renovables
- La minimización del balance energético global de la edificación, abarcando las fases de diseño, construcción, utilización y disposición final durante su vida útil.
- El cumplimiento de los requisitos de confort higrotérmico, salubridad, iluminación y habitabilidad de las edificaciones

2.2.2 ORIGEN DEL TÉRMINO

El término "arquitectura sustentable" proviene de una derivación del término "desarrollo sostenible" (del inglés: sustainable development) que la primer ministro noruega Gro Brundtland incorporó en el informe "Nuestro futuro común" (Our common future) pre-

¹³ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable

sentado en la 42ª sesión de las Naciones Unidas en 1987. "El desarrollo es sustentable cuando satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que satisfagan sus propias necesidades" definió Gro Brundtland. En dicho informe se hacía hincapié en que el empobrecimiento de la población mundial era una de las principales causas del deterioro ambiental a nivel global y por tanto, debía buscarse una solución en la redistribución de los recursos.

En 1992 los jefes de estado reunidos en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro se comprometieron a buscar juntos "... las vías de desarrollo que respondan a las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras de satisfacer las suyas".

Así el concepto del desarrollo sostenible se basa en tres principios:¹⁴

- El análisis del ciclo de vida de los materiales. la eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, primando los de bajo contenido energético frente a los de alto contenido energético
- La reducción de las cantidades de materiales y energía utilizados en la extracción de recursos naturales, su explotación y la destrucción o el reciclaje de los residuos.
- la consideración de las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del entorno en que se construyen los edificios, para obtener el máximo rendimiento con el menor impacto.
- la reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación y otros equipamientos, cubriendo el resto de la demanda con fuentes de energía renovables
- la minimización del balance energético global de la edificación, abarcando las fases de diseño, construcción, utilización y final de su vida útil.
- el cumplimiento de los requisitos de confort higrotérmico, salubridad, iluminación y habitabilidad de las edificaciones.



Ilustración 5 Arquitectura sustentable. Arq. Jacob del Ángel

Durante esta reunión en Río de Janeiro se realizó una reunión paralela¹⁵, convocada por académicos, investigadores y ONG mundiales para debatir acerca de cual era el estado del conocimiento en cada campo respecto de cada línea de conocimiento.

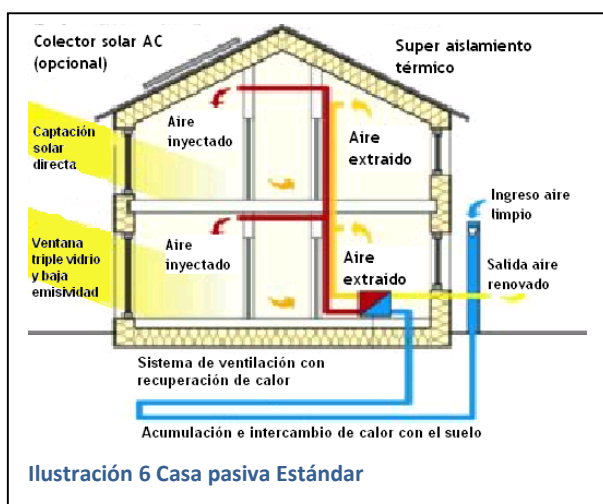
¹⁴ Fuente: Gauzin-Müller (2001). *L'Architecture écologique*. Edit Groupe Monitor. Versión en español: *Arquitectura ecológica* publicada en 2002 por Edit G. Gili. [ISBN 978-84-252-1918-4](https://www.isbn-international.org/number/978-84-252-1918-4)

Hubo centenares de trabajos de todo el mundo entre los cuales se encontraban los arquitectos con "conciencia ambiental" mayoritariamente provenientes de corrientes previas como la arquitectura solar, la arquitectura bioclimática o la arquitectura alternativa. Dada la precaución del mundo académico a la hora de consensuar nuevos conceptos y la adopción por parte del Diccionario de la Real Academia Española se posibilitó traducir "sustainable" como "sostenible" pero dejando dudas en su uso.

No obstante lo anterior, esta arquitectura permite mantener las formas y estilos del arquitecto, tal y como se observa en la Ilustración 5, que corresponde a una obra del Arquitecto y ambientalista Jacob del Ángel.

En la península ibérica el término inglés "sustainable" se traduce comúnmente como sostenible mientras que en América latina está más extendido el término sustentable; sin embargo, ambas expresiones se refieren a un mismo concepto.

En 1998 la Escuela de Arquitectura y Planeamiento Urbano de la Universidad de Míchigan publicó el documento **An Introduction to Sustainable Architecture** donde se sintetizan los principios de la Arquitectura Sustentable¹⁶



En el año 2004 se publicó el Diccionario de arquitectura en la Argentina donde aparece la voz "bioclimática/ bioambiental/solar pasiva/ sustentable/ ambientalmente consciente (Arquitectura)" para unificar una línea de pensamiento de la arquitectura¹⁷. Y se define: "... aplicados al diseño y la arquitectura, estos adjetivos se integran en construcciones que designan las estrategias y los edificios que son concebidos, se construyen y funcionan de acuerdo con los condicionantes y posibilidades ambientales del lugar (clima, valores ecológicos), sus habitantes y modos de vida.

Esto se logra mediante dos subsistemas: el de conservación y uso racional de la energía y el de los sistemas solares pasivos, incorporados ambos al organismo arquitectónico. Por extensión se aplican al urbanismo...".

¹⁵ *Nuestras propias soluciones. Cien testimonios.* Actas de la ECO'92 en Río de Janeiro

¹⁶ Kim, Jong-Jin; Rigdon, Brenda. POLLUTION PREVENTION IN ARCHITECTURE. National Pollution Prevention Center For Higher Education

¹⁷ Rosenfeld, E.; Czajkowski J.; San Juan, G. (2004) en Diccionario de Arquitectura en la Argentina. Edit. Clarín. Tomo 1, pág 157. ISBN 950-782-423-5

Dado que la polémica continuaba no resultó extraño que recién en octubre del año 2005 se realizase en la ciudad de Montería (Colombia) el Primer Seminario Internacional de Arquitectura Sustentable, Sostenible y Bioclimática, con el fin de reunir a especialistas iberoamericanos a dirimir el enfoque de cada sub-corriente y encontrar acuerdos.

En marzo de 2006 se publicó en el diario de mayor tirada de la Argentina el coleccionable Arquitectura sustentable para aclarar a la comunidad de arquitectos el uso del término, explicitar sus fundamentos, analizar diez obras significativas a nivel mundial, junto a un manual de aplicación para los climas del país¹⁸.

Una casa que utilice las estrategias pasivas, como la mostrada en la Ilustración 6 incorpora colectores solares para el calentamiento del agua, un súper-aislamiento térmico en techos, piso y paredes, ventanas orientadas para captar la energía calórica del sol en invierno, y otras para dejar pasar la luz solar solamente (para lo cual cuentan hasta con triple vidrio), la ventilación tiene recuperadores de calor y llega hasta tener acumuladores de calor en el suelo.

2.2.3 ENERGÍA Y ARQUITECTURA

La eficiencia energética es una de las principales metas de la arquitectura sustentable, aunque no la única. En Arquitectura utilizan diversas técnicas para reducir las necesidades energéticas de edificios mediante el ahorro de energía y para aumentar su capacidad de capturar la energía del sol o de generar su propia energía.

Entre estas estrategias de diseño sustentable se encuentran la calefacción solar activa y pasiva, el calentamiento solar de agua activo o pasivo, la generación eléctrica solar, la acumulación freática o la calefacción geotérmica, y más recientemente la incorporación en los edificios de generadores eólicos.

El impacto ambiental del diseño edilicio, su construcción y operación son enormes. Como ejemplo, los edificios en los Estados Unidos son responsables del 39% de las emisiones de CO₂ y del 40% del consumo de energía primaria, el 13% del consumo de agua potable y el 15% de PBI por año¹⁹.

2.2.4 CALEFACCION EFICIENTE

Los sistemas de climatización (ya sea calefacción, refrigeración o ambas) son un foco primario para la arquitectura sustentable porque son típicamente los que más energía consumen en los edificios. En un edificio solar pasivo el diseño permite que éstos aprovechen

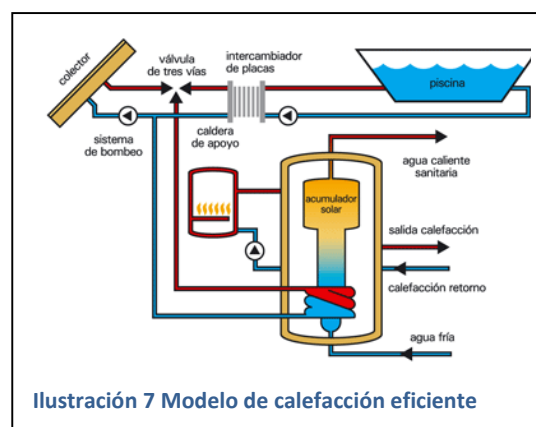
¹⁸ Czajkowski - Gómez **Cátedra de Instalaciones** - FAU-UNLP (2006). Arquitectura Sustentable. Editorial Clarín. Buenos Aires, Argentina.

¹⁹ Prólogo del Estándar 189.1-2009 ANSI/ASHRAE/USGBC/IES. Atlanta, EEUU.

la energía del sol eficientemente sin el uso de ciertos mecanismos especiales, como por ejemplo: células fotovoltaicas, paneles solares, colectores solares (calentamiento de agua, calefacción, refrigeración, piscinas), valorando el diseño de las ventanas. Estos mecanismos especiales se encuadran dentro de los denominados sistemas solares activos.

Los edificios concebidos mediante el diseño solar pasivo incorporan la inercia térmica mediante el uso de materiales de construcción que permitan la acumulación del calor en su masa térmica como el hormigón, la mampostería de ladrillos comunes, la piedra, el adobe, la tapia, el suelo cemento, el agua, entre otros (caso muro Trombe). Además es necesario utilizar aislamiento térmico para conservar el calor acumulado durante un día soleado. Por otra parte, para minimizar la pérdida de calor se busca que los edificios sean compactos y se logra mediante una superficie de muros, techos y ventanas bajas respecto del volumen que contienen. Esto significa que los diseños muy abiertos de múltiples alas o con forma de espina deben ser evitados prefiriendo estructuras más compactas y centralizadas. Los edificios de alta compacidad tradicionales en los climas muy fríos son un buen modelo histórico para un edificio energéticamente eficiente.

Las ventanas se utilizan para maximizar la entrada de la luz y energía del sol al ambiente interior mientras se busca reducir al mínimo la pérdida de calor a través del cristal (un muy mal aislante térmico). En el hemisferio sur implica generalmente instalar mayor superficie vidriada al norte para captar el sol en invierno y restringir al máximo las superficies vidriadas al sur. Esta estrategia es adecuada en climas templados a muy fríos. En climas cálidos a tropicales se utilizan otras estrategias. El uso del doble vidriado hermético (DVH) reduce a la mitad las pérdidas de calor aunque su costo es sensiblemente más alto. Es recomendable plantar delante de las ventanas orientadas a los cuadrantes NO-N-NE, árboles de hojas caducas para bloquear el sol excesivo en verano y a su vez permitir el paso de la luz solar en invierno cuando desaparecen sus hojas. Las plantas perennes se plantan a menudo al sur para actuar como una barrera contra los fríos vientos del sur²⁰.



La Ilustración 7 presenta el esquema de un sistema de calefacción eficiente, en el que combina la energía solar, calentamiento de agua para la piscina, agua caliente sanitaria y calefacción, en un solo sistema.

²⁰ Fuente: Javier Neila González, F. (2004) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Edit Munilla-Lería, Madrid.

2.2.5 ENFRIAMIENTO EFICIENTE

Cuando por condiciones particulares sea imposible el uso del refrescamiento pasivo, como por ejemplo, edificios en sectores urbanos muy densos en climas con veranos cálidos o con usos que implican una gran generación de calor en su interior (iluminación artificial, equipamiento electromecánico, personas y otros) será necesario el uso de sistemas de aire acondicionado.

Dado que estos sistemas usualmente requieren el gasto de 4 unidades de energía para extraer 1 del interior del edificio, entonces es necesario utilizar fuertes y activas estrategias de diseño sustentable. Entre otras:

- Adecuada protección solar en todas las superficies vidriadas.
- Evitar el uso de vidriados en techos.
- Buen aislamiento térmico en muros, techos y vidriados.
- Concentrar los espacios de gran emisión de calor (ejemplo: computadoras, cocinas, etc.) y darles ventilación al exterior.
- Sectorizar los espacios según usos.
- Utilizar sistemas de aire acondicionado con certificación energética a fin de conocer su nivel de eficiencia.
- Ventilar los edificios durante la noche.

Con esto se colaborará en reducir el calentamiento global y el agujero de ozono en la atmósfera.

2.2.6 REFRESCAMIENTO PASIVO

En climas muy cálidos donde es necesario el refrescamiento el diseño solar pasivo también proporciona soluciones eficaces. Los materiales de construcción con gran masa térmica tienen la capacidad de conservar las temperaturas frescas de la noche a través del día.

Para esto es necesario espesores en muros o techos que varían entre los 15 a 60 cm y así utilizar a la envolvente del edificio como un sistema de almacenamiento de calor.

Es necesario prever una adecuada ventilación nocturna que barra la mayor superficie interna evitando la acumulación de calor diurno. Puede mejorarse significativamente la ventilación en el interior de los locales con la instalación de una chimenea solar. Durante el día la ventilación debe ser mínima. Así al estar más frescos los muros y techos tomarán calor corporal dando sensación de frescura.

La Ilustración 8 representa un modelo arquitectónico para utilizar la geotermia como acumulador de energía para uso como calefacción o refrescamiento (en verano).

En climas muy cálidos los edificios se diseñan para capturar y para encauzar los vientos existentes, particularmente los que provienen de fuentes cercanas de humedad como lagos o bosques. Un resumen de las principales estrategias utilizadas para el refrescamiento arquitectónico contempla los siguientes puntos:

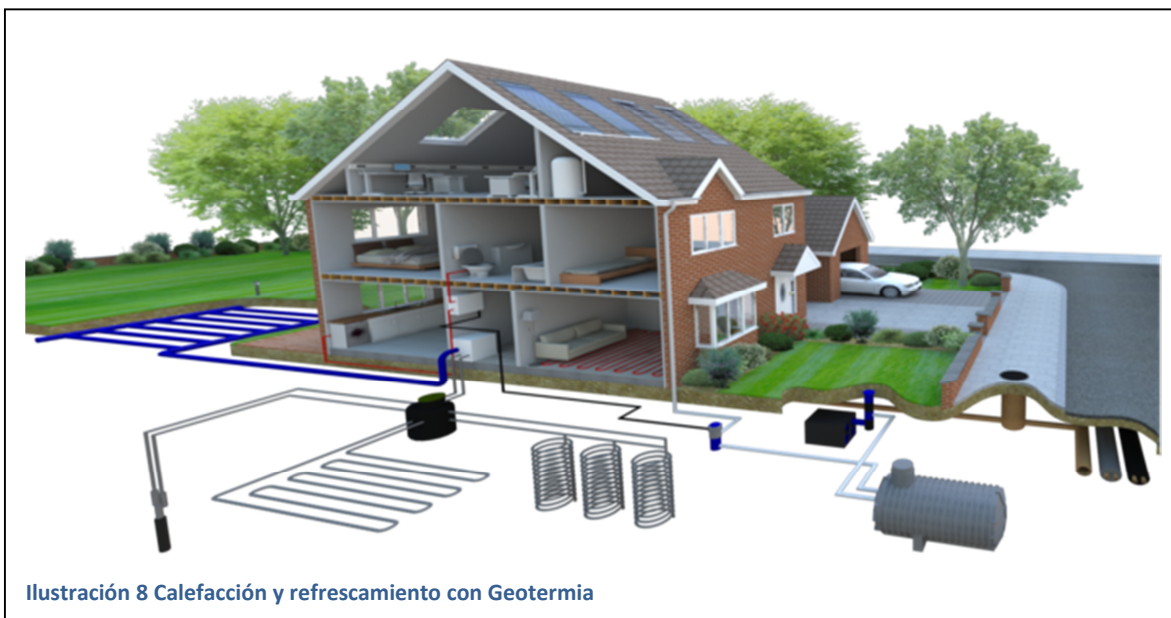


Ilustración 8 Calefacción y refrescamiento con Geotermia

1. VENTILACION NATURAL. Consiste en adecuar ventanas en lo alto y bajo de los muros paralelos para que circule el aire exterior al interior. Pueden utilizarse ventanas de doble o triple vidrio para reducir la cantidad de calor que recibe el interior.
2. HERMETISMO. Utilizar puertas y ventanas herméticas pueden reducir los costos de enfriamiento de un lugar. Evita el ingreso de calor a un edificio
3. RADIACION NOCTURNA. Placa radiadora al cielo para utilizarla de noche. Un recinto a enfriar y algún dispositivo que realice la conexión térmica entre la placa y el recinto. Sirve si hay cielos despejados y baja humedad relativa.
4. CONVECCION NATURAL. Utilizando un circuito por donde circula un fluido de trabajo como etanol o butano conectados a un radiador (afuera del edificio) y un colector (adentro). El calor fluirá de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica. Se usan estos componentes por las temperaturas a que se quiere llegar y por su accesibilidad.
5. ENFRIAMIENTO POR TUBO DE CALOR. Consiste en un tubo cerrado o cámara de diferentes geometrías cuya superficie interna se recubre con una mecha capilar. Luego de hacer vacío, esta mecha se satura con un líquido de trabajo en su fase líquida y el resto del volumen del tubo contiene el mismo fluido en la fase vapor. Se aprovecha el calor latente del fluido para llevar el calor de un foco caliente a uno frío.

6. MURO TROMBE. Es un sistema creado en Francia en el año de 1957 por Félix Trombe y Jacques Michel. Es un colector de energía solar compuesto de una superficie vidriada o de plástico transparente, una cámara de aire y una masa térmica (bloques de concreto, adobe, piedra). Trabaja absorbiendo radiación solar en la cara exterior y transfiriendo este calor a través de la pared por conducción. Se añaden orificios en la pared para distribuir por ventilación el calor dentro de una habitación. Trabaja por convección (termo-circulación), exclusivamente durante el día.

7. MURO VERDE Llamado también jardín vertical, muro vivo, muro vegetal, “Green-wall” consiste en un sistema diseñado para desarrollar el crecimiento de una gran variedad de plantas nativas sin necesidad de utilizar materia orgánica. Protege fachadas contra la radiación solar, sirve como aislante térmico y acústico y tiene la capacidad de filtrar grandes cantidades de aire. Se utiliza cada vez más en interiores como parte del diseño arquitectónico. A diferencia de las azoteas verdes, su uso en espacios confinados otorga enormes posibilidades para la creatividad en el diseño de proyectos de interiorismo. La tendencia a utilizar muros verdes ha visto un



Ilustración 9 Muro Verde. Bogotá

crecimiento exponencial gracias a la aportación del botánico francés Patrick Blanc, investigador desde 1982 en el Centre National de la Recherche Scientifique en París, quién no sólo ha encontrado la forma de hacer crecer cientos de plantas de todo tipo sin necesidad de materia orgánica, si no que lo ha convertido en un arte. Sus proyectos se exhiben en las principales ciudades del mundo²¹. La Ilustración 9 muestra una de las últimas obras de la empresa *Paisajismo urbano*®, en Bogotá DC²².

8. CÁMARAS DE AIRE. Entre los Años 60 y 70, las edificaciones carecían de aislamiento térmico y solo tenían una cámara de aire en su envolvente. Una opción viable para mejorar su aislamiento térmico es rellenar esta cámara con espuma de poliuretano. Esta opción tiene la ventaja de que no altera la configuración interior y exterior del espacio, no precisa costosos medios auxiliares de calefacción.

Muchas de estas estrategias valiosas son empleadas de cierta manera por la arquitectura tradicional de regiones cálidas²³.

²¹ Fuente: <http://www.econstruccion.com.mx/verde02.html>

²² Fuente: <http://www.paisajismourbano.com/pro-18-jardin-vertical-en-Bogota-Colombia.html>

²³ Givoni B, A. (1976) *Man, Climate and Architecture*. Architectural Science Services. Publishers. Ltd. London.

2.2.7 GENERACION DE ENERGIA ALTERNATIVA EN EDIFICIOS

Las energías alternativas en la arquitectura implican el uso de dispositivos solares activos, tales como paneles fotovoltaicos o generadores eólicos que ayudan a proporcionar electricidad sustentable para cualquier uso. Si los techos tienen pendientes hay que tratar de ubicarlas hacia el mediodía solar con una pendiente tal que optimice la captación de la energía solar a fin que los paneles fotovoltaicos generen con la eficacia máxima.

Para conocer la pendiente óptima del panel fotovoltaico en invierno (cuando el día es más corto y la radiación solar más débil) hay que restar al valor de la latitud del lugar el ángulo de la altura del sol. La altura del astro la obtendremos de una carta solar. Se han construido edificios que incluso se mueven a través del día para seguir al sol.

Los generadores eólicos se están utilizando cada vez más en zonas donde la velocidad del viento es de 5 a 25 m/seg. Para que los tamaños de las hélices sean menores a 8 m de diámetro. La Ilustración 10 corresponde a la **Torre Strata, en Londres**. Un rascacielos de 148 metros de altura, que genera el 8% de su propio consumo energético mediante tres turbinas eólicas en su parte superior, lo que lo convierte en el primer edificio en generar energía con su propia estructura.



Ilustración 10 Edificio que genera su propia energía

El proyecto estructural es de las firmas WSP-Structural y M&E Engineer.

Los sistemas de calefacción solar activos mediante agua cubren total o parcialmente las necesidades de calefacción a lo largo del año de una manera sustentable. Los edificios que utilizan una combinación de estos métodos alcanzan la meta más alta que consiste en una demanda de energía cero y en los 80s se denominaban autosuficientes. Una nueva tendencia consiste en generar energía y venderla a la red para lo cual es necesario contar con legislación específica, políticas de promoción de las energías renovables y programas de subsidios estatales.

De esta forma se evitan los costos excesivos que representan los sistemas de acumulación de energía en edificios.

Uno de los ejemplos más notables es la Academia de Mont-Cenis en Alemania de los arquitectos Jourda & Perroudin inaugurado en 1999²⁴.

Otras formas de generación de energía basadas en fuentes renovables son la energía solar térmica (para calefacción, agua caliente sanitaria y aire acondicionado), biomasa o incluso la geotérmica. Lo ideal para garantizar el suministro energético durante todo el año, bajo condiciones climáticas y ambientales cambiantes, es combinar las diferentes fuentes.

2.2.8 RASCACIELOS DE ARQUITECTURA VERDE

Es posible una arquitectura de rascacielos que respete el medio ambiente y sobre todo que sea sostenible, como es el caso de la arquitectura vertical. Su energía se produciría a partir de los propios recursos del edificio, los cuales serían áreas con todo tipo de departamentos y establecimientos, pero con autosuficiencia energética a partir de las energías renovables y no contaminantes. Resumiendo, los rascacielos pueden ser adaptados a la arquitectura verde y sostenible.



Ilustración 11 Torre Hearst. Arq. Norman Foster. NY.

La arquitectura verde no se refiere sólo a la implantación de vegetales y plantas en construcciones y edificaciones urbanas, como se ha considerado tradicionalmente, sino principalmente a la dedicación de técnicas basadas en la sostenibilidad y energías renovables. El término verde no sólo es el de las plantas, sino el color de todo un movimiento a favor cuidar el medio ambiente y por tanto nuestra vida, nuestro planeta.

La **Torre Hearst** mostrada en la Ilustración 11 es obra del arquitecto Norman Foster y fue inaugurada en junio de 2006, convirtiéndose en el primer rascacielos de Nueva York en recibir la acreditación LEED.

Con 182 metros de altura y 46 plantas, el edificio fue construido con materiales reciclados, incluso más del 90% del acero usado contenía material reciclado.

La estructura en forma de diamante del edificio fue ideada para consumir menos acero, pero consiguiendo la misma rigidez. De hecho, se calcula que se ha utilizado un 20% me-

²⁴ Referencia: <http://www.akademie-mont-cenis.de/en/index.html>

nos acero que con una estructura convencional, lo que equivale a 2000 toneladas menos de este material.

En el tejado hay un sistema de recogida de aguas lluvias, la cual es usada posteriormente para el sistema de refrigeración, para una fuente ornamental y para el riego de las plantas.

Además, incorpora sensores de luz diurna para reducir el consumo de electricidad en iluminación en un 8.5% y aprovechar la mayor cantidad de luz natural posible.

Igualmente, otro tipo de sensores de presencia detectan las personas en la habitación, de manera que tanto las luces como los ordenadores se apagan automáticamente cuando no hay nadie.

2.3 ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DEL DISEÑO

2.3.1 MATERIALES AISLANTES TERMICOS

La selección de los materiales con los cuales se construyen las viviendas es una de las más importantes estrategias a usar en arquitectura bioclimática. Un buen aislante térmico puede evitar desperdiciar en un edificio hasta un 30% de energía, que se traduce en una reducción de la factura eléctrica y del gas y en las emisiones de CO₂ perjudiciales para el medio. El consumo energético durante la vida útil de las viviendas - cuyo gasto recae en el residente - ha sido algo secundario en la construcción pero significa alrededor del 20% de la energía total consumida en el mundo. Por otra parte, hoy día, las buenas prácticas constructivas obligan al sector a cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética en los edificios nuevos y en los que se rehabiliten. Al fin y al cabo, la energía más ecológica y barata es la que no se gasta.

Algunas de estas medidas no suponen un excesivo desembolso económico y consiguen resultados aceptables. Es lo que sucede con la instalación de un buen aislamiento térmico. La pérdida de calor de los edificios convencionales es considerable: según el **Energy Saving Trust**, una casa sin buenos aislamientos puede desaprovechar sólo por sus paredes alrededor de un 33% de su energía calórica²⁵.

Gracias a estos sistemas, la vivienda deja fuera el frío del invierno, manteniendo el calor interior y, de la misma forma, impide el paso de las altas temperaturas del verano. En definitiva, el usuario logra ahorros importantes en calefacción, agua o aparatos de climatización. Y el medio ambiente evita el impacto del gasto energético. Las posibilidades son muy diversas: Entre las medidas convencionales, se encuentran el aislamiento de paredes o muros exteriores, techos o cubiertas, carpinterías exteriores, ventanas y vidrios, protec-

²⁵ Fuente: <http://www.energysavingtrust.org.uk/Insulation/Solid-wall-insulation>

ciones solares y especialmente los puentes térmicos como los que se forman en las vigas estructurales que comunican el exterior con el interior de la edificación. Así mismo, los equipos y redes de tuberías de las instalaciones de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria, convenientemente aislados, también pueden suponer ahorros energéticos. Algunos materiales para uso en paredes son:

01 Poliestireno expandido (EPS)²⁶

Material plástico espumado, derivado del poliestireno. Por su versatilidad y facilidad de conformado, además de sus excelentes cualidades y propiedades, el poliestireno expandido presenta un amplio abanico de aplicaciones. En el sector de la construcción es conocido como Corcho Blanco y se utiliza como material de aligeramiento y aislamiento térmico. Puede tener gran variedad de espesores, con densidades que oscilan los 10 y 25 kg/m³ y una conductividad térmica entre 0,06 y 0,03 (W/m K), aunque esto solo sirve de referencia, pues dependiendo del fabricante estos parámetros pueden variar.

El poliestireno expandido comparte muchas características con el poliestireno extruido, pues su composición química es idéntica: aproximadamente un 95% de poliestireno y un 5% de gas. La diferencia radica únicamente en el proceso de conformación; pero es una diferencia crucial, ya que la extrusión produce una estructura de burbuja cerrada, lo que convierte al poliestireno extruido en el único aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades. Otras diferencias entre el expandido y el extruidos son:



Ilustración 12 Poliestireno expandido

- Expandido: menos denso
- Expandido: no va machihembrado
- Expandido: al tener el poro abierto absorbe la humedad
- Expandido: menor resistencia mecánica

Por lo tanto el extruido es más utilizado en aislamiento de cubiertas y suelos mientras que el expandido se utiliza para tabiques no para fachadas. Véase la Ilustración 12

²⁶ Fuente: http://www.paredestudio.com.ar/novedades/aislantes_muros_techos.html

Un ejemplo de este material es el TECNOPOLEX®, cuya gama de productos proporciona diversas densidades, tamaños y espesores. La medida más popular es 2000 x 1200 mm en espesores de 20, 30 y 40 cm y en densidad de 10 kg/m³.

02 Poliestireno extruido (XPS)

El Poliestireno Extruido (XPS), es un aislante duradero, resistente al agua, de elevadas prestaciones mecánicas y no se pudre. Colocado sobre la impermeabilización (cubierta invertida) además de aislar protege la lámina impermeable, mejorando su durabilidad. Véase la Ilustración 13



Ilustración 13 Poliestireno extruido

Este material, que era conocido como STYRODUR por ser de las primeras marcas que se introdujeron al mercado Español, posee una conductividad térmica típica λ entre 0,033 y 0,036 W/m K, presenta una baja absorción de agua, unas prestaciones mecánicas muy altas (entre 200 y 700 kPa) y una densidad en torno a los 33 kg/m³. El modo de transferencia de calor del poliestireno es más útil en condiciones de frío donde se producen pérdidas significativas. Para ambientes calurosos en climas cálidos, donde la radiación solar es la fuente de ganancia de calor, funcionan mejor las

barreras para radiaciones como elemento de control térmico. La orientación de la superficie y la dirección de flujo de calor determinan la eficacia de una barrera radiante. Su uso como barrera radiante hace que funcione mejor para detener la transferencia de calor, desde o hacia, las superficies horizontales.

03 Espuma rígida poliuretano

Entre sus principales características se destacan su alta resistencia térmica, que permite utilizar espesores menores de panel aislante, su rigidez y su ligereza que facilitan la manipulación y puesta en obra. El alto poder aislante del panel PUR permite asegurar un alto confort térmico una vez instalado. La combinación única de propiedades que se da en la espuma de poliuretano son:

- Coeficiente de conductividad térmica muy bajo, entre 0,036 y 0,046 W/m K.
- Elevada resistencia a la compresión, 65 Kg/cm²

- Baja transmisión del vapor de agua, baja absorción de agua, 490 gr/m² sumergida
- Amplio margen de temperatura de trabajo entre -200 y +100 °C
- Facilidad de mecanizado densidad de 38 a 40 Kg/m³

Estas características la hacen especialmente indicada para una amplia gama de aplicaciones arquitectónicas y en la industria del frío. Véase la Ilustración 14

04- Aerosol de espuma de poliuretano (SPUR)

Es una mezcla de dos componentes que se reúnen en la punta de una pistola y constituye una espuma que se rocía en losas de hormigón, en las cavidades de la pared sin terminar, contra la parte interior de revestimientos, o a través de los agujeros perforados en revestimientos o paneles de roca de yeso en la pared de la cavidad de un muro terminado. Véase la Ilustración 15.



Ilustración 14 Espuma rígida de Poliuretano

Ventajas

- Bloquea el flujo de aire mediante la ampliación y cierre de fugas.
- Puede servir como una barrera de vapor con una mejor calificación por permeabilidad o barreras de vapor con láminas de plástico y en consecuencia, reducir la acumulación de humedad, que puede causar el crecimiento de mohos.
- Puede rellenar cavidades en la pared acabada, en paredes sin fisuras (según sea necesario con placas). Densidad de 35 a 40 Kg/m³
- Funciona bien en espacios reducidos.
- Proporciona un mejor aislamiento acústico.
- Al curarse se expande brindando una excelente resistencia a la infiltración de aire (a diferencia de placas y mantas) Es comparable al aerosol húmedo de celulosa.
- Aumenta la estabilidad estructural (a diferencia de las partículas sueltas o granulado). Resistencia a la compresión de 1,5 a 2,5 Kg/cm²



Ilustración 15 Aerosol de SPUR

- Puede ser utilizado en lugares en donde no se llega con material granulado, como las entre las vigas. Cuando se utiliza entre los tirantes, los aerosoles de espuma pueden cubrir hasta los clavos sobresalientes de la parte inferior del revestimiento.
- Puede ser aplicado en pequeñas cantidades.

Desventajas

- Muchas de estas formas de aislamiento (excepto espuma hormigón) liberan productos químicos nocivos en el aire, reduciendo la calidad del aire interior. Los gases usados en la expansión son extremadamente tóxicos para la salud humana.
- El costo puede ser alto en comparación con el aislamiento tradicional (lana de vidrio o poliestireno expandido).
- La mayoría o la totalidad de estas espumas liberan vapores tóxicos cuando se queman.
- Dependiendo de la utilización y los códigos de construcción, la mayoría de las espumas requieren protección, con una barrera como tabiques de roca de yeso en el interior de una casa. Aunque tiene clasificación ASTM como “difícilmente combustible”.
- A pesar de que los CFC ya no se utilizan, muchos utilizan HCFC o HFC como agentes espumantes. Ambos son potentes gases de efecto invernadero, y los HCFC tienen algún potencial de agotamiento del ozono.
- La mayoría, como el poliuretano y el isocianato, contienen sustancias químicas peligrosas como el benceno y el tolueno. Se trata de un peligro potencial y preocupación por el medio ambiente durante la producción de materia prima, transporte, la fabricación y la instalación.
- Los aislantes de espuma se realizan a partir de productos petroquímicos y puede ser una preocupación para aquellos que buscan reducir el uso de combustibles fósiles y el petróleo.
- La Resistencia térmica, disminuirá ligeramente con el tiempo, aunque la degradación del R se detiene una vez que se alcanza un equilibrio con el medio ambiente. Incluso después de este proceso, se estabiliza es muy alto el valor de R. ($\lambda=0.017$ a 0.020 W/m °K nueva y $\lambda=0.022$ a 0.025 W/m °K al envejecer.
- La mayoría de las espumas requieren protección de la luz solar y disolventes.
- Es difícil reciclar algunas espumas en un edificio existente, por la estructura de las sustancias químicas y procesos implicados.



Ilustración 16 Espuma de polietileno

05- Espuma de polietileno

Se trata de un material de pequeñas celdas cerradas producto de la combinación del polietileno de baja densidad con un agente de expansión. La estructura de pequeñas celdas uniformes permite que el 95% del material sea aire. Si bien este tipo de espumas era conocido desde tiempo antes, en Colombia recién en las últimas décadas ha tomado impulso su aplicación como material aislante en techos. Se fabrica en forma de láminas o membranas flexibles. Véase la Ilustración 16

Son de muy fácil manipuleo y su producción en rollos facilita su aplicación. Son impermeables y se comercializa en rollos de 1 m de ancho y longitudes de 20 m. Los espesores normales comienzan en los 2mm y alcanzan los 10mm. Recientemente se componen varios elementos para obtener espesores que alcanzan los 60 mm a pedido.

En el mercado argentino la parición de estas espumas se realizo con un film de aluminio adherido a una de sus caras, con lo cual permitiría aprovechar la baja emitancia sobre una superficie que necesariamente debe ser enfrentada a una cámara de aire y la propia capacidad aislante de la espuma. Sin duda las espumas de polietileno son muy buenos aislantes térmicos, pero se debe tener presente que 10 mm es un espesor prácticamente irrelevante para el aislamiento térmico de un techo.

06- Aislante celulósico proyectado (ACP)

Producto de la búsqueda de un material más eficiente para la conservación de energía, tras la crisis energética de los años 70 en los Estados Unidos, el ACP²⁷ combina las ventajas



Ilustración 17 Aislante de Celulosa proyectada

de un material NATURAL, como lo es la celulosa reciclada, con más de 50 años de investigación, desarrollo y con el respaldo de obras en todo el mundo. Su elaboración se produce mediante un proceso de fabricación estricto y de calidad trolada. La celulosa proyectada es el único aislamiento térmico, acústico y de control de condensación en una sola aplicación. La opción que existe en sur-américa es de la marca **Applegate Insulation®** que con un mínimo contenido de agua permite activar productos adhesivos incluidos en la mezcla, constituyendo así una piel sobre la superficie a aislar térmicamente. Tiene como ventaja el

hecho de que la celulosa que se emplea es producto de reciclaje (fundamentalmente de papel de diario). Por otro lado la forma de aplicación con equipos portátiles, similar a la espuma de

²⁷ Fuente: <http://aislantescelulosicos.com/material/que-es-la-acp/>

poliuretano, es muy eficiente y permite obtener una continuidad de la capa aislante que elimina las pérdidas de calor por infiltración de aire a través del cerramiento tratado. Además presenta buenas características fonoabsorbentes y por esa razón se emplea en la corrección acústica de locales.

La conductividad térmica se ubica levemente por encima del poliestireno expandido (densidad de 45 a 50 Kg/m³; $\lambda=0.031$ W/m K). En cuanto a la permeabilidad al paso de vapor, es muy alta, similar a la de la lana de vidrio. Son materiales que prácticamente no ofrecen resistencia a la difusión del vapor. Véase la Ilustración 17

La celulosa es formulada con compuestos que le permiten resistir el ataque de hongos y evitar la putrefacción. No es tóxico. Se trata de un material que no es afectado por la humedad, de hecho se lo aplica húmedo y se espera hasta su secado. Sin embargo, como en toda envolvente, es necesario hacer las verificaciones de condensación intersticial. Su aplicación en áticos ventilados ha dado buenos resultados. El producto terminado es un revestimiento monolítico de espesor controlado, siendo posible utilizarlo como acabado de superficies tanto en construcciones nuevas como en proyectos de renovación.

07- Lana de vidrio

Es un producto de origen natural, mineral, inorgánico, compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga. Los paneles de lana de vidrio están compuestos principalmente por arena de sílice y carbonato de calcio y de magnesio que le confiere resistencia a la humedad.

Se obtiene por un proceso similar a la lana de roca (altas temperaturas, movimientos para inducir la producción de fibra, aceites aditivos y resinas para estabilizarla). Es un material de uso común en la construcción habitacional, absorbente acústico y aislante térmico componente de las tradicionales soluciones constructivas, construidas para los Cielorrasos, Paredes y Revestimientos. Al estar constituidos por un sinnúmero de diminutas celdas de aire estanco, presenta alta resistencia al paso de ondas calóricas. Adicionalmente, la lana de vidrio contribuye al confort de los ambientes debido a su capacidad de absorción acústica. Esto significa que evita por un lado la ocurrencia de ecos en ambientes cerrados favoreciendo la claridad en la comunicación y disminuyendo los inconvenientes provoca-



Ilustración 18 Lana de vidrio en muros

dos por la reverberación del sonido y el aislamiento a ruidos molestos provenientes desde el exterior.

El mecanismo a través del cual se logra este desempeño acústico es mediante el sistema Masa1/Resorte/Masa2 ($Masa1 \neq Masa2$) que se verifica cada vez que se instala un material de alta elasticidad entre dos elementos rígidos, como es el presente caso

El material interior, en este caso la lana de vidrio y debido a su elasticidad próxima a la del aire, permite absorber sonidos fuentes de los exteriores al actuar como resorte y por ende amortiguando el reflejo o paso de las ondas sonoras incidentes. Véase la Ilustración 18

08- Lana de roca

Los paneles de lana de roca están compuestos en un 98% de roca de origen volcánico (basalto) y un 2% de pegante orgánico. Se obtiene fundiendo la roca a altas temperaturas, sometiéndole a movimiento para inducir la generación de las fibras, aplicando aglomerantes y aceites impermeables del que se obtiene un colchón que es comprimido y dimensionado, transformándolos en paneles, fieltros y mantas. Es un buen aislante térmico y acústico. Su origen mineral y composición química aseguran una perfecta estabilidad a altas temperaturas (650 °C). Son químicamente inertes y resistentes a los agentes externos. Los productos de lana de roca no retienen el agua, poseen una



Ilustración 19 Productos de lana de roca

estructura no capilar, además de ofrecer una fuerte permeabilidad al vapor de agua y además, gracias a su disposición multidireccional, aporta a los elementos constructivos una notable capacidad de aumentar el nivel de aislamiento acústico.

Ventajas:

- Facilidad y rapidez de instalación
- Seguridad en caso de incendio (es una sustancia ignífuga o no combustible)
- Químicamente inerte
- No hidrófilo ni higroscópico
- Respetuoso con el medio ambiente

Su uso principal es como aislamiento térmico y acústico intermedio en paredes de doble hoja prefabricadas, aislamiento contra incendio, calderas, hornos, ductos, tanques, tubería de vapor y contenedores, principalmente. Véase la Ilustración 19. Sus características

los hacen resistentes a vibraciones y son estables aún en medios húmedos. No poseen contraindicaciones de ninguna índole por razones de higiene y seguridad, ni exigen precauciones especiales para su uso.

De todas estas alternativas, el proyecto se hará con ACP, principalmente por su bajo costo y características ecológicas en todo el ciclo de vida del producto.

2.3.2 VENTANAS Y PUERTAS

VENTANAS: El aislamiento de una vivienda depende de varios factores, principalmente de la calidad del material y la técnica con la que están contruidos los muros, techos y suelos, pero también tienen especial importancia los cerramientos, ventanas y puertas, que deben ser de ALUMINIO con RPT, PVC, CARPINTERÍA MIXTA, siempre acompañado de un doble acristalamiento bajo emisivo para mantener la temperatura de la vivienda.

En cuanto al aislamiento acústico, el uso de doble o triple acristalamiento ayuda mucho a conseguirlo, aunque existen vidrios especiales, como el ***Climalit Silence***²⁸, que se compone de dos vidrios unidos por una película plástica ensambladas entre las dos hojas que, dependiendo del grosor del vidrio, reduce significativamente la percepción de sonido. Valores típicos para un modelo 4/8/4 es $R_w (C; Ctr)=27(-1;-2)$ dBA.

El doble acristalamiento, con aislamiento térmico reforzado, como es un ***Climalit Plus***: con ***Plannitherms*** aísla la vivienda tanto del frío como del calor; está formado por dos vidrios, uno de los cuales va revestido por una fina capa transparente hecha con base en plata reflectiva; de esta manera se consigue retener el calor en la vivienda durante el invierno y durante el verano impide que entre el calor. Véase la Ilustración 20. Estas ventanas son de 70 mm de profundidad y la transmitancia térmica en el modelo normal llega a $U_H= 2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pero hay modelos más avanzados de $1.34 \times 1.34 \text{ m}^2$ fabricados con vidrio 4-16-4 de baja emisividad ($U=2.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) la ventana llega a valores de $U_H=1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Ilustración 20 Ventana doble vidrio

La capa que refuerza el aislamiento térmico es de baja emisividad y siempre se coloca en el interior del doble acristalamiento que es el espacio o cámara de aire entre los dos vidrios para preservarla durante la limpieza del cristal, pues se trata de una película delica-

²⁸ Fuente: <http://www.alumalaga.es/new/cat3.html>

da. Esta cámara puede mejorar su desempeño térmico si se rellena de aire o de gas argón. Es importante utilizar el máximo espesor de cámara para mejora el aislamiento térmico, aunque ello se verá limitado por el espesor de las paredes o hueco de las hojas del cerramiento que se vaya a acristalar.

Hay otro doble acristalamiento que es más eficiente, como el **Planistar One**, que está formado por dos vidrios, uno de los cuales está revestido por una fina capa transparente de óxidos metálicos nobles de baja emisividad, que consigue durante las épocas frías retener el calor de la calefacción en el interior de la vivienda y en los períodos más calurosos impide que el calor excesivo del sol entre, no anulando por ello la entrada de abundante luz natural.

PERSIANAS: Además de los factores implícitos a las ventanas y cerramientos, hay otros puntos que conviene tener en cuenta, como pueden ser las persianas compactas o monoblock, que deben ser de doble pared de PVC. Se componen de un cajón de PVC, de doble pared, diseño que tiene la particularidad de que la tapadera permite colocar un refuerzo de POLIETILENO EXPANDIDO, para conseguir con ello un mayor aislamiento tanto térmico como acústico; además, las persianas deben estar adaptadas y selladas correctamente a la ventana. Véase la Ilustración 21

PVC: El material con el que está construido el cerramiento también influye decisivamente en la capacidad de aislamiento, el PVC y el aluminio con RPT, tienen la misma estanqueidad con relación al agua y al viento, aunque también es cierto que, con respecto al aislamiento térmico y acústico, el PVC tiene mejores prestaciones, ya que al ser un material plástico no es buen transmisor de del calor, ni de sonido, si bien, gracias a la rotura de puente térmico, la diferencia es mínima.

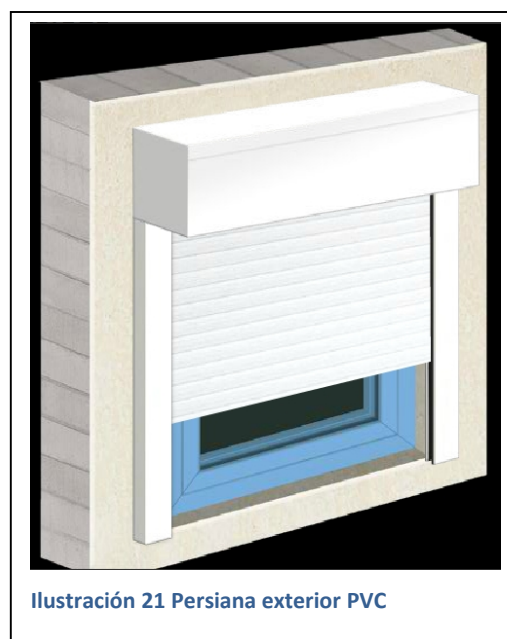


Ilustración 21 Persiana exterior PVC

CARPINTERIA MIXTA: Hay otro tipo de material, que es el gran desconocido, la carpintería mixta, que es un perfil que por la parte exterior es aluminio y la parte interior es madera maciza natural (pino, roble) estos dos materiales van unidos por una poliamida de fibra de vidrio, que aparte de unir estos dos materiales y permitir separar sus respectivas dilataciones, también hace de rotura de puente térmico que, combinado junto a la madera, ofrece unas prestaciones muy buenas, tanto térmicas, como acústicas, además de una gran calidez y belleza, cualidad que sólo sabe dar la madera.

RÓTURA PUENTE TÉRMICO. Este término, empleado en la fabricación de ventanas, hace referencia a la transmisión de la temperatura entre dos materiales. En ventanas de aluminio con rotura de puente térmico, éstas son unas varillas de poliamida reforzadas de fibra de vidrio, que unen el propio perfil de aluminio que conforma la ventana separando la cara exterior de la interior evitando de esa manera la transmitancia de temperatura entre el interior y el exterior de la ventana de aluminio. De esta manera se evita la condensación y se reducen las vibraciones de sonido a través de la ventana, con ello se consigue una mejor capacidad de aislamiento tanto térmico como acústico, la poliamida también da la posibilidad de perfiles bicolors.

PUERTAS²⁹: Se toma como ejemplo el Sistema 3000 con R.P.T. (Véase la Ilustración 22) Son



Ilustración 22 Puerta aluminio y Vidrio 4/16/4

puertas abisagradas de canal europeo compuestas por perfiles de aleación de aluminio 6063 y tratamiento térmico T-5. Marco y hoja tienen una profundidad de 45 mm y 53 mm respectivamente tanto en ventanas como en puertas. El espesor medio de los perfiles de aluminio es de 1,5 mm en ventanas y 1,7 mm en puertas. Los perfiles de aluminio están provistos de rotura de puente térmico obtenida por inserción de varillas aislantes de poliamida 6.6 de 14.6 mm de profundidad reforzadas con un 25% de fibra de vidrio. La Estanqueidad se consigue por un sistema de triple junta de EPDM. Esta configuración tiene un aislamiento acústico $R_w = 46 \text{ dbA}$, La transmitancia de una puerta fabricada en vidrio 4/16/4 de baja emisividad (como unos $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$) y aluminio (con una emisividad de

$3.4 \text{ W/m}^2\text{K}$) puede llegar a $2.3 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ de acuerdo con el CTE. Las puertas no deben exceder de 1.6 m de ancho ni 2.6 m de alto.

2.3.3 MATERIALES PARA LAS PAREDES

MAMPOSTERÍA: Cuando se habla de mampostería se hace referencia al arte y trabajo de apilar piedra o ladrillo, pero no es simplemente amontonarlos sino que se debe cumplir

²⁹ Fuente: <http://www.alumalaga.es/new/3000.php>

con las especificaciones exigidas en cada tipo de trabajo. Existen básicamente dos clases de trabajo en mampostería: mampostería ordinaria y mampostería a la vista.

La mampostería ordinaria es aquella construida con piedras o ladrillos toscamente colocados y en la cual las hiladas pueden tener aparejos y alturas diferentes. En ellas no se tiene en cuenta el color ni el aspecto del ladrillo a colocar porque la obra no quedará a la vista. Esta mampostería se recubre con una capa de revoque o pañete, estuco y pintura para proveer el acabado final.

En la mampostería a la vista, la superficie del muro queda visible, razón por la cual se hacen exigencias en cuanto al material utilizado, continuidad del aparejo, y la calidad de la mano de obra. El aspecto exterior del muro es fundamental.

Los materiales utilizados en la construcción de muros han evolucionado a través de los tiempos, inicialmente el hombre levantó muros con piedra de cantos rodados; luego con piedra tallada para mejorar el acabado de los muros y finalmente con bloques moldeados en arcilla y posteriormente cocidos en hornos, que se conocen con el nombre de "ladrillo"; en la actualidad se usan todos estos materiales pero los más utilizados son el ladrillo en sus diferentes formas y el bloque.

Ladrillo: Es una pieza fabricada en tierra arcilla y la cual se somete al calor para endurecerla. Hay dos clases de ladrillos: el Ladrillo Macizo que se caracteriza por ser muy resistente y el ladrillo hueco que es mas liviano y mejor aislante del ruido y el calor. Los huecos pueden ser verticales (hasta 8 huecos redondos o cuadrados), o con uno o dos huecos longitudinales. La medida mas común en este material es 25X12X6.5 cm.



Ilustración 23 Figura en DRYWALL

En cuanto a los acabados, el ladrillo que se usa en mampostería ordinaria es de acabado rústico y se produce prensado en máquina o prensado manual. En tanto que el ladrillo hueco se fabrica para que se utilice en mampostería que luego se cubre; es decir, tiene un acabado uniforme. Si se va a dejar a la vista, solo sirve el que se fabrica en prensas industriales. La dureza del ladrillo se consigue principalmente con el proceso de cocción. Si la cocción es a 700 °C,

el ladrillo es blando; la cocción a 850 °C produce ladrillo de poca dureza. La cocción a 1050 °C ya produce ladrillo duro y a 1100 °C, se consigue ladrillo de mucha dureza. Este proceso consume mucha energía, la cual se consigue quemando material vegetal en un horno para ladrillos. La dureza del ladrillo determina su utilización en la construcción. Los ladrillos

blandos se usan en muros divisorios interiores sin funciones estructurales; el ladrillo duro se usa en sobre-cimientos y muros sometidos a humedad.

EL color de los ladrillos depende de la temperatura de cocción y de la composición química de la arcilla utilizada. Un muro fabricado con ladrillo hueco, espesor 12 cm densidad de 80 Kg/m², tiene una resistencia térmica de 0.36 m²K/W

Los muros se clasifican en 3 tipos:

- Muro de carga: Su función básica es soportar cargas, por lo que es un elemento sujeto a compresión. Las características del material deben corresponder para soportar trabajos mecánicos.
- Muro divisorio: Su función básica es aislar o separar, debiendo tener características tales como acústicas, térmicas, impermeable, resistencia a la fricción o impactos.
- Muro de contención: Generalmente están sujetos a fricción en virtud de tener que soportar empujes horizontales.

Estos grupos se dividen en muros interiores y muros exteriores, que se caracterizan por los tipos de material de que están hechos.

Los materiales para la construcción de muros son cada vez más variados, contando hoy en día con una multiplicidad de especificaciones y calidades para la construcción de tabiques, paneles y otros elementos utilizados en la construcción.

Por las formas de colocación de los muros pueden ser: muro capuchino, muro al hilo, muros a tizón, muros huecos, muro de piedra y muro de adobe.

DRYWALL es un sistema constructivo liviano para instalar completamente en seco y de forma rápida muros divisorios, fachadas, cielos rasos generales y decorativos, recubrimientos, cornisas, cortineros etc. Se utilizan láminas de Yeso o de fibrocemento, soportadas por perfiles fabricados en lámina de acero CR. Una vez terminado, se puede dar un acabado con estuco para cerrar los poros de la construcción y los tornillos. Luego el acabado se hace con pintura normal. Dependiendo de la función del muro (exterior o divisorio) se utilizan diferentes tipos de paneles. No se usa como muro de carga. Por la forma fácil de instalación permite hacer formas arquitectónicas de manera fácil y segura integradas con la iluminación y el diseño general, tanto en muros como en el cielo falso. Véase la Ilustración 23

El sistema consta de un panel de yeso, más ligeros y más pequeños que el grosor de las paredes de mampostería. Las placas se fabrican industrialmente por un proceso de laminación continua de una mezcla de yeso, agua y aditivos entre dos hojas de cartón. Estos sistemas sólo se utilizan en ambientes interiores de los edificios. Para las paredes exterior-

res, el sistema utiliza perfiles de acero estructural (estructura de acero) y las placas de cemento (resistente a la acción del viento y de la lluvia).

Dentro de estos paneles se coloca el material aislante térmico de las paredes, generando espacios bioclimáticos, de acuerdo con el clima de la región donde se hace el emplazamiento. Véase la Ilustración 24

El método es ampliamente utilizado en la construcción, principalmente para las áreas comerciales. Los muros de panel de yeso permiten esconder los sistemas eléctrico e hidráulico y fijarlos en los techos o atornilladas en perfiles de acero galvanizado. Por otra parte, se adaptan a cualquier estructura, tal como acero, hormigón o madera.

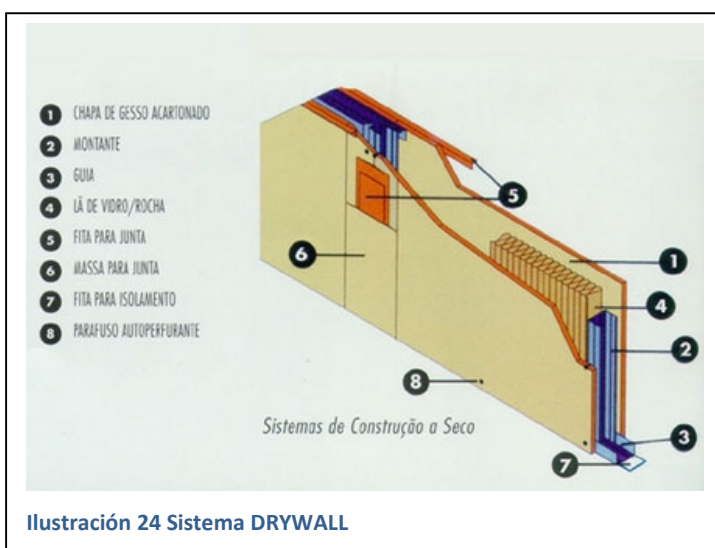


Ilustración 24 Sistema DRYWALL

Montar Sistemas DRYWALL³⁰ es fácil, reduciendo el tiempo de entrega y los costes por lo tanto inferiores. Con el sistema, hay una ganancia de superficie de suelo que puede llegar a 4% por 100 m² y las paredes son lisas y precisas, reduciendo los costos en la preparación de la superficie para la pintura.

Puesto que las paredes son más ligeras que el sistema de ladrillo

tradicional, el sistema de pared seca simple (corresponde a un perfil de línea y una placa a cada lado) pesa alrededor de 25 kg/m² contra 150 kg/m² de una pared mampostería, es posible utilizar este sistema y tener una reducción en el costo de los cimientos de edificios y sus estructuras.

El panel de yeso debe hacerse de acuerdo con normas técnicas obligatorias para garantizar su resistencia y características de aislamiento térmico y acústico. Igual pueden hacerse cielo rasos fijos o desmontables, revestimientos, pisos flotantes (por debajo van las instalaciones), entre pisos (Se construyen con una estructura formada por perfiles de acero liviano galvanizado (PGC y PGU) que se colocan cada 40 cm. Se atornilla a las vigas una placa de laminado múltiple fenólico llamada OSB, de 18 o 25 mm de espesor. Sobre el laminado múltiple se aplica directamente la alfombra o piso flotante. Opcionalmente, se puede agregar un bajo alfombra para disminuir el efecto de impacto. En los locales húmedos se reemplaza el laminado múltiple, por una placa de concreto cemento de 12.5 mm sobre la cual se adhieren los cerámicos.

³⁰ Fuente: http://construccionamcd.com/blog_view_5_Disenos-drywall.html

Se debe asegurar el aislamiento sonoro entre plantas colocando entre las vigas de entrepiso y sobre el cielorraso una capa de lana de vidrio de 50 mm de espesor. Se puede mejorar aun más el aislamiento acústico, colocando sobre el laminado múltiple fenólico un panel rígido de lana de vidrio, que actúa como aislante acústico y vibratorio). Igual se pueden construir cubiertas y fachadas livianas. Véase la Ilustración 25

Con estos elementos mencionados, combinados y en disposiciones calculadas de acuerdo al caso específico, existe una variada gama de posibilidades de diseño para estructuras metálicas. Para el caso de las paredes en paneles secos, se utiliza una estructura de lámina de acero con almas del mismo material cada 0.6 m, la cual se fija al piso y al techo. A su vez, los paneles se pegan a la estructura mediante tornillos y las juntas entre paneles se cierran con cinta y masilla. El espacio que queda entre los paneles de uno y otro lado se rellenan de diferentes materiales aislantes y esconden las instalaciones eléctricas y sanitarias de la casa.

Normalmente el espesor de la pared es de 0.105 m y las estructuras de acero tienen 0.07 m de espesor, dejando 0.0125 m para el panel a cada lado. Esta será la solución a utilizar en el modelo propuesto. La resistencia térmica de las paredes DRYWALL construidos con aislamiento de poliestireno expandido ($\lambda=0.035 \text{ W/m}^\circ\text{K}$) es: espesor de 100 mm $R=3.027 \text{ m}^2\text{K/W}$ (peso de 12.045 Kg/m^2); a 120 mm $R=3.599 \text{ m}^2\text{K/W}$ (peso de 13.045 Kg/m^2) y a 150 mm $R= 4.456 \text{ m}^2\text{K/W}$ (peso de 13.645 Kg/m^2). La conductividad térmica del panel de yeso con fibra celulosa en cada cara es de $\lambda=0.4 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

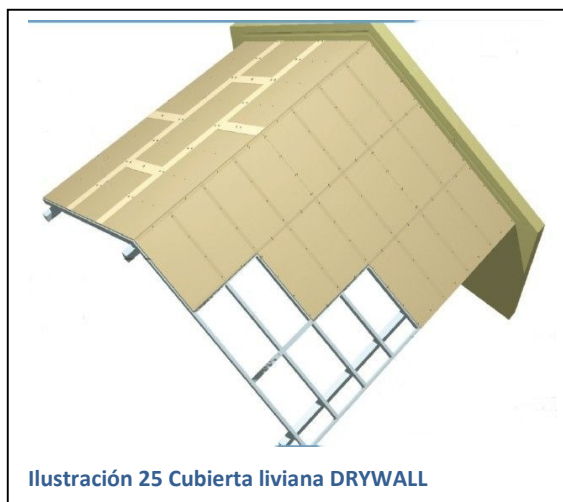


Ilustración 25 Cubierta liviana DRYWALL

2.3.4 MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA

HIERRO: El uso de hierro en la construcción se remonta a los tiempos de la Antigua Grecia; se han encontrado algunos templos donde ya se utilizaban vigas de hierro forjado. En la Edad Media se empleaban elementos de hierro en las naves laterales de las catedrales. Pero, en verdad, comienza a usarse el hierro como elemento estructural en el siglo XVIII; en 1706 se fabrican en Inglaterra las columnas de fundición de hierro para la construcción de la Cámara de los Comunes en Londres.

El hierro irrumpe en el siglo XIX dando nacimiento a una nueva arquitectura, se erige en protagonista a partir de la Revolución Industrial, llegando a su auge con la producción estandarizada de piezas. Aparece el perfil "doble T" en 1836 reemplazando a la madera y re-

evoluciona la industria de la construcción creando las bases de la fabricación de piezas en serie.

Existen tres obras significativas del siglo XIX exponentes de esa revolución: La primera es **El Palacio de Cristal**, de Joseph Paxton, construida en Londres en 1851 para la Exposición Universal; esta obra representa un hito al resolver estructuralmente y mediante procesos de prefabricación el armado y desarmado estableciendo una relación novedosa entre los medios técnicos y los fines expresivos del edificio. En su concepción establece de manera premonitoria la utilización del vidrio como piel principal de sus fachadas.

En esa Exposición de París de 1889, el ingeniero Ch. Duter presenta su diseño **La Galerie des Machine**, un edificio que descubre las ventajas plásticas del metal con una estructura ligera y mínima que permite alcanzar grandes luces con una transparencia nunca lograda antes. Otra obra ejecutada con hierro, protagonista que renueva y modifica formalmente la arquitectura antes de despuntar el siglo XX es **La famosa Torre Eiffel** (París, Francia).



Ilustración 26 Casa con estructura en acero

El metal en la construcción precede al hormigón; estas construcciones poseían autonomía propia complementándose con materiales pétreos, cerámicos, cales, etc. Con la aparición del concreto, nace esta asociación con el metal dando lugar al hormigón armado en donde el acero trabaja a tensión y el concreto trabaja a compresión logrando la máxima estabilidad y fortaleza de la

estructura. Todas las estructuras metálicas requieren de cimentaciones de hormigón, y usualmente se ejecutan losas y forjados en este material. Actualmente el uso del acero se asocia a edificios con características singulares ya sea por su diseño como por la magnitud de luces a cubrir, de altura o en construcciones deportivas (estadios) o plantas industriales y la vivienda tanto por los tiempos de entrega como por la facilidad para prefabricar piezas e industrializar su producción. Véase la Ilustración 26³¹

Ventajas de las Estructuras Metálicas:

- Vigas reticuladas permiten cubrir grandes luces
- Construcciones a realizar en tiempos reducidos de ejecución.

³¹ Fuente: <http://www.casastecnohome.es/unifamiliares/>

- Construcciones en zonas muy congestionadas como centros urbanos o industriales en los que se prevean accesos y acopios dificultosos.
- Edificios con probabilidad de crecimiento y cambios de función o de cargas.
- Edificios en terrenos deficientes donde son previsibles asentamientos diferenciales apreciables; en estos casos se prefiere los entramados con nudos articulados.
- Construcciones donde existen grandes espacios libres como locales públicos y salones.

Donde No Construir Estructuras Metálicas. No está recomendado el uso de estructuras metálicas en los siguientes casos:

- Edificaciones con grandes acciones dinámicas como sismos, vibraciones y vientos.
- Edificios ubicados en zonas de atmósfera agresiva, como marinas, o centros industriales, donde no resulta favorable su construcción por la oxidación.
- Edificios donde existe gran preponderancia de la carga del fuego, por ejemplo almacenes y laboratorios porque el hierro se debilita rápidamente con el calor del fuego.

Comportamiento Estructural del acero: Estas estructuras cumplen con los mismos condicionantes que las estructuras de hormigón, es decir, que deben estar diseñadas para resistir acciones verticales y horizontales. En el caso de estructuras de nudos rígidos, situación no muy frecuente, las soluciones generales a fin de resistir las cargas horizontales, serán las mismas que para Estructuras de Hormigón Armado. Pero si se trata de estructuras articuladas, tal el caso normal en estructuras metálicas, se hace necesario rigidizar la estructura a través de triangulaciones (llamadas cruces de San Andrés), o empleando pantallas adicionales de hormigón armado.

Las barras de las estructuras metálicas trabajan a diferentes esfuerzos de compresión, tracción y flexión. A fin de rigidizar la estructura, se procede al diseño de estructuras en triángulos, reservando las láminas para los núcleos interiores pertenecientes a cajas de escaleras y ascensores. Como es natural, la importancia de las acciones horizontales aumenta con la altura del edificio, ya que se originan fundamentalmente por la acción del viento, y es precisamente en edificios de gran altura donde se pueden lograr las soluciones más interesantes.

Esbeltez. La esbeltez es la relación existente entre la sección de la barra y su longitud. Por lo general, los pilares trabajan a la compresión; la resistencia del acero ante la compresión es muy elevada, determinando en consecuencia, secciones pequeñas.

Tipos de Pilares: La forma de trabajo de los pilares necesita de secciones de acero con momentos de inercia muy similares. La esbeltez y longitud de estos pilares, combinados con el eje de compresión, determinan una flexión por Pandeo en el plano con menor momento de inercia. Por lo general estas secciones se consiguen por la unión de dos o

más perfiles laminados. Por ejemplo: 4LPN, ó 2UPN. Se utilizan los perfiles H cuando los esfuerzos se producen en uno de los planos principales y existe un riesgo de pandeo pequeño en el otro plano, ó cuando se encuentran arriostrados. Los arrostramientos laterales disminuyen notablemente la longitud de pandeo del pilar.

Los perfiles I no se aconsejan porque en un plano casi no tiene inercia y se deforman por pandeo con facilidad. Estos perfiles suelen usarse como refuerzo. Las estructuras metálicas se realizan con la utilización de barras, elaboradas industrialmente y cuyos Perfiles responden a diferentes tipos, por ejemplo: perfil T, perfil doble T, de sección redonda, o cuadrada, rectangulares y hasta en forma de W o en forma de C y Z. Existen piezas metálicas especiales, de diferentes tipos que sirven como Medios de Unión de los perfiles.



Ilustración 27 Casa con estructura de madera

MADERA³². Si bien el acero es un material ampliamente difundido en arquitectura, uno de sus principales inconvenientes es su obtención, pues requiere de grandes cantidades de energía para su transformación y reciclaje. Así, la huella de carbono de cada kilo de acero producido puede llegar a 1.9 Kg de CO₂ emitidos, en tanto que el producido por reciclaje es de 0.59 Kg de CO₂ emitido por cada kilo de

acero puesto en el mercado. Por ello, por ser un material biodegradable, por sus capacidades como aislante térmico y sonoro, la madera ha tomado un lugar preponderante en la arquitectura de viviendas modernas, tanto en Europa como en América. Hay que distinguir entre diferentes especies de árboles maderables para estructuras. Los principales son: el pino en sus diferentes variaciones, el roble, el abeto, fresno, nogal y el castaño.

En climas tropicales se utiliza la guadua, que es una especie de bambú gigante de gran resistencia mecánica: una varilla de hierro de 1 cm² de sección - menos de ½" - resiste a la tracción 40 KN. Una guadua con una sección de 12 cm² resiste 216 KN. Por ello se le denomina "acero vegetal"³³. Como elemento estructural y decorativo con es que se han hecho edificios hasta de 5 pisos.

³² Fuente: <http://www.prefabricadascasasdemadera.com/2010/04/estructura-casa-de-madera.html>

³³ Fuente: http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos_de_papel/tubos2.asp

Las principales diferencias en los precios de la madera se explican principalmente por los diferentes lugares de donde proviene y en menor proporción, en su proceso de corte, inmunización y conformación de las vigas, tablas, listones y cuarterones. Otra forma no estructural para usar la madera es el clásico machihembrado y el parquet para conformar pisos, techos, cielo rasos y superficies de paredes. Existen diferentes programas de computador que calculan las vigas y determinan si cumplen los códigos constructivos y si son seguras para los esfuerzos a que se somete la estructura. Se pueden conformar vigas de madera laminada hasta de 12 m de largo. Toda casa de madera debería tener una cimentación en concreto para aislarla apropiadamente de la humedad del piso, aunque esta siempre resulta mucho más liviana que para las casas construidas en muros de ladrillos o prefabricados de concreto. Véase la Ilustración 27

Otros elementos utilizados en las estructuras de madera son los tornillos, clavos y placas metálicas dentadas.

Estas son las principales fuentes de materiales estructurales actuales.

2.3.5 PLANIFICACION HELIOTÉRMICA

El principal objetivo, desde el punto vista térmico, al proyectar una edificación debe ser lograr un ambiente interior próximas a las condiciones de confort más favorables a quien va a habitar dicha construcción. Así que tanto la planificación como el sistema constructivo se deben analizar para aprovechar al máximo las condiciones naturales que favorezcan las condiciones internas sin tener que recurrir a equipos³⁴.

Esto se hace alterando las características arquitectónicas y seleccionado materiales apropiados, para que la combinación logre que la energía consumida en su funcionamiento térmico sea la mínima posible, en promedio anual (cuando hay estaciones climáticas) este criterio será MUY importante.

Así, en períodos fríos, se reducirá el consumo energético de la calefacción y en períodos cálidos, se reducirá el costo del acondicionamiento térmico del aire.

Para el análisis, se deberá estratificar la transferencia de calor entre el edificio y el medio ambiente, así como el calor almacenado en los objetos interiores en función de las diferentes temperaturas que tiene el día, valorando de esta manera la carga térmica. Visto así, parece fácil, pero el paso a un análisis real es muy complejo debido a que la transferencia de calor se hace al menos por tres rutas: conducción, convección y radiación; está la evaluación del calor latente y eventualmente el calor generado tanto por las personas (a razón de unos 100W), la iluminación, la cocina, nevera, y demás electrodomésticos presen-

³⁴ Fuente: Olgyay Víctor. **ARQUITECTURA Y CLIMA**. Editorial GG. Barcelona, 2004.

ten en las instalaciones modernas. La velocidad del viento influye en el flujo por convección. Así que este cálculo será aproximado, aunque se recurra a software especializado.



Ilustración 28 Posición del sol en el solsticio de invierno

Se hará el cálculo para las fechas más representativas del año, como el 21 de diciembre³⁵ (Véase la Ilustración 28) y el 21 de junio respectivamente. El cálculo se hará midiendo el impacto de la insolación en los diferentes materiales de las fachadas y techo, así como su orientación para que la absorción de energía sea mínima en el verano (ambiente caliente) y tengan a su vez, la mínima pérdida de energía interna en el invierno (ambiente frío). Además se deben tener en cuenta los coeficientes de absorción y de emisión de los materiales. Esto es lo que se espera de un diseño arquitectónico optimizando el recurso del clima y el sol. Si bien es cierto que la mejor orientación de las fachadas debe ser al sur (en el hemisferio norte), en climas tropicales, se debe evaluar de acuerdo con las características climáticas del emplazamiento. La radiación solar afecta a los edificios de dos formas:

- Penetrando por las ventanas, es absorbida por las superficies interiores del edificio y provoca así un efecto de calefacción.
- Siendo absorbida por las superficies externas del edificio, causa una penetración de calor en la obra, que será emitida parcialmente hacia el exterior, en su mayor parte por convección, pero parcialmente conducida a través de la obra y seguidamente emitida hacia el interior. Ambos efectos pueden ser influenciados (si no determinados) por el Arquitecto diseñador o por su ingeniero consultor.

La transmisión a través de las ventanas queda determinada por:

³⁵ Fuente: http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

- La orientación de la ventana (por lo tanto, la intensidad de la radiación incidente sobre su superficie)
- El tamaño de la ventana
- El tipo de cristal (claro, termo-absorbente, termo-repelente o cristales foto cromáticos)
- Por dispositivos de apantallamiento, tanto externos (rejillas, persianas, toldos, marquesinas, postigos) como internos (visillos, cortinas)

Si la intensidad de la radiación (I) incidente en las ventanas es conocida, el régimen de ganancia de calor será:

$$Q_s = IA\tau$$

Donde:

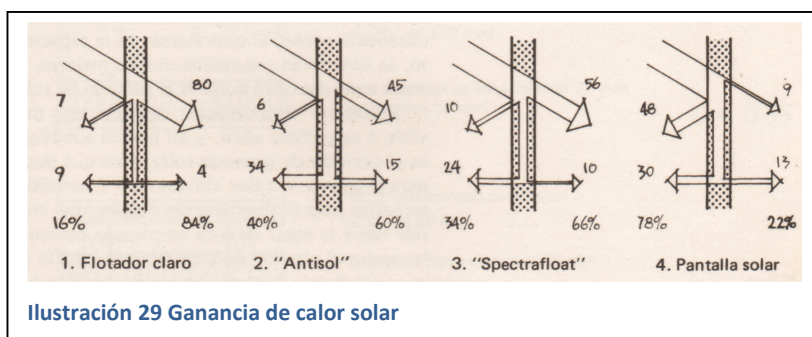
- Q_s = Ganancia de calor del sol en W
- A = Área de la ventana en m^2
- τ = Factor de Ganancia Solar, que incluye el coeficiente de transmisión (τ) más una proporción experimentalmente determinada del coeficiente de absorción (α), correspondiente a la proporción de calor absorbida por el cristal que subsiguientemente será emitida hacia adentro (Véase la Ilustración 29)

En adición a la ganancia solar, habrá un flujo de calor de transmisión a través de la ventana

$$Q_c = AU\Delta t$$

En la que:

- U = Transmitancia térmica en W/m^2K
- Δt = Diferencia de temperatura por ganancia solar



Q_s y Q_c pueden tener signos opuestos, es decir en un día de sol en invierno, en que pueda haber una simultánea ganancia solar y una pérdida de calor de transmisión. La misma ecuación se utiliza para

determinar el régimen de flujo de calor a través de paredes sólidas o techos. Si hay radiación solar incidente sobre superficies opacas, su efecto de calentamiento (por encima y más allá del efecto de la temperatura del aire) puede expresarse como temperatura de "exceso-sol-aire":

$$t_e = \frac{\alpha}{f}$$

En la que:

α = Coeficiente de absorción

f = Conductancia de la superficie en W/m^2K

Así, la temperatura combinada sol-aire es la suma de ésta y la temperatura del aire exterior:

$$t_s = t_o + t_e + \frac{\alpha}{f}$$

El flujo térmico debido al efecto combinado del aire caliente y la radiación solar pueden calcularse si para Δt se utiliza $(t_s - t_i)$ en lugar de $(t_o - t_i)$. Esta ecuación indica que la transmisión del calor a través de paredes y techos que determinada por:

- La orientación de la superficie y por tanto, de su radiación incidente;
- El área de la superficie expuesta
- El coeficiente de absorción de la superficie
- La Conductancia, en función de la velocidad del viento que pasa por la superficie.

Esta conductancia depende de los procesos de convección y radiación superficiales de las cubiertas y paredes expuestas. Es un valor comprendido entre 8 y 80 W/m^2K y para efectos prácticos, se toma entre 12 y 20 W/m^2K . Lo importante es mostrar que el calor transferido a la vivienda varía con la velocidad del aire que la circula. A manera de ejemplo, se muestra la Tabla 4

Tabla 4 Conductancia de diferentes superficies					Unidades
Velocidad del viento	1	4	7	10	m/s
Revoque, acabado texturizado	20	36	52	68	W/m ² K
Ladrillo, acabados en cemento	16	29	42	55	
Cristal, pintura blanca	9	17	25	33	

Los coeficientes de absorción y emisión de una superficie son los mismos para una longitud de onda de radiación en particular, pero no necesariamente para diferentes longitudes de onda. Esta propiedad de los materiales selectivos se puede utilizar al considerar las superficies expuestas a radiación solar, en un edificio. Como la mayor parte de la radiación solar queda en longitudes de onda entre 0,3 y 3 μm , en tanto que las superficies de los edificios se espera emitan entre 6 y 30 μm (a temperaturas entre 10 y 30 °C).

Algunos materiales cumplen con esta selectividad y son los más aptos para usarse en las fachadas. Ver la Tabla 5

Esto explica por qué una pintura blanca y una superficie metálica brillante pueden tener el mismo coeficiente de absorción pero la primera tiene un coeficiente de emisión de 0.8 y la

segunda uno de 0.1. Así ambos pueden absorber la misma cantidad de calor pero el blanco será más frío que el aluminio porque emite más.

Tipo de superficie	Absorción	Emisión
Superficie negra no metálica	0,92	0,94
Ladrillo rojo, piedra, losa	0,73	0,90
Ladrillo cocido y amarillo, piedra	0,60	0,90
Ladrillo crema, losa, revoque	0,40	0,50
Cristal de ventana, claro	Transparente	0,92
Cristal opaco, aluminio, acero galvanizado	0,50	0,25
Latón pulido, cobre	0,40	0,03
Aluminio cromo pulido	0,20	0,10
Pintura blanca	0,20	0,80

2.3.6 ESTRATEGIAS PARA REGION CALIDO HUMEDAS

En el caso de emplazamientos en climas tropicales, se tomarán las fechas representativas de temperaturas mínimas y máximas en el año. En este caso, las temperaturas máximas se dan el 15 de agosto y las mínimas, el primero de mayo de cada año (temperaturas extremas del emplazamiento). Para el proyecto actual se debe analizar la conveniencia de la ganancia de calor solar desde dos puntos de vista:

- Exclusión de la radiación solar, porque provocaría un sobrecalentamiento, una carga adicional sobre el acondicionamiento de aire, problemas de reflejos y deterioro de materiales por el contenido de UV en la radiación solar, principalmente.
- Asegurar luz de sol adecuada, bien para obtener calor cuando haya falta de suministro o puramente por sus efectos psicológicos.

Sin duda alguna en climas tropicales predominará la primera de las dos actitudes, mientras que en regiones con inviernos fríos prevalecerá la última. No obstante, se ha demostrado que incluso en climas moderados pueden producirse serios problemas de sobrecalentamiento. La pared totalmente de cristal ha demostrado ser térmicamente inferior a la pared sólida con pequeñas ventanas, ya que provoca una mayor pérdida de calor en invierno, pues la radiación térmica es más elevada al tomar la ventana y el vidrio la temperatura interior de la vivienda, en tanto que en verano, la ganancia de calor se da por el efecto invernadero producido por el vidrio de las ventanas. Esto, siempre que las ventanas no tengan ningún tipo de protección como las celosías.

Otros han abogado por el uso de grandes cristales en las paredes encaradas hacia el sur. Varios de estos edificios con este tipo de encristalados, tanto de los Estados Unidos como en Europa se describen en la literatura solar como "casas solares".

Esta aparente contradicción puede resolverse en términos de tiempo: ambas constataciones pueden ser válidas en épocas diferentes del año. Por ejemplo, en una casa solar particular el 33% de la demanda de calor se cubre a través de las ventanas, el 49% a través del sistema de captación y únicamente el 18 % mediante una fuente de calor auxiliar. En otro edificio, se asegura que se caliente exclusivamente mediante la ganancia de calor solar obtenida a través de las ventanas. La ganancia de calor solar a través de las ventanas, incluso en invierno, es una experiencia común y su magnitud puede ser verificada mediante un simple cálculo:

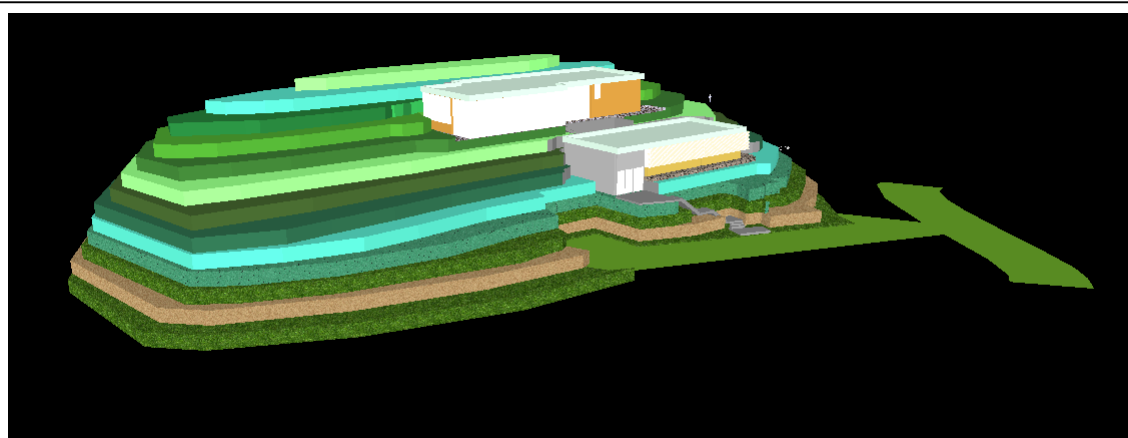


Ilustración 30 Emplazamiento básico del proyecto

Si la temperatura es de $t_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$

La temperatura exterior es de $t_o = 0\text{ }^\circ\text{C}$

La transmitancia térmica se considera $U = 5\text{ W/m}^2\text{K}$

La intensidad de la radiación es $I = 400\text{ W/m}^2$

El factor de ganancia solar es $\tau = 0.8$, para un m^2 se tiene:

$$Q_{\text{pérdida}} = 5 \times 20 = 100\text{ W/m}^2;$$

$$Q_{\text{ganancia}} = 400 \times 0.8 = 320\text{ W/m}^2$$

La ganancia equivale a más de tres veces la pérdida. No obstante, lo arriba indicado es válido solamente para el tiempo que dure la luz del sol. Incluso se toma un día soleado de invierno, durante un período de 24 horas la pérdida total puede ser superior a la ganancia total.

En el caso más ventajoso, como sería el invierno entre diciembre y enero, una ventana mirando hacia el sur (en Londres) puede obtener justo por encima de 2000 Wh/m^2 de radiación en un día. La pérdida de calor durante las mismas 24 horas puede ser de $100 \times 24 = 2400\text{ Wh/m}^2$ aunque en la mayoría de las ocasiones tendrá mucha menos radiación. Un cristal doble mejoraría la comparación, pero naturalmente lo que se necesita es algún tipo de control de la ganancia solar, pero también control coordinado de todos los factores

térmicos del edificio. Para el presente proyecto, se adoptará una orientación de las fachadas al oeste teniendo en cuenta que la elevación del sol a las 12 del día estará entre los 62.8° (21 de diciembre) y los 109.7° (21 de marzo), controlando la insolación con un dispositivo de apantallamiento.

Las fachadas ESTE y SUR se encuentran muy limitadas por la pendiente del terreno y la ubicación de la mejor vista, la cual es al ¡OESTE! Por otra parte, la facha NORTE tendrá un sitio de estancia y se complementará con un depósito de agua, a manera de fuente decorativa. Las paredes y techos serán con acabados en revoque y pinturas claras (blancas). Véase la Ilustración 30. Aunque una explicación más detallada del modelo se encuentra en el numeral 4.6 del presente documento.

2.3.7 ILUMINACIÓN NATURAL

Sin duda, el alumbrado natural es la mejor manera de iluminar los espacios habitados por su excelente calidad de luz, por la cantidad de energía luminosa que se puede disponer, y por sus propiedades direccionales o “moldeadoras” del espacio interior. La luz exterior cuenta con la ventaja de ser un recurso natural gratuito y no contaminante, pero sujeto a grandes variaciones de disponibilidad, unas veces per exceso y otras muchas per defecto, como en periodos nocturnos por ejemplo, siendo imprescindible por tanto contar con el alumbrado artificial como fuente de iluminación alternativa.

La limitación más importante del alumbrado natural es la dificultad de transportar la energía luminosa desde la fuente -el espacio exterior- hasta la superficie donde se necesita. La luz natural suele proceder de fuentes difusas - bóveda celeste, reflexión del suelo-, penetra al edificio por huecos limitados -ventanas, claraboyas- y se transmite por radiación y reflexión por el espacio interior hasta incidir con cierta inclinación sobre la superficie que se desea iluminar, perdiendo gran parte de su intensidad a lo largo del recorrido. Véase la Ilustración 31.



Ilustración 31 Aprovechamiento de la Luz Solar en Edificios

El principal objetivo del diseño lumínico es garantizar una elevada iluminación interior, incluso con un nivel reducido de luminosidad exterior.

Otro objetivo es la necesidad controlar y regular el posible exceso de luz y calor, mediante sistemas de protección solar que eviten la incidencia directa del sol, o con mecanismos de oscurecimiento para cuando exista demasiada luminosidad exterior, o para dar a los usuarios la libertad de oscurecer sus habitaciones.

En el caso de locales con iluminación natural es interesante estimar el **Coefficiente de Luz día (CLD)**, como relación entre el nivel de iluminación de cada punto interior del local (E_i) con el nivel de iluminación difusa horizontal al exterior del espacio (E_e):

$$CLD = (E_i/E_e) * 100$$

Dicho valor es una constante característica del local, los huecos, la geometría y reflectancia de las superficies del local. Se estima que en Cali (Latitud = 3.4° N) el nivel de iluminación horizontal exterior con cielo totalmente cubierto es del orden de 12.000 luxes y que será mayor de 45.000 luxes el 90% del periodo entre las 9:00 am y las 5:00 pm pudiendo superar los 90.000 luxes a mediodía con un cielo despejado.

Con carácter general se recomienda alcanzar valores de Coeficiente de Luz día del orden de CLD = 3% para edificios de uso general, con lo que se dispondría entre 300 lux con cielo cubierto y 3.000 lux con cielo despejado. Para usos secundarios no conviene descender el CLD de 1%, mientras que tampoco suele ser conveniente superar el CLD de 9%, por el exceso de iluminación y por las grandes ganancias o pérdidas de calor debido a una excesiva superficie de los huecos.

En el caso de iluminación natural, el nivel luminoso exterior variará lentamente según la hora solar, si bien se pueden dar grandes fluctuaciones con cielos nubosos por el tránsito brusco entre nubes y claros. Se recomienda limitar la fluctuación del nivel luminoso a un factor de 1/3 respecto al nivel medio (por ejemplo 100 ← **300** → 1.000 lux) en periodos cortos (algunos segundos).

Para mantener estable la luz natural es conveniente que predomine la luz difusa captada de la bóveda celeste y evitar la luz solar directa, especialmente si se dispone de iluminación cenital (claraboyas), diseñando protecciones solares adecuadas.

En grandes espacios con elevada ocupación puede ser interesante disponer de sistemas de regulación fotoeléctrica que limiten la fluctuación del nivel luminoso, ya sea limitando este exceso mediante persianas mecanizadas o compensando las zonas oscuras con alumbrado artificial de apoyo. El requisito fundamental del proyecto de iluminación es que todas las habitaciones sean exteriores, con el fin de tener acceso a una fuente de iluminación natural. Lo habitual es que los locales dispongan de fachadas en comunicación directa

con espacios públicos exteriores, o con espacios libres interiores de la parcela, entre los que se pueden considerar una amplia variedad de tipologías de patios. Una opción interesante es la apertura de huecos en cubierta para permitir la iluminación cenital.

Otro criterio importante es que desde los diferentes puntos de la habitación se pueda ver un sector del cielo a través de las ventanas, en función de la luz recta y de la altura de los obstáculos visuales. Para comprobar esta condición será necesario considerar que el nivel de iluminación resultante sobre cada superficie del local dependerá, además de la del flujo de luz que llegue a la ventana, del tamaño y posición de la misma y de la distancia o posición relativa de la superficie respecto al hueco.

Existen normativas de habitabilidad que regulan las condiciones mínimas de salubridad en edificios, entre las que se encuentra el derecho a una iluminación adecuada. Un resumen de estas normas es:

- Toda habitación dispondrá de hueco al exterior, de manera que tenga como mínimo una superficie de iluminación de $1/10$ de la superficie útil de la pieza que ilumine.
- En baños, aseos, vestíbulo, pasillo, distribuidor y despensa-trastero no será de aplicación la anterior condición.
- Todo hueco abierto al exterior o patio cumplirá con una luz recta mínima de 3 m.
- Todo hueco dispuesto para cumplir las condiciones de iluminación y ventilación de una pieza, se situará a una distancia como máximo de 8 metros del punto más distante de la pieza.
- Patios: A efectos de determinar las dimensiones de los patios, éstas vienen condicionadas por su altura H , medida desde el nivel del piso hasta la línea de coronación superior de la edificación. Las dimensiones mínimas serán mayores o igual a 3 m y mayor o igual a $1/6$ de H
- Las luces rectas en huecos a patio tendrán una dimensión mínima de 1.40 m.
- En patios de construcciones hasta cuatro plantas se permite cubrir por medio de lucernarios, siempre y cuando éstos tengan una superficie de iluminación en planta como mínimo de dos tercios de la superficie total del patio, y se disponga a su vez de una superficie de ventilación de un tercio de la superficie total del patio.

También hay que considerar que el fondo máximo hasta donde llega suficiente luz natural está limitado por el ángulo de penetración de la luz exterior entre el dintel de la ventana y la altura de las obstrucciones visuales, generalmente muy inferior al límite legal de 8 metros. Sin embargo, no se pueden establecer reglas generales en relación a la superficie necesaria de ventana respecto al área del local, ya que una relación de $1/10$ sólo sería satisfactoria en locales de poca profundidad sin obstrucciones visuales exteriores. Como criterio alternativo se propone tomar en consideración las buenas prácticas de la arquitec-

tura tradicional y aplicarlas según las circunstancias de cada caso. La siguiente regla, citada por **Vitrubio Polión** hace veinte siglos, merece su consideración³⁶:

Libro IV. Capítulo IX. De las casas de campo...

Débase cuidar que todos los edificios estén bien iluminados: los de campo lo pueden ser fácilmente, por no impedirlo paredes vecinas; pero en la ciudad la elevación de las paredes externas, o la estrechez del lugar suelen impedir las luces.

Se remediará de este modo: por la parte en que se haya de tomar luz tírese una línea de lo mas alto de la pared que la impidiere, hasta el lugar en que la luz se necesita, y si de ella para arriba se descubre bastante porción de cielo, habrá allí luz suficiente y desembarazada; pero si lo impiden los traveses, las soleras, o los artesonados, se tomará por las lumbreras, o descubiertos en el tejado.

En suma, siempre se abrirán las ventanas hacia donde se pueda ver el cielo, para que sean claros los edificios.

Para el cálculo de la iluminación natural, en el presente proyecto, se usó como base la DIN 5034 y la publicación del CIE 110. En el cual la bóveda del cielo se divide en superficies luminosas parametrizables a las que se les asignan luminancias en función del modelo de cielo, de la ubicación, de la fecha y de la hora. En el programa DIALUX®, Con la opción "usar luz del sol directa" también se calcula con el sol como fuente de luz puntual. El cálculo se produce en los pasos siguientes:

- Cálculo de la luz cenital en todas las superficies (interior y exterior)
- Cálculo de la luz del sol directa en todas las superficies
- Cálculo del componente indirecto

Es necesario definirle la Ubicación global del emplazamiento, longitud, latitud y zona horaria, hora del día y la posición del norte. En el modelo es necesario definir ventanas transmitancia, contaminación y travesaños. Para calcular una escena de luz con luz diurna, se deben poner las opciones de cálculo necesarias en la escena de luz. Si se activa la casilla de verificación "Calcular cociente de luz diurna" se adoptan las configuraciones siguientes:

- Modelo de cielo cubierto
- Sin sol
- Sin consideración de posibles luminarias disponibles

Como consecuencia, el usuario recibe el resultado del cálculo incluyendo la visualización, y en este caso el output del cociente de luz diurna como componente del plano útil.

³⁶ Fuente: Monroy Manuel. **Manual de iluminación ICARO**. Canarias, 2006

Si el usuario desea saber el cociente de la luz diurna en otras posiciones, puede insertar superficies del cálculo apropiadas o puntos de cálculo.

2.4 FACTORES INDIVIDUALES DEL PROYECTO

2.4.1 VENTILACION

El aire contenido en los edificios deberá tener una calidad adecuada para la comodidad y salud de sus ocupantes, de manera que se perciba como aire fresco, en lugar de viciado. Además, la calidad del aire deberá garantizar que no supone ningún riesgo para la salud.

La calidad del aire se percibe principalmente por el sentido del olfato, el cual detecta olores propios de la contaminación y aromas agradables. Una sensación de somnolencia o una respiración profunda pueden estar motivadas por la falta de oxígeno (menos del 16%) y una alta concentración de CO₂; una sensación de irritación en las mucosas nasales o los ojos, puede ser síntomas de la presencia de gases y químicos contaminantes.

Los contaminantes del aire viciado se valoran por sus propiedades físico químicas y por sus efectos bioquímicos, que resultan fundamentales para la comodidad olfativa y la salud de las personas. Las sustancias contaminantes del aire se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Exceso de vapor de agua, por su efecto higiénico, pues la humedad favorece la proliferación de organismos patógenos
- Exceso de CO₂ y falta de oxígeno, que afecta la respiración de los ocupantes. Un 0.5% de concentración de CO₂ es el normal del ambiente; un 15% de concentración resulta tóxico y mortal para los humanos.
- Olores desagradables
- Contaminación aérea por presencia de gases químicos, compuestos volátiles, aerosoles o partículas en suspensión.
- Contaminación biológica, por la presencia de microbios, toxinas, esporas o polen

Desde el punto de vista del arquitecto, la ventilación se necesita, además, para:

- Suministrar aire fresco a la edificación
- Eliminación de calor a partir de un espacio por intercambio de aire
- Refrigeración fisiológica.

El mantenimiento de la calidad del aire se realiza generalmente mediante la renovación del aire viciado interior, sustituyéndolo por aire fresco exterior, por lo cual se requiere de una toma de aire exterior preferiblemente con filtros, Se requiere de unos conductos para llevar el aire a las habitaciones y de un mecanismo de expulsión del aire usado del interior.

La última de éstas será importante en zonas tropicales, donde la refrigeración convectiva es insignificante, dado que el aire está casi a la misma temperatura que la piel. El movimiento del aire por la superficie del cuerpo acelerará la evaporación y así tendrá un efecto suficiente de refrigeración, incluso si la temperatura del aire es algo más elevada que la temperatura de la piel. Con humedades medias, una velocidad del aire de 1 m/s podrá compensar aproximadamente 6 °C de exceso de temperatura. Aquí las exigencias pueden especificarse en términos de velocidad del aire sobre la superficie del cuerpo, en lugar de en términos volumétricos.

En tanto que el suministro de aire fresco se especifica en términos volumétricos y las exigencias son relativamente reducidas. Para eliminar CO₂ y otros contaminantes y suministrar oxígeno, las exigencias de cambio de aire pueden especificarse en términos de m³/h por persona, dependiendo del volumen disponible por persona. Véase la Tabla 6

Si el número de ocupantes es desconocido, las exigencias se establecen en número de cambios de aire por hora. Esto varía entre 1 y 3 Volúmenes, para habitaciones normales, pero llega hasta 10 Volúmenes en el caso de las cocinas comerciales. Para una rápida estimación puede hallarse el flujo de calor debido a la ventilación, tomando el calor específico volumétrico del aire como 0.36 Wh/m³K (1300 J/m³K) siendo por lo tanto

Volumen en m ³ /h-persona	Tasa de intercambio m ³ /h-persona
0.28 a 8.40	28
8.40 a 11.20	20
11.20 a 14.00	16
Mas de 14	12

$$Q_v = 0.36 V N \Delta t$$

- En la que
- Q_v = Flujo del calor por ventilación (W)
 - V = Volumen de espacio (m³)
 - N = Número de cambios de aire/h
 - Δt = Diferencia de temperatura (°C)

Esta expresión se emplea para establecer las exigencias de calefacción en función de la ventilación (el régimen de pérdida de calor por ventilación) en invierno. Pero también puede ser la base de cálculo del efecto de refrigeración de la ventilación en condiciones de sobrecalentamiento. Esto último es especialmente importante en climas moderados, donde la radiación solar puede provocar sobrecalentamiento en los edificios, cuando de hecho la temperatura en el exterior no supera el límite de comodidad.

Si una ventana de 4.0 m² admite una radiación solar a un régimen de 400 W/m² la ganancia solar es de:

$$Q_s = 400 * 4 = 1600 \text{ W}$$

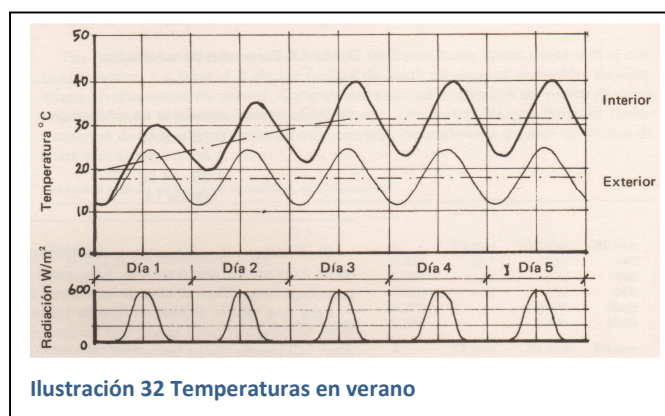
Si la temperatura en el interior puede permitirse que aumente hasta 25 °C cuando está a 18 °C en el exterior, ($\Delta t = 7 \text{ °C}$) y se quiere extraer la ganancia solar mediante ventilación, en este caso Q_v debería ser igual a Q :

$$1600 = 0.36 * V * N * 7$$

$$V * N = 1600 / (0.36 * 7) = 635 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si la habitación tiene, por ejemplo, $5 * 4 * 2.4 = 50 \text{ m}^3$ se necesitan $(635/50) = 12.7$ cambios de aire por hora.

Resulta un régimen bastante alto para ventilación mecánica, pero puede conseguirse fácilmente abriendo adecuadamente las ventanas. Lo antedicho sugiere que (quizás aparte de unos pocos días excepcionales) en el Reino Unido un sobrecalentamiento solar únicamente se produciría si hubiese alguna causa que evitase la posibilidad



de abrir las ventanas (por ejemplo, un edificio con aire acondicionado "hermético" o por razones de ruido). Un edificio masivo reducirá las tareas de ventilación para eliminar el calor sobrante, ya que almacenará algo de calor ganado durante el día y lo disipará por la noche.

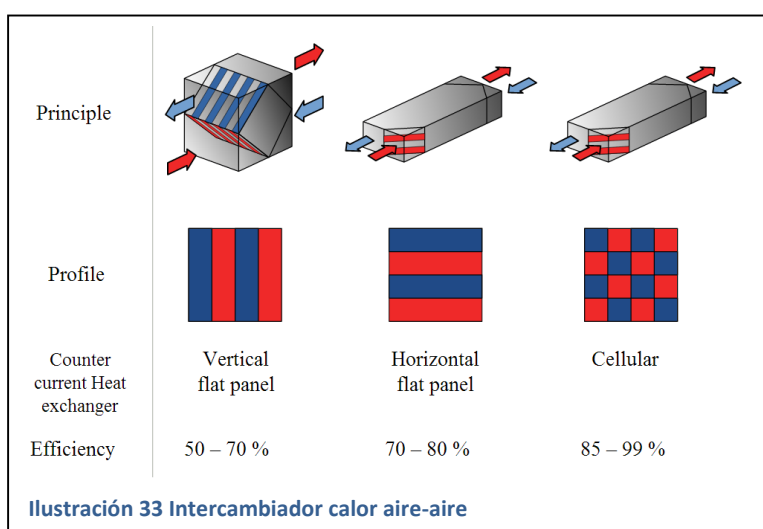
Durante un período de verano la disipación del calor durante la noche en un edificio macizo puede ser inferior a la absorción de calor durante el día. La temperatura puede mostrar una variación tal como la Ilustración 32, es decir, puede aumentar debido a una acumulación del calor en la obra. En estas condiciones, el remedio más simple sería mantener la habitación ventilada durante la noche y así apoyar la disipación de calor, por lo menos en la medida en que se pueda mantener la temperatura media diaria del edificio en el límite inferior de comodidad (24 °C).

En condiciones invernales, la pérdida de calor en un edificio es la suma del calor que fluye a través de los elementos envolventes (Q_c) y el régimen de pérdida de calor por ventilación (Q_v). Con buen aislamiento Q_c puede reducirse hasta un punto en que Q_v pasa a ser elemento dominante, lo cual exige modelos de ventilación mecánica o una compleja arquitectura en energía geotérmica o enfriamiento evaporativo.

En algunos casos el esfuerzo por reducir Q_v ha conducido a una ventilación inadecuada. Si se cumple con la exigencia mínima en cuanto a la ventilación, una importante cantidad de

calor será expulsada con el aire usado caliente extraído (o expulsado), ya que éste será remplazado por aire fresco frío. En una situación ideal el aire usado debería expulsarse, pero conservar su contenido de calor. O, para decirlo de otra forma: el calor del aire que sale debería ser transferido al aire que entra.

En la Ilustración 33 se muestra una solución que consigue esto de una manera eficiente. Se trata de un intercambiador de calor aire-aire en el cual la transferencia se hace por medio de células de aire en las dos direcciones de circulación. Se logran un rendimiento hasta del 99% en la recuperación del calor (frío) en una edificación. Es de funcionamiento totalmente pasivo³⁷



Normalmente, en climas con estaciones o con predominancia fría, como en las montañas, la arquitectura busca proteger la edificación del viento, debido a sus efectos sobre las bajas temperaturas. En general, los pueblos fríos son compactos. En el trópico, se programa desde lo urbano para que las vías de la ciudad también sirvan para la circulación de los vientos,

conservando su dirección. Pero se usan también ventanas con celosías para que controle la luz (cuyo exceso genera calor) y al mismo tiempo dejen pasar el refrescante viento. La estrategia iluminación natural, temperatura interior y ventilación van unidas. Así que los vientos se usan para refrescar ambientes calurosos y húmedos.

En climas tropicales, la estrategia general consiste en no dejar entrar la energía calórica al edificio mediante dos técnicas:

- Rechazo de la radiación en paredes y cubierta por materiales más emisivos que absorbentes. El viento se mueve por diferencia de temperatura
- Fuerte ventilación natural abriendo ventanas en la dirección de los vientos predominantes. El viento se mueve por diferencia de presión.

Estas estrategias no son aisladas del resto del modelo, en particular la necesidad de controlar la iluminación natural y la temperatura de la edificación.

³⁷ Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Heat_exchanger.svg

Una medida aproximada del viento que entra a una edificación la constituye la ecuación:

$$Q = 3150 * A * V$$

Siendo

Q = Flujo másico de aire, en m^3/s

A = Sección de entrada perpendicular a la dirección del viento, en m^2

V = Velocidad del viento en m/s

La sección A debe ser aproximadamente la misma tanto a la entrada como a la salida. Además, la entrada debe estar por debajo de la salida, en términos absolutos. Esto crea una corriente de aire ascendente que la ubica en una zona de confort. Los voladizos a la entrada, formando un embudo, favorecen la entrada de aire al edificio y su velocidad, siempre que se encuentren separados de la ventana; pero si el voladizo está pegado de la ventana, el efecto es adverso a la ventilación. Si hay celosías a la entrada, a manera de persiana veneciana, favorece que dirijan el viento hacia abajo.

Otras estrategias utilizadas en climas tropicales son:

- Elevar la altura de las edificaciones o sus entrepisos, pues favorece la convección entre las partes bajas, en donde está la gente y las partes elevadas, en donde hay mayor temperatura y hacia donde se dirige el aire caliente.
- Los áticos elevados y ventilado, igualmente son una solución importante en climas tropicales para mejorar la ventilación de las habitaciones y mejorar su confort térmico e higrostático.

2.4.2 DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO

El control solar más eficaz lo permiten los dispositivos de apantallamiento externo. Estos pueden ser diseñados únicamente si se conoce la posición del sol en relación a la cara del edificio, es decir, si se determina la geometría solar.

La posición del sol en cualquier punto en el tiempo se define en términos de dos ángulos: altitud (τ) y acimut (α), según indica la Ilustración 34. Estos ángulos pueden ser hallados para cualquier hora del año en almanaques o diagramas de trayectoria del sol de diversas clases. Los más conocidos de todos ellos son sin duda los diagramas estereográficos.

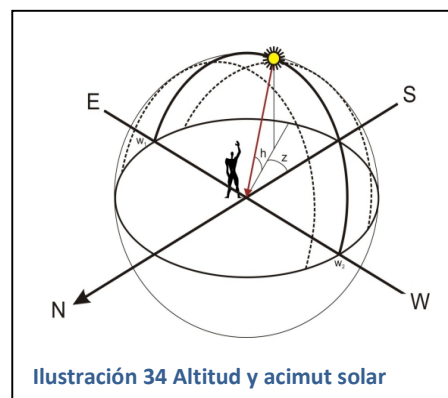


Ilustración 34 Altitud y acimut solar

Para relacionar la posición del sol con el edificio o con una pared vertical en particular del edificio, se deberá utilizar un **trazador de sombras** (como ECOTECT o DIALUX) o hacer los

cálculos en geometría descriptiva. Obtenidos los ángulos de sombra, se puede medir el rendimiento de los apantallamientos o la penetración de la luz del sol en cualquier momento dado, revisar el sobre-apantallamiento por cuenta de edificios u objetos cercanos.

Los apantallamientos pueden ser básicamente de tres tipos³⁸.

Apantallamientos

verticales, que se caracteriza por un ángulo de sombra horizontal y un apantallamiento en forma de sector circular.

La forma de la pantalla son superficies

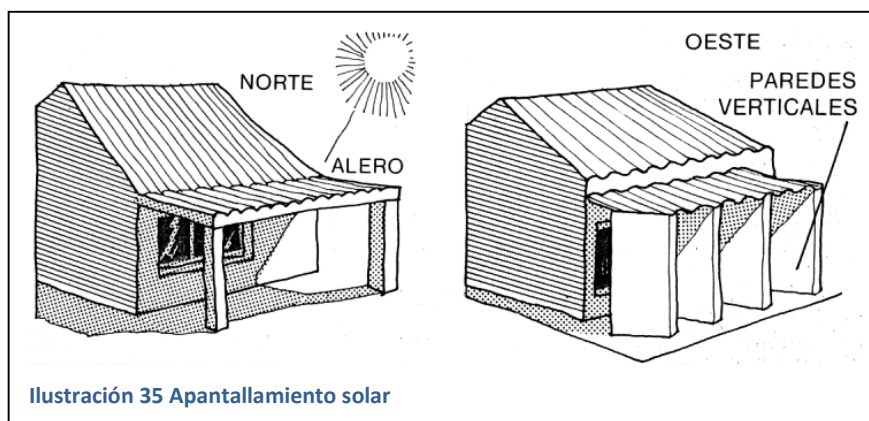


Ilustración 35 Apantallamiento solar

verticales contiguas o aleros (Véase la Ilustración 35. Se usa para controlar el sol en horas tempranas, hasta las 10:00 am y tardes, después de las 3:00 pm.

Apantallamientos horizontales, caracterizados por un ángulo de sombra vertical. Su sombra es en forma de segmento circular. La forma de la pantalla son superficies horizontales contiguas. Sirve para control solar con altitudes de sol a partir de los 30°, por ejemplo, fachadas al norte o al sur, protegidas entre las 10:00 am y las 3:00 pm.

Apantallamiento combinado, en el cual se usan las dos estrategias anteriores. La forma de la pantalla es una combinación de superficies verticales y horizontales, como un cajón o como rejillas.

Estas pantallas pueden aparecer en forma de aleros, toldos, persianas o cortinas. Pero también se pueden construir no solamente pasivos (fijos) sino dinámicos, que se ajusten como las celosías y los parasoles, aunque son un poco mas costosos que los fijos.

Por ejemplo, un dispositivo de apantallamiento horizontal sobre una pared orientada al sur protegerá el sol de verano (con un ángulo de elevación grande) en tanto que permitirá la entrada del sol en el invierno cuando el ángulo de elevación del sol sea mínimo.

Otros elementos arquitectónicos de captación y control de luz natural son³⁹:

GALERIA: Una galería puede describirse como un espacio de luz cubierto unido a un edificio. Puede abrirse al exterior o puede estar cerrada mediante cristales. Permite que la

³⁸ Fuente: http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html

³⁹ Fuente: Comité Español de Iluminación. **APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL EN LA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS.** Min. Industria, Turismo y Com. Madrid, 2005

luz natural entre en las partes interiores de un edificio conectado a la galería por elementos de paso. Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste en las zonas interiores adyacentes a la galería.

PORCHE: Un porche es un espacio de luz cubierto unido a un edificio a nivel del suelo, abierto al entorno exterior. Es un espacio intermedio que permite la entrada de luz natural a las partes del edificio directamente conectadas al porche y las protege contra la radiación solar directa y la lluvia. Normalmente un porche tiene el equivalente en altura a una planta de construcción pero a veces puede llegar a dos plantas.

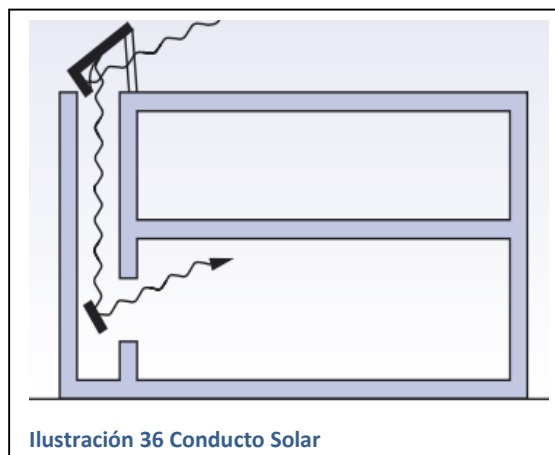
PATIO: Un patio es un espacio encerrado por las paredes de uno o varios edificios y está abierto al exterior por su parte superior y a veces en una dirección. Los patios tienen propiedades luminosas similares al espacio exterior pero a través de ellos se reducen la iluminación con luz natural y la ventilación. Los acabados de las paredes que lo encierran influyen sobre la calidad y cantidad de iluminación del patio: con colores luminosos o superficies especulares, por ejemplo, se aumentan los niveles de iluminación.

ATRIO: Un atrio es un espacio cerrado lateralmente por las paredes de un edificio y cubierto con material transparente o translúcido. Es un espacio interior de un edificio que permite la entrada de luz a otros espacios interiores unidos a él por elementos de paso. Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste con relación a los espacios conectados al atrio, por lo que tiene un pequeño impacto en el uso de alumbrado con luz natural.

Sus dimensiones pueden variar dependiendo del tamaño del edificio. Normalmente ocupa la altura total del edificio. La cubierta puede consistir en una estructura metálica que soporta el acristalamiento. Los acabados interiores deben tener una elevada reflectancia para asegurar la buena penetración de luz natural.

Sus ventajas principales son:

- Admite luz natural en espacios profundos que de lo contrario estarían lejos de una ventana.
- Puede introducir un elemento de espaciosidad en un interior de trabajo, con vistas internas atractivas, particularmente donde hay ornamentos vegetales.
- Proporciona orientación visual y un foco para la circulación, ayudando a los ocupantes a retener un sentido de la dirección.



- Son elementos potenciales de ahorro de energía, pues reducen la pérdida de calor comparado con las paredes de un patio abierto equivalente.
- Las superficies interiores están protegidas de la intemperie, de modo que las paredes y las ventanas que miran al atrio no necesitan ser herméticas. Esto proporciona oportunidades para absorción acústica y tratamientos decorativos.

Los principales inconvenientes del atrio son:

- Ocupan espacio del suelo, en distintos niveles, que de otra manera podrían ser ocupados. Alternativamente, el área de la planta completa del edificio podría ser reducida.
- Aunque el acristalamiento del atrio admite luz natural abundante, no penetrará lejos en espacios adyacentes a menos que el atrio esté articulado, en planta y sección, para dar a los interiores circundantes una vista directa del cielo.

Pueden añadirse elementos de control ajustables para evitar sobrecalentamientos.

CONDUCTO DE LUZ: Un conducto de luz puede conducir luz natural a zonas interiores de un edificio que no están unidas de otro modo al exterior. Sus superficies son acabadas con materiales reflectantes de luz natural a fin de dirigir la luz natural difusa hacia abajo. Hay varias formas de ductos: circulares verticales, horizontales. Todos tienen captadores.

CONDUCTO SOLAR: Es un espacio diseñado para reflejar haces solares a espacios interiores oscuros; puede también proporcionar ventilación. Las superficies son recubiertas con acabados muy reflectantes, tales como espejos, aluminio, superficies muy pulidas o pintura, a fin de reflejar la radiación solar. Véase la Ilustración 36.

PARED TRANSLÚCIDA: Construida con materiales translúcidos, forma parte de un cierre vertical en un edificio. La superficie separa dos ambientes luminosos, permitiendo la penetración lateral de luz y difundiéndola a través del material translúcido.

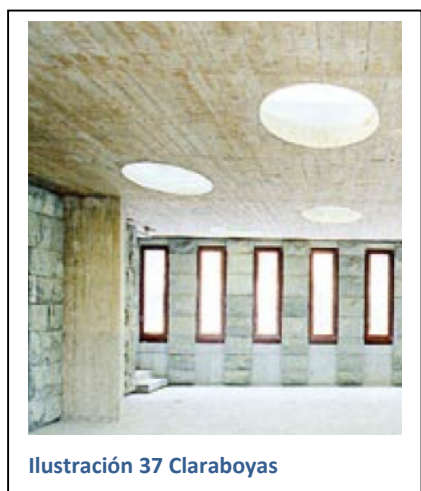


Ilustración 37 Claraboyas

MURO CORTINA: Un muro cortina implica una superficie vertical translúcida o transparente continua sin función estructural, que separa el interior del exterior de un edificio. Generalmente consiste en un bastidor metálico que soporta dicha superficie transparente o translúcida. Permite la penetración lateral de luz natural y la ganancia de luz solar directa e intercambios de vistas, pero no siempre la ventilación. Incrementa el nivel luminoso en zonas próximas al muro cortina.

CLARABOYA: Una claraboya se define como una abertura horizontal o inclinada construida en la cubierta. Permite la penetración cenital de luz natural en el espacio situado bajo él, protegiendo a

veces contra la radiación directa o dirigiéndola hacia espacios inferiores. Aumenta el nivel de luz en el interior. La abertura se suele cubrir con vidrio o plástico transparente o translúcido, y dicho cierre puede ser fijo o abatible. Véase la Ilustración 37.

TECHO TRANSLÚCIDO: Un techo translúcido se define como una abertura horizontal parcialmente construida con materiales translúcidos, que separa el espacio interior del exterior o dos espacios interiores superpuestos. Permite la entrada cenital de luz natural difundida a través del material translúcido al espacio inferior, proporcionando una iluminación uniforme. Sus dimensiones pueden ser similares o menores al área inferior iluminada.

CÚPULA: Permite la iluminación cenital del espacio situado bajo ella. Puede ser de vidrio, material acrílico o policarbonato. Cuando está perforada está hecha de materiales de construcción opacos y las perforaciones pueden estar cubiertas por los materiales translúcidos anteriores.

MEMBRANA: Una envolvente de membrana consiste en una superficie translúcida o transparente que encierra total o parcialmente un espacio. Permite la entrada global de luz al espacio y proporciona un nivel de iluminación interior de bajo contraste. Puede estar hecha de vidrio, policarbonato o material acrílico, soportados por un bastidor.

El alcantarillado para la disposición de las aguas servidas se ha interconectado al de la zona baja de la parcelación, por lo cual se debe pagar un impuesto denominado sobretasa ambiental. Además, se debe pagar un costo por el vertido a partir del uso del acueducto.

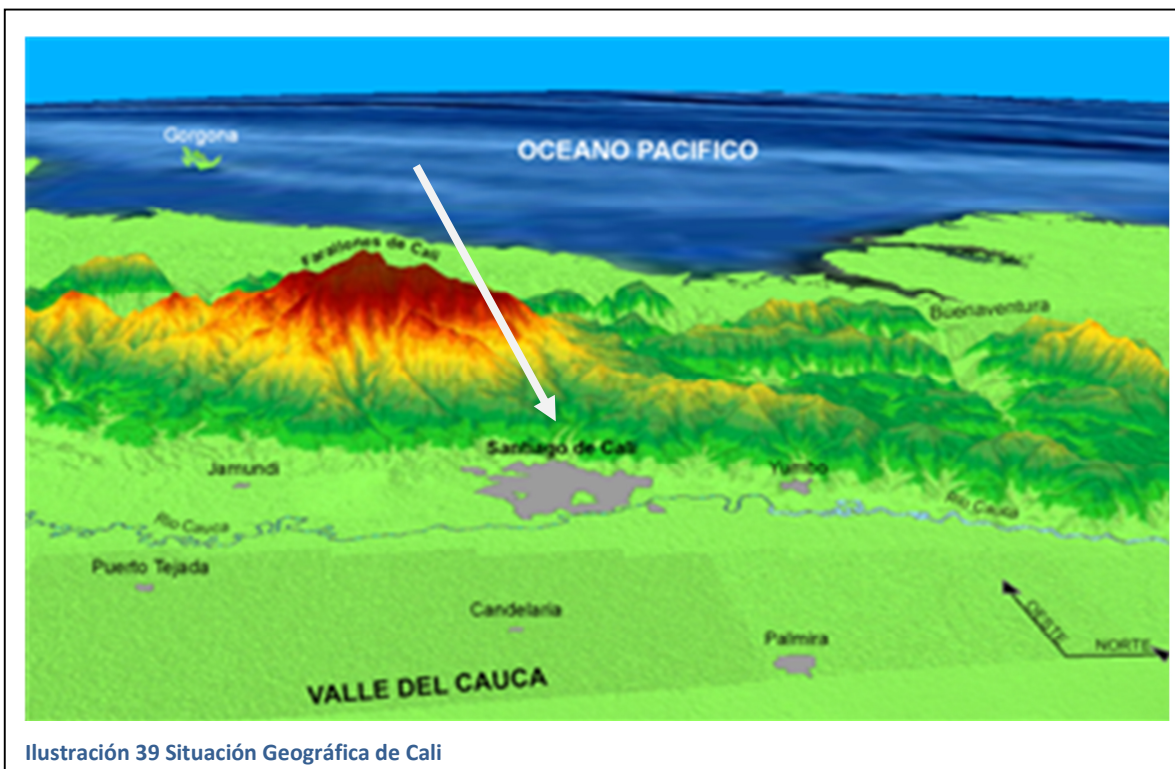


Ilustración 39 Situación Geográfica de Cali

A pesar del nivel económico de sus habitantes, nadie utiliza energías alternativas y es muy poca la gestión energética o del agua que se hace. De esta manera, el paisaje ha ido cambiando poco a poco a un área menos arborizada y más erosionada que ha ido perdiendo valor comercial. La parcela cuenta con vías de acceso pavimentadas, aire puro y excelente clima, que ha sido un aspecto reconocido del sector. Ahora es más común que pregunten por desarrollos con energías alternativas y hay expectativas respecto de esta construcción. Véase la Ilustración 39

La ciudad de Santiago de Cali está ubicada en las coordenadas 3° 27' 00" NORTE; 76° 32' 00" OESTE, en el departamento del Valle del Cauca. Geográficamente Cali está en el valle del río Cauca, el segundo en importancia del país. A la altura de Cali este valle tiene 35 km de ancho y la zona urbana está sobre el costado occidental del río. La parte occidental de la ciudad se encuentra custodiada por los célebres Farallones de Cali, con alturas entre 2000 y 4000 msnm, que hacen parte de la Cordillera Occidental de los Andes colombianos y generan un micro clima fresco y de gran estabilidad térmica e higrométrica.

La ciudad es plana con una elevación promedio de 1000 msnm. Cali se sitúa además en un punto neurálgico y estratégico: hacia el occidente (aproximadamente 100 km) se conecta

con el puerto de Buenaventura sobre el litoral pacífico. A al noreste se encuentra el centro industrial de Yumbo con el que conforma el Área Metropolitana de Cali. Hacia el sur, la ciudad es paso además de la Vía Panamericana y por ende paso obligado desde Colombia hacia el Ecuador. Hacia el oriente, la ciudad apunta a la despensa agrícola de la cordillera central colombiana, compuesta por los departamentos del Huila y Tolima.

3.2 DESCRIPCIÓN BIOCLIMÁTICA

El clima en donde se encuentra el emplazamiento se clasifica como de **sabana tropical**⁴⁰

Aunque la **temperatura** media es muy confortable y está alrededor de los 23 °C, es común tener máximas diarias de 30 °C entre las 11:00 am y las 2:00 pm, por lo cual muchas oficinas de la ciudad cuentan con equipos de aire acondicionado y el correspondiente consumo energético. Un estudio de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle, Indica la presencia de varias **islas de calor**, que llegan a 31 °C principalmente en el centro y el norte de la ciudad⁴¹, lo que hace menos confortable el clima real para las áreas laborales y tenga sentido el diseño bioclimático en arquitectura. En las horas de la noche, la temperatura suele bajar a 18 °C.

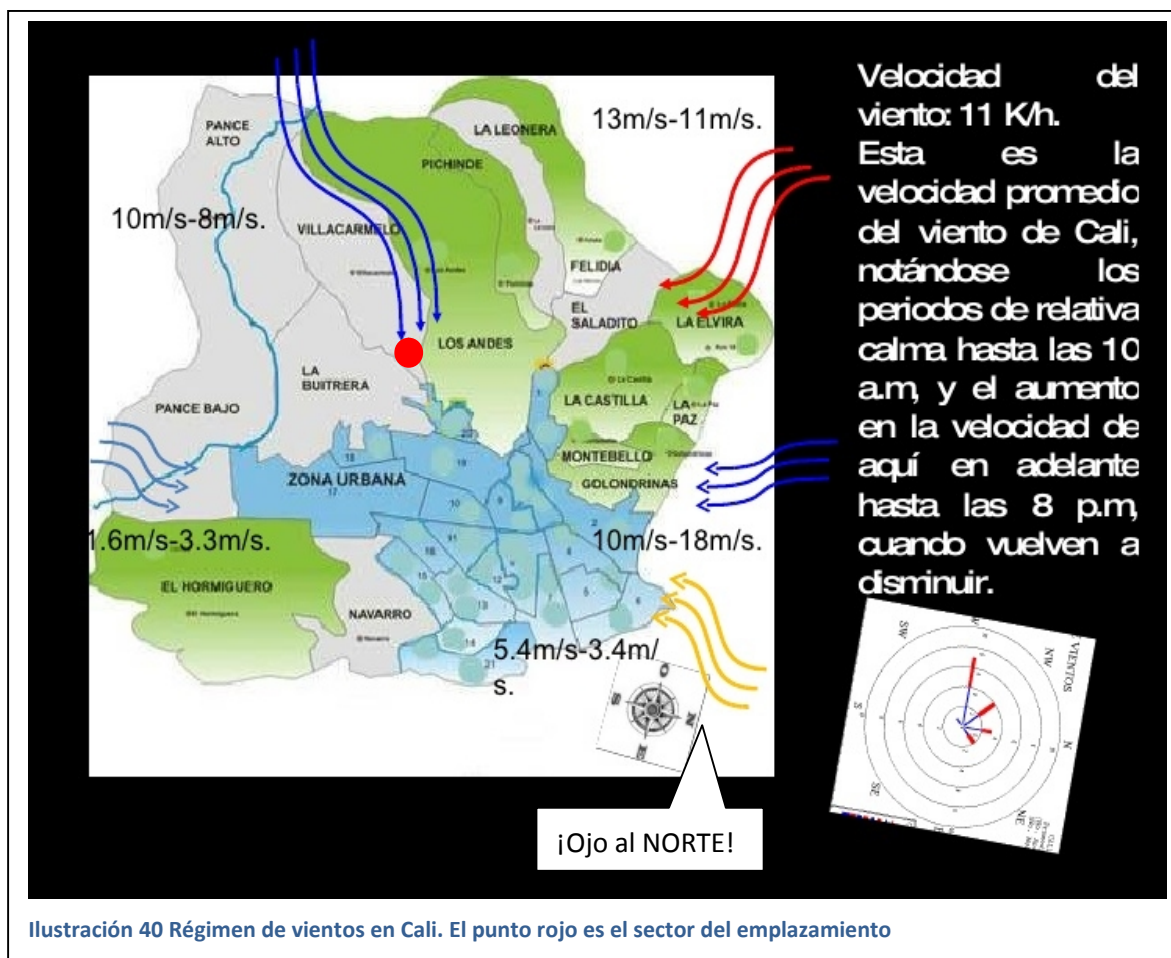
En cuanto a las **precipitaciones**, la acción de la Cordillera Occidental bloquea los frentes de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico, aunque es muy común que la brisa marina llega a la ciudad cubriendo toda la cordillera de una espesa neblina en las horas de la mañana. La Cordillera Occidental tiene 2.000 m de altitud promedio en el norte de la ciudad y alcanza los 4.000 m en el sur, esto hace que en la ciudad la región suroccidental sea más lluviosa que la noroccidental. Los vientos cargados de humedad que pasan desde el Océano Pacífico al Valle del Río Cauca producen precipitaciones entre 3 y 10 días por mes, todos los meses del año. Estas precipitaciones son del orden de 45 mm de lluvia (mensual). En los meses de verano (estación seca son los meses de diciembre a marzo y junio a agosto) y de 101 mm (mensual) de lluvia en los meses del invierno (Estaciones de lluvias que va de marzo a mayo y de septiembre a noviembre).

Los vientos cargados de humedad mencionados anteriormente, tienen un segundo efecto al aumentar la **humedad relativa** del ambiente a 76% casi de manera permanente. En cuanto a días con nevadas, por la posición geográfica que tiene en su Latitud, no se presenta ningún día del año con **nieve** ni **congelamiento** y eventualmente puede caer algo de granizo (pequeñas bolitas de hielo que se mezclan con la lluvia).

⁴⁰ Fuente: POT Santiago de Cali, 2000. http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/POT_Actualizaciones/

⁴¹ Idrobo, Miguel Andrés y Hernández, Francisco Luis. **ISLAS DE CALOR URBANO EN CALI**. Ponencia del Grupo de Investigación en Percepción remota, UNIVERSIDAD DEL VALLE, 2009.

El **régimen de vientos** es muy estable. Con un 79% del tiempo en calma en períodos comprendidos entre las 8:00 pm y las 10:00 am del día siguiente. A partir de esa hora, el viento aumenta su velocidad hasta los 11 Km/h (3.0 m/s) siendo máximo a las 4:00 pm y reduciéndose nuevamente hasta las 8:00 pm. La Tabla 7 ofrece un resumen de los principales parámetros climáticos del emplazamiento.



En general, en el Cali Urbano, los vientos corren de norte a sur a lo largo del cañón geográfico del Río Cauca, son vientos secos que se intensifican en las tardes, aunque su paso por Yumbo lo contamina ligeramente. Es así como la parte NORTE de la ciudad tiene una valorización menor que las urbanizaciones al SUR, en donde se encuentra el emplazamiento.

Es común recibir el aire de la mañana con el olor de las plantas químicas del norte. Pero en el cañón del Río Cañaveralejo, que es el área del proyecto, los vientos corren de este a oeste en las horas de la mañana (viento descendente) y en sentido contrario en horas de la tarde (viento ascendente)⁴². Véase la Ilustración 40. Las velocidades tanto en la mañana

⁴² Fuente: <http://www.slideshare.net/Proyectos5/factores-climaticos>

como en la tarde son similares, del orden de 11 Km/h (3.0 m/s) aunque su régimen es parecido a los vientos de la ciudad. Es decir, inician su movimiento a las 10:00 am hasta las 4:00 pm y luego disminuyen hasta las 8:00 pm.

Su paso por la cordillera los enfría y se desplazan cerca de la superficie del terreno pero al llegar a la ciudad se calientan y suben de nuevo.

Tabla 7 Resumen principales parámetros climáticos de Cali

Parámetro resumido	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22
Temperatura máxima media	30	30	30	29	29	29	30	30	30	29	28	29
Temperatura mínima media	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Promedio de días con precipitación	9	10	13	15	15	10	8	8	11	16	14	10
Promedio de días con Nieve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Humedad Relativa (%)	72	72	73	75	76	75	72	70	72	75	76	74
Precipitación MENSUAL Prom.(mm)	48	61	103	123	97	55	28	46	69	115	99	65
Brillo Solar (horas/mes)	184	157	164	143	144	154	185	183	159	154	151	168

Otras variables presentes y no consideradas son la presencia de edificaciones elevadas a lo largo del recorrido del viento, que cambian los patrones de ventilación en los edificios que quedan apantallados y modifican la temperatura en las vías aledañas a éstos. No se consideran porque en la zona del emplazamiento no están presentes estos edificios, pero para otros diseños en el sector, deberá tenerse en cuenta.

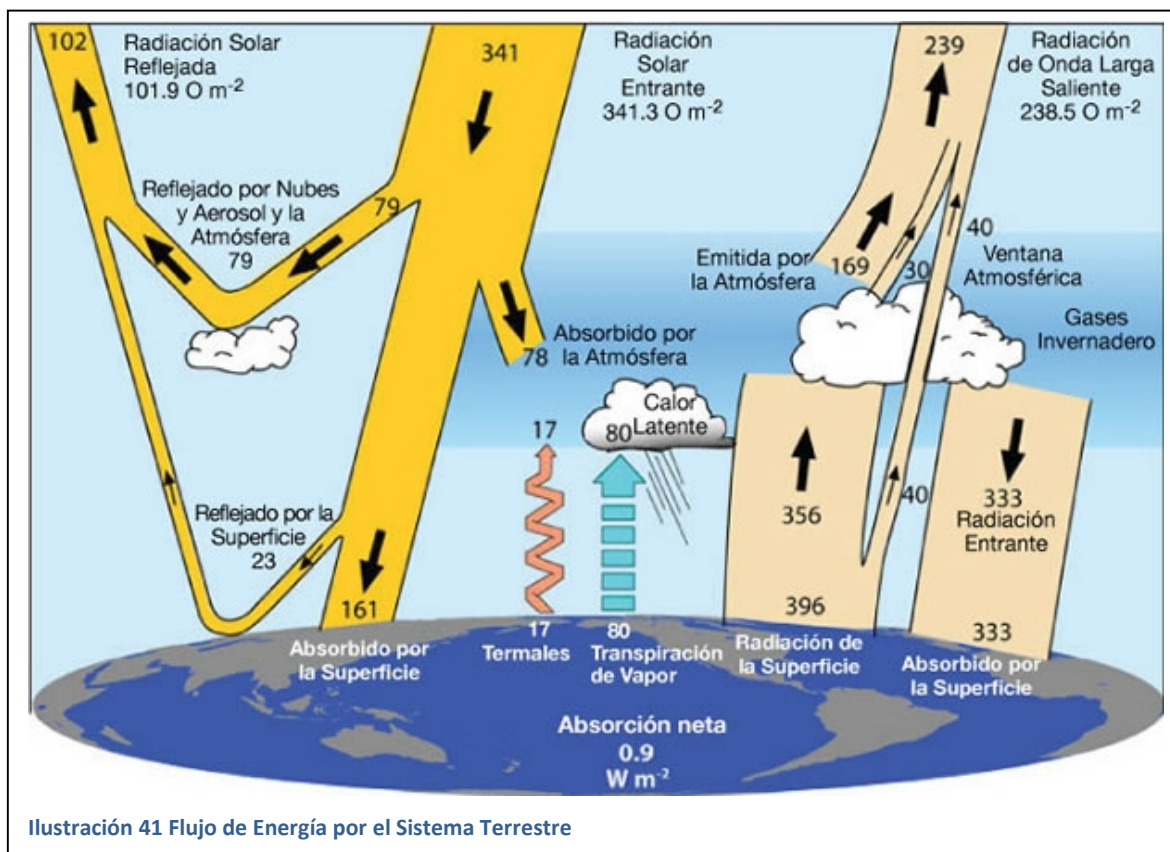
3.3 ANALISIS DEL POTENCIAL SOLAR

La vivienda en consideración se encuentra en el límite técnico de una zona donde las centrales solares apenas funcionarían, pues la radiación solar llega a 1699.1 KWh/m² año cuando las centrales solares importantes de España ubicadas en el desierto de Tabernas, en Almería cuentan con radiaciones hasta de 2115.3 KWh/m² año.

Pero, al tomar en cuenta que se trata de un aprovechamiento solar residencial, parece razonable trabajar con esta potencia, así como lo hacen en Alemania y otros países nórdicos, además, considerando el hecho de que el calentamiento buscado no compromete el sistema de calefacción vital de la casa para la subsistencia en invierno (no lo necesita), sino su sistema de generación de energía, aire acondicionado, agua caliente sanitaria, purificación del agua lluvia, cocción de alimentos y demás **comodidades** de una vivienda moderna.

Para comprender mejor el potencial solar de un emplazamiento, es necesario conocer algo sobre la geometría y la física solar.

La Tierra recibe energía radiante del sol a una tasa de 173×10^{15} W. Para tener un comparativo, el consumo de la humanidad es del orden de 7×10^{12} W por tanto, el sol irradia sobre la tierra el equivalente a 24714 veces la potencia utilizada por toda la humanidad. Pero La Tierra emite una cantidad idéntica. Esto es una condición de equilibrio, pues la emisión depende de la temperatura de La Tierra.



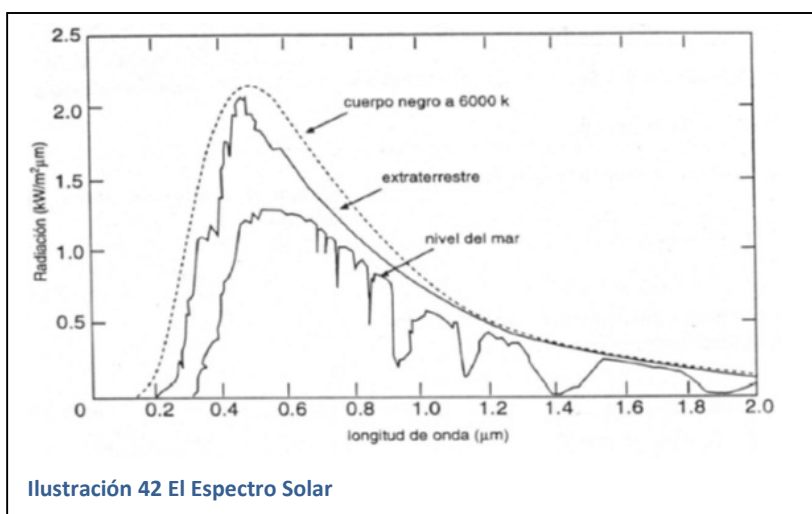
La temperatura a la cual la emisión es igual a la admisión se denomina temperatura de equilibrio y es la temperatura de La Tierra tal y como la conocemos. Si la admisión o la emisión cambiaran por cualquier razón, también cambiará la temperatura de equilibrio⁴³.

De todos estos intercambios energéticos, solamente un 0.02% del total (unos 40×10^{12} W) penetran en el sistema biológico por fotosíntesis en las plantas y otros organismos productores de materia orgánica. Una pequeña proporción de la energía almacenada como energía química en plantas y tejidos animales se ha acumulado a lo largo de millones de años bajo condiciones geológicas favorables en forma de carbones y aceites minerales, convirtiéndose en las actuales reservas de combustibles fósiles. Pero el ritmo de formación de esos combustibles (si es que existe) es mínimo en comparación con el ritmo de

⁴³ Fuente: Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, y J. Kiehl, 2008: *Presupuesto de energía global de la Tierra*. Bull. Sociedad Meteorológica Americana. Disponible en <http://www.windows2universe.org/>

consumo (véase la Ilustración 41). Así que la forma de evitar el agotamiento de estas reservas fósiles es re-direccionar el flujo de estas cantidades importantes de energía utilizando la radiación solar antes de ser devuelta al espacio.

El espectro de emisión de los radiadores de cuerpo negro se determina por su temperatura. El espectro de la radiación solar fuera de la atmósfera corresponde casi a la emisión de un cuerpo negro a 6000 °K. Es un espectro casi continuo desde aproximadamente 200 nm (1 nanómetro = 10^{-9} m) correspondiente a la luz ultra-violeta, hasta 3000 nm correspondiente a la longitud de onda de los infra-rojo, con un máximo aproximadamente a 500 nm. La absorción atmosférica es en cierta medida selectiva, cambiando no sólo la cantidad, sino también la composición espectral de la radiación recibida. Ilustración 42 muestra los



dos espectros en relación con la totalidad del espectro de radiación electromagnética. Los vacíos en la curva inferior muestran las bandas características de absorción de los gases de la atmósfera como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, pero principalmente vapor de agua. La radiación elec-

tromagnética (como la luz) muestra características dobles que son explicables en términos de la teoría cuántica. El contenido en energía de la radiación se determina por su longitud de onda. Las longitudes de onda más cortas representan un mayor grado de energía. Esta teoría puede demostrar así mismo, que la totalidad de la radiación solar puede convertirse en calor, pero únicamente los componentes de onda corta y gran energía podrán producir un efecto fotoeléctrico.

La intensidad de la radiación que llega a los límites más altos de la atmósfera Terrestre muestra algunas variaciones, pero el valor medio, 1395 W/m^2 , se considera la **constante solar**. La actividad de las manchas solares puede modificar la producción de energía en el sol mismo en $\pm 2 \%$ y se da una variación de $\pm 3.5 \%$ debido a la variación de la distancia entre tierra y sol ($152 \times 10^6 \text{ km}$ en el afelio y $147 \times 10^6 \text{ km}$ en el perihelio).

La absorción atmosférica reduce esta intensidad en una medida que depende parcialmente de la longitud del recorrido a través de la atmósfera y parcialmente del estado de la masa de aire (nubosidad, partículas suspendidas).

Cuando el sol se encuentra en un ángulo de altitud bajo, la intensidad es menor. Con una posición de cenit, la intensidad media sobre un plano horizontal puede acercarse a 1.0 KW/m² (a nivel del mar).

La Ilustración 43 muestra la intensidad de la radiación solar sobre un plano horizontal como función del ángulo de altitud solar, a nivel del mar y a diversas alturas⁴⁴. La cantidad anual total de radiación recibida en un lugar dado depende de su altitud geográfica y de factores climáticos locales. La Ilustración 44 Irradiación Solar Media anual⁴⁵ indica aproximadamente la radiación que cabe esperar en diferentes partes del planeta. No obstante, hay una variación en la distribución anual de la radiación solar en cualquier punto en particular. En general, la zona ecuatorial tiene un régimen mas uniforme, mientras que a mayor latitud, aparecen unas puntas veraniegas pronunciadas. Este es el origen de las estaciones.

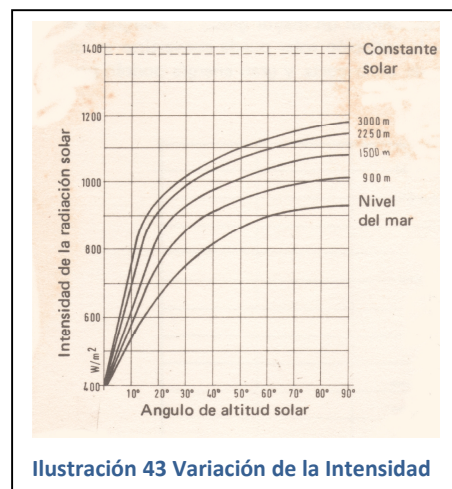


Ilustración 43 Variación de la Intensidad

Se puede obtener una mayor radiación sobre un plano, si éste se coloca inclinado a la posición media anual del sol sobre el plano horizontal, ángulo que corresponde con la latitud del lugar en consideración. El incremento llega al 10% en las zonas ecuatoriales y al 15% en las zonas de los trópicos.

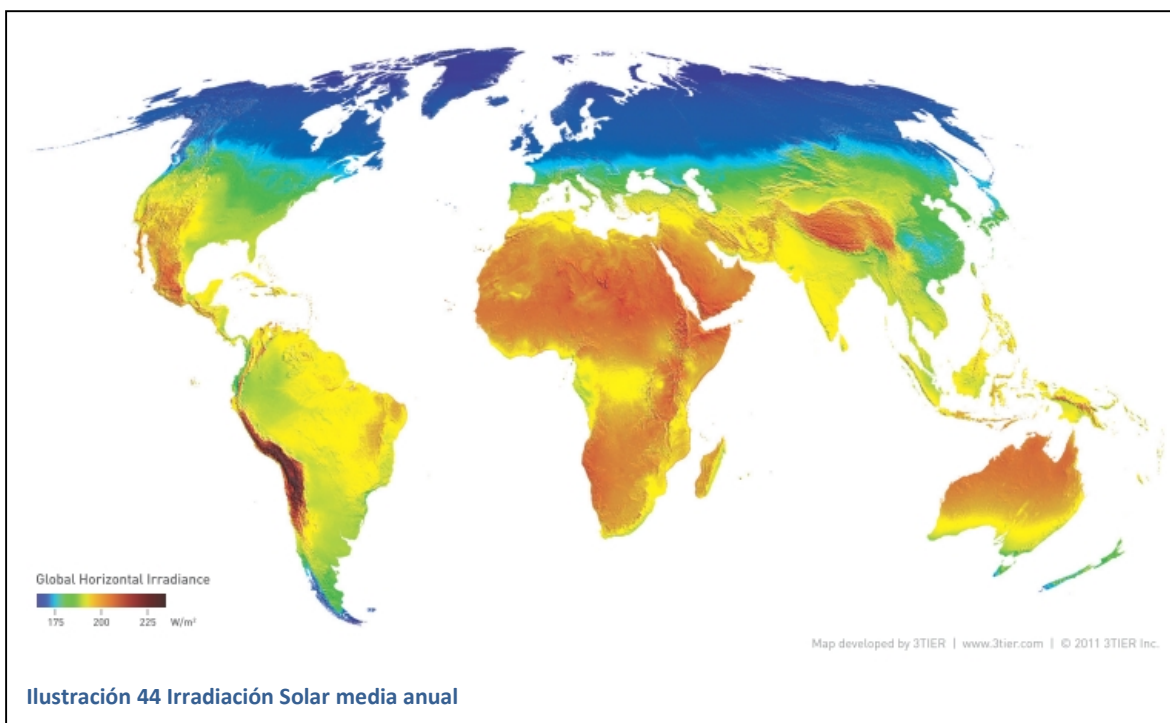
Si se mantiene el plano perpendicular al sol durante el día, es decir, con un seguidor solar, el incremento en la radiación llega hasta el 35%. El inconveniente de este sistema es la necesidad de hacerle mantenimiento a las partes móviles, por lo que el aumento en eficiencia queda contra-restado con el costo del mantenimiento.

Generalmente un seguidor solar tiene dos ejes de giro: el que maneja la declinación solar ($\pm 23.5^\circ$ desde el norte con ciclo de un año) y el que maneja el ángulo de altitud ($\pm 90^\circ$ desde la vertical, con ciclos de un día)

Realizado este análisis, se ha obtenido de la Base de Datos de la NASA, a través del programa **RETScreen® del Ministerio de Energía del Canadá** los datos de potencial solar en la zona del emplazamiento los cuales se resumen en la Tabla 8 y que da como dato general, que hay un potencial solar de 4660 Wh/(día·m²) con 5,3 horas promedio de brillo al día.

⁴⁴ Fuente: Grounwater. **Solar Radiation and Air Conditioning**. Crosby Lockwood, 2007

⁴⁵ Fuente: http://www.3tier.com/static/ttcms/us/images/support/maps/3tier_solar_irradiance.pdf



Estos datos se deben complementar con la estadística del comportamiento solar, por lo que la potencia máxima diaria en un año disponible, con una probabilidad del 95% es de 4913 Wh/m²/día; en tanto que la mínima es de 4397 Wh/m²/día.

Tabla 8 Radiación Solar ⁴⁶ en Wh/(día-m ²) sobre Cali											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
4500	4610	4830	4610	4580	4420	5140	5140	4690	4530	4390	4420

Este potencial solar servirá para el resto de cálculos relacionados a lo largo del presente trabajo.

3.4 ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO

Como puede observarse de los datos de la Ilustración 40 El potencial eólico es pequeño debida a la baja velocidad de los vientos. Aunque los vientos de sotavento vienen por el cañón del río Cañaveralejo, no traen mucha fuerza, pues el paso por la cordillera occidental a 4000 msnm los debilita.

Además, las hélices generadoras deben colocarse elevadas del piso para evitar el Efecto Coriolis.

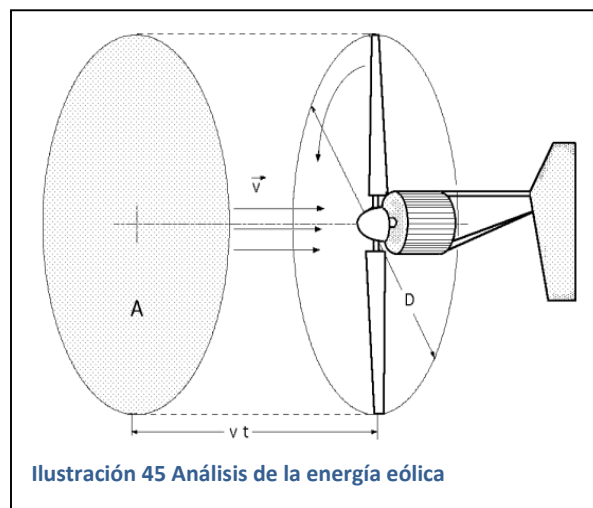
⁴⁶ Fuente: Software **RETScreen Plus**, Ministerio de Recursos Naturales del Canadá, 2012. Disponible en <http://www.retscreen.net/es/download.php>

El potencial eólico depende de la velocidad del viento y la superficie barrida por la hélice. Sea una corriente de aire de densidad ρ y velocidad v , la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie A circular de diámetro d y hace un recorrido L en un tiempo t , (Véase la Ilustración 45) viene dada por la expresión:

$$E_v = \frac{E_{Cinética}}{t} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{v^2}{2t} (vtA\rho) = \left(\frac{\rho A}{2}\right)v^3 = \left(\frac{\pi\rho d^2}{8}\right)v^3$$

De este concepto se desprenden las siguientes consecuencias:

- a) La potencia del viento varía fuertemente con la velocidad
- b) La potencia del viento varía con la densidad del aire ρ a causa de las variaciones de presión, humedad relativa y temperatura atmosféricas. Este parámetro puede variar un 15% a lo largo del año
- c) La eficiencia de generación máxima teórica de un molino eólico paralelo respecto del potencial es 59.5% (límite de Betz⁴⁷)
- d) La potencia útil no va más allá del 45,9% del potencial eólico real



Un análisis de las cuentas del potencial eólico arroja el siguiente resultado: Una hélice de 2,76 m² de diámetro tiene 6,00 m² de superficie barrida, colocando su eje al menos a 15m de altura y realizando la

integración en intervalos de 1 hora a lo largo del día (y la noche) produce 186,4 Wh/día efectivos de energía eléctrica. Por tanto, no resulta económico utilizarlo, aún en pequeña escala.

3.5 ESTRUCTURA URBANA DEL SECTOR

La Parcelación “Bella Suiza”, sector en donde se encuentra el emplazamiento del presente proyecto, es un sector rural de Cali, pero muy cerca de su centro urbano. Localizado al SUR-OESTE de la ciudad tiene una vía de acceso pavimentada hasta la entrada del emplazamiento, Esta vía conduce a la “Avenida Circunvarlar del Sur” ubicada a menos de 1 Km de distancia, desde la cual se tiene acceso al STM (Sistema de Transporte Masivo). Así, el sec-

⁴⁷ Fuente: Fernández Díez, Pedro. **ENERGÍA EÓLICA**. Publicación del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria. España, 2006

tor es de alto nivel socio-económico. Al lado SUR-ESTE colinda con un parque natural denominado “Parque de la Bandera”, de gran afluencia turística y que en los últimos años ha sido descuidado porque operan algunas minas ilegales de carbón.

Por el lado OESTE colinda con un cementerio católico muy extenso y muy bien cuidado que pasa inadvertido en la distancia. El NORTE tiene una vista hacia el cañón del río Guadalupe, el que se canaliza y cubre al llegar a la calle 5, uno de los sitios más representativos de la ciudad por su urbanismo, presencia de sitios de diversión pública y en donde se encuentra la “plaza de toros Cañaveralejo”. La montaña del frente, denominada “El Cortijo” alberga un cinturón de viviendas pobres y de baja calidad ambiental, pero al estar a más de 2 Km no alcanzan a dañar la vista con relación al deterioro ambiental.

Un poco al NORESTE se encuentra el populoso barrio “Belisario Caicedo”, cuna de grandes figuras como futbolistas profesionales, músicos, deportistas olímpicos, narcos y políticos.

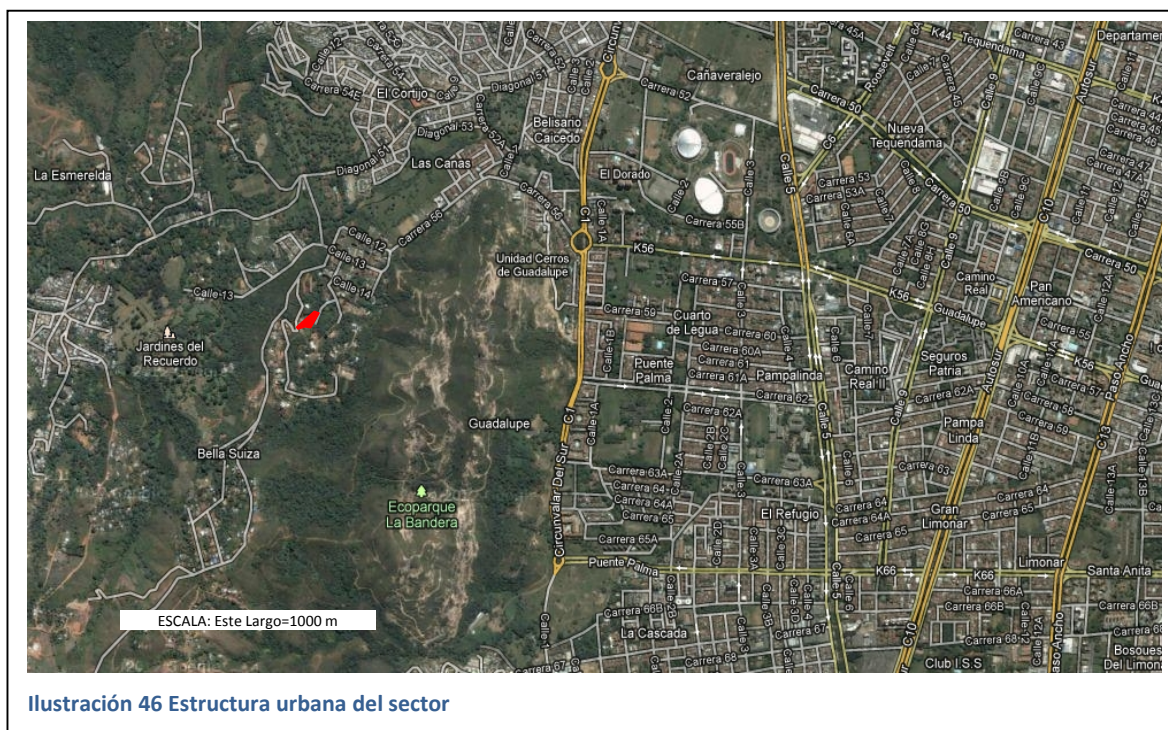


Ilustración 46 Estructura urbana del sector

Por la altura del terreno, en la vista al NORTE y el NORESTE alcanza a divisar lo ancho del valle del río Cauca (unos 20 Km) hasta divisar ciudades como Palmira y Candelaria constituyendo un “mirador” natural de gran valor hedónico. La Ilustración 46⁴⁸ presenta una planta del sector del emplazamiento. El sector es de una baja densidad de población, con relación a la ciudad y tiene un coeficiente muy alto de zonas verde por habitante en relación a los promedios de Colombia, para sectores similares.

⁴⁸ Fuente: Google Maps®

Las viviendas dentro de la parcelación tienen todo tipo de estilos arquitectónicos: rústicos, modernos, vivienda en guadua de bambú, casas en piedra, muros de contención que valen más que el resto de la construcción, elevada variedad de materiales y métodos constructivos, cada parcela tiene su propia piscina, pero hay un denominador común: todas tienen una gran zona verde con árboles, hierba o jardines.

El centro de la parcelación tiene una zona común densamente arborizada donde habitan micos, ardillas y animales autóctonos en estado silvestre. El lado ESTE del emplazamiento colinda con esta zona común, que tiene un camino peatonal para recorrerla, aunque no cuenta con una infraestructura adicional como caminos de piedra u otras construcciones.

3.6 PAISAJE Y VEGETACIÓN

La ubicación correcta de los árboles respecto de una edificación, además de proveer mejoras en la vista y el paisaje, puede representar un ahorro de hasta un 25% en el consumo anual de energía por el sistema de calefacción y refrigeración.

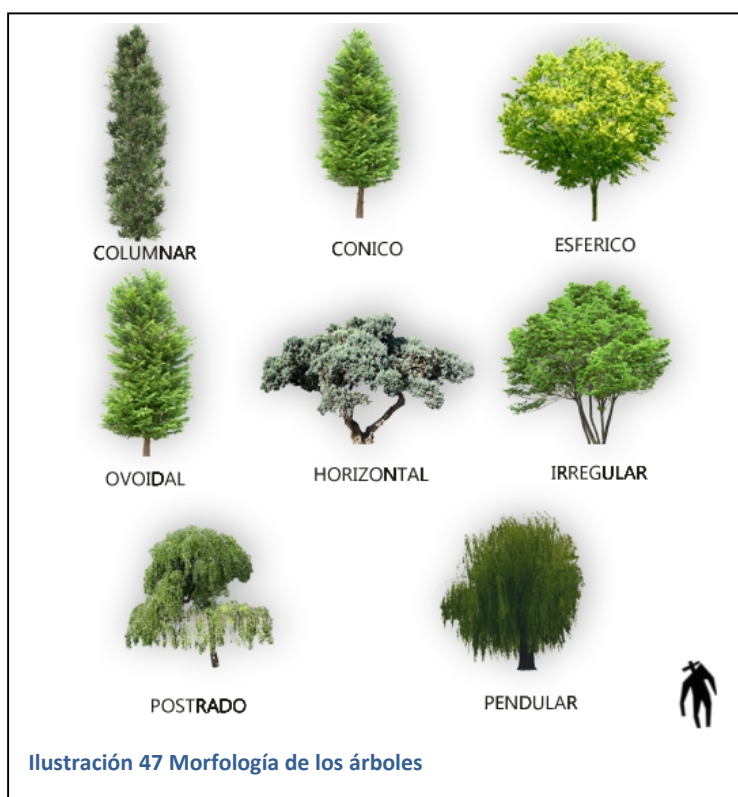


Ilustración 47 Morfología de los árboles

En efecto; La sombra y la transpiración (proceso en que una planta mueve y libera activamente vapor de agua) de los árboles pueden reducir la temperatura del aire circundante hasta en 5 °C. Puesto que el aire frío tiende a bajar, la temperatura del aire debajo de los árboles puede ser de hasta 14 °C menos que las temperaturas del aire por encima del pavimento cercano.

Por ello se debe cuidar el Diseño paisajístico: Cualquier tipo de árbol, colocado cerca de la zona SUR de la fachada, refrescará el ambiente por evapo-

transpiración. Siempre que se pueda, se deben sombrear las paredes ESTE y OESTE, toda vez que son las que reciben mayor cantidad de radiación solar. Los árboles ubicados hacia el ESTE deben ser de tronco alto para permitir el paso de aire fresco hacia el interior de la edificación. Una clasificación de los árboles, por sus características morfológicas se en-

cuentra en Ilustración 47. Sombrear los techos con árboles grandes de copa horizontal permite reducir la temperatura interior de una edificación entre 4.5 °C y 5.5 °C.

Ubicar cobertura vegetal alrededor de las edificaciones sustituyendo superficies duras, disminuye la reflexión sobre las paredes y la acumulación de calor.

Los árboles de hoja caduca en zonas con estaciones climática dan mayor flexibilidad, debido a que en verano proyectarán sombra sobre la casa y en invierno se le caerán dichas hojas, por lo que permitirá el paso de la radiación solar.

Las temperaturas del aire durante el día, en verano, son de 2 °C a 3 °C más frescas en los vecindarios arbolados que en las zonas desprovistas de árboles. También se utilizarán los árboles como barreras anti-viento.

Actuando sobre aspectos como el color de los muros o los tejados se puede ahorrar energía. Las paredes de color claro reducen la ganancia de calor hasta un 35 %. Un tejado color claro comparado con uno oscuro puede reducir la ganancia de calor en un 50 %.

La edificación debe ubicarse de tal manera que no se presenten obstrucciones solares del relieve del terreno (la propia ladera o el horizonte visible) o de construcciones próximas, para que no proyecten sombra en los meses de invierno ni sobre los equipos de captación solar, los cuales están en el techo de los tres edificios.



Ilustración 48 Fuentes de agua y Paisaje

Otros aspectos que mejoran la vegetación es colocar estanques y fuentes de agua⁴⁹ que producen un refrescamiento en los alrededores, sin dejar de tener en cuenta que un exceso de estos elementos produciría humedad. También se puede regar alrededor de la casa con frecuencia. Véase la Ilustración 48

El emplazamiento propuesto tiene dos (2) árboles nativos importantes, que tienen más de 20 años de plantados y están en el lindero sur. Corresponden a una especie nativa de *leucadena* que tienen alturas entre 10 y 15 m, follaje denso, aunque cambian sus hojas regularmente, por lo que proveen una cantidad importante de materia vegetal al piso, que

⁴⁹ Fuente: <http://daparq.com/galeria/Rivera%20Plaza/index.html> Cortesía del Arq. Luis Manuel Miranda, diseñador del Centro Comercial RIVERA PLAZA en Cali y Tutor del presente trabajo.

para muchos resulta en basura. Estos árboles se conservarán en el modelo de desarrollo planteado. Además de los que se plantarán en el costado norte para proteger el reservorio de agua lluvia a construir y los arbustos que se sembrarán en el OESTE, para mejorar la presentación de la fachada principal.

4 ANÁLISIS DEL PROYECTO

4.1 DESCRIPCIÓN DE ESPACIOS

El modelo de trabajo definido en el presente proyecto obedece a una tendencia moderna en el cual se integran espacialmente el trabajo y la vivienda. En China, muchas fábricas del este del país, proveen a sus empleados de albergues temporales cercanos durante la semana, para minimizar los costos de transporte y mejorar la productividad, aunque se ha notado que hay un descuido de la familia, pues solo viajan a sus casas el fin de semana.

La empresa que ocupará el espacio del presente trabaja desde hace cuatro (4) años con esta metodología, con excelentes resultados. Dos Ingenieros viven y trabajan en un departamento de lunes a viernes. Generalmente, el sábado y domingo van a sus casas fuera de la ciudad y regresan el lunes temprano. La jornada de trabajo es de horario flexible y se trabaja por resultados, principalmente.

El objeto social de la empresa es el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo de equipos dedicados para actividades relacionadas con el mejoramiento de la calidad de vida de sus clientes.

Por el costo y los requerimientos de clientes, se adicionó un laboratorio de metrología para variables como masa, temperatura, dimensionales, torque, humedad relativa, tensión DC, tensión AC industrial, resistencia de aislamiento, resistencia eléctrica, corriente eléctrica DC y AC para calibración de relés de distancia y potencia eléctrica hasta 1 KW.

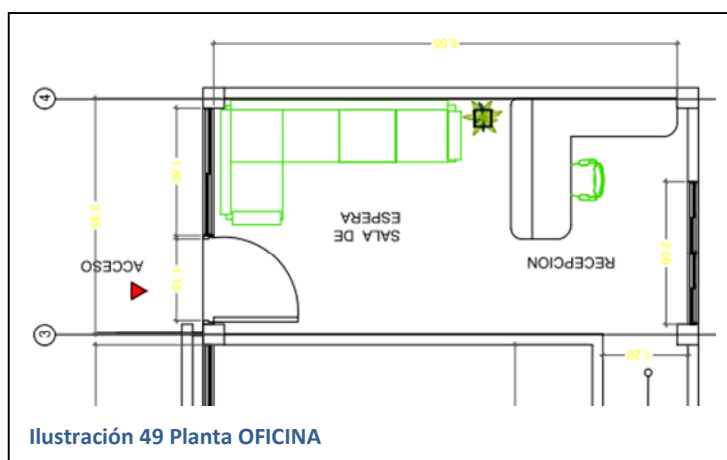


Ilustración 49 Planta OFICINA

Con el tiempo se espera colocar un sistema de pruebas para paneles termosolares.

El presente proyecto pretende aumentar a cuatro (4) el número de Ingenieros trabajando con esta modalidad, por lo que se definen áreas de trabajo y de vivienda bien definidos y separado. Por ello hay dos (2) edificios y tres (3) espacios claramente definidos.

La Oficina: (Véase la Ilustración 49) Básicamente la oficina es un puesto de trabajo para una persona que se encarga de recibir clientes (no es muy común), controlar el acceso a la

toda vez que el resto del edificio se encuentre enterrado, para disminuir los movimientos de tierra durante su construcción.

Esta ventana se colocó como remplazo de la idea original, que era un lucernario, pero la necesidad de dejar el área del techo libre para los módulos de enfriamiento radiativo nocturno y los paneles fotovoltaicos obligó a replantear el modelo de iluminación diurna para la bodega. Igualmente esto obligó a colocar una barrera de concreto armado para proteger el grupo de ventanas del ESTE, que comprende la bodega y la oficina, incluyendo una puerta que da acceso desde el taller a la vivienda.

Finalmente, tiene una tercera sub área para el LABORATORIO metrológico, que tiene una superficie útil de 3.28 m x 5.21 m y cuenta con un mesón en todo su perímetro. El laboratorio tiene una excelente vista al OESTE y al SUR pero requiere condiciones de temperatura y humedad relativa controladas durante los períodos de calibración de equipos.



Ilustración 51 Planta BODEGA y LABORATORIO

El laboratorio cuenta con una ventana a lo largo de la fachada OESTE de 5.06 m X 1.45 m de alto y toda la fachada SUR de 3.13 m X 1.45 m de alto. Esta ventana se encuentra protegida del sol de la tarde con la misma celosía externa que recorre la fachada OESTE y la mitad de la fachada SUR de la edificación (Véase el área rayada en la Ilustración 51).

La Vivienda: La diferencia de nivel entre el TALLER y la VIVIENDA son 3.15 m y se cubren con una escalera de 1.20 m de ancho libre con dos escalones que llegan a una huella de descanso y continúa con 20 huellas mas. Esta escalera se encuentra al aire libre y puede ser una debilidad del diseño, pues hay un promedio de doce (12) días por mes en los cuales cae lluvia en el sector. La experiencia muestra que estas lluvias son cortas, generalmente en las horas de la madrugada o por la tarde, después de las 4:00 pm.

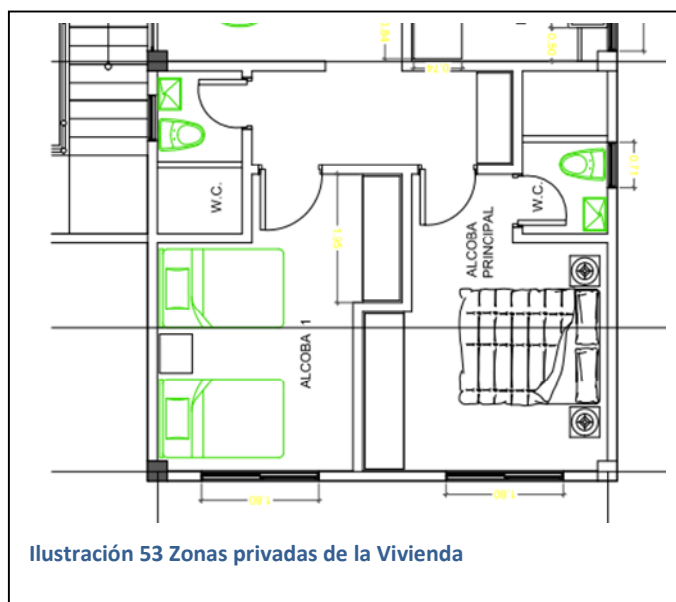
Esta escalera termina en el corredor de acceso a la vivienda y por este corredor se accede a la puerta principal de la vivienda y a la zona recreativa o ESTADERO, al NORTE de la edificación.

El corredor, de 1.20 m X 6.00 m y 3.0 m de alto es un espacio encerrado en vidrio y malla o mosquiteros, que protege del sol directo sobre la pared de la VIVIENDA que colinda con la sala de TV, pues este corredor abre al OESTE y tiene una gran insolación, particularmente en los meses de junio, julio y agosto, la época mas caliente del año.

COCINA: Integrada a la SALA por una gran ventana de 2.00 m de ancho por 1.90 m de alto, permite mantener conversaciones entre personas en los dos espacios. Hacia el OESTE, cuenta con una BARRA tipo bar, para comidas informales. Sus asientos son adaptados a la barra, por lo que son más elevados. El espacio asignado a la cocina es de 3.40 m X 3.15 m y 3.00 m de alto. Cuenta, básicamente con los muebles para guardar los elementos de cocina, mesones, lavaplatos, nevera de 215 litros y una estufa solar de 5.0 KW con almacenamiento de energía para trabajar a cualquier hora del día o de la noche. La estufa será descrita mas adelante.

Adicionalmente, en la pared ESTE, tiene una ventana de 0.48 m de alto por 2.00 m de ancho y pegada al techo, situación que se da porque la pared ESTE se encuentra incrustada en la montaña.

ROPAS: Espacio de 3.15 m X 1.80 m y 3.00 m de alto, contiguo a la cocina en el que se maneja un lavadero (para emergencias), aseo de la vivienda, una máquina lavadora de ropas y una secadora de ropas. Estas máquinas trabajan con energía fotovoltaica y termo-solar de manera combinada. Su descripción se hará mas adelante, pero su inclusión se debe a que la máquina lavadora ahorra hasta el 50% del agua en comparación al lavadero convencional y la secadora permite tener ropa seca en una (1) horas, lo cual es importante para los usuarios de la vivienda. Sobre estas máquinas se encuentra un estante para guardar la ropa de camas, toallas y elementos de la vivienda.



Cuenta con una ventana al ESTE de 0,48 m de alto y 1.65 m de largo pegada al techo. Estas ventanas solamente cuentan con 64° de visión al cielo, porque el muro protector así los determina. Esto incidirá de manera importante en la iluminación natural diurna, según se verá mas adelante.

ALCOBA 1: Comprende un espacio de 2.85 m X 4.55 m y 3.00 m de alto, habilitado como dormitorio de dos (2) de los habitantes de la vivienda. Adicional a este espacio cuenta con un closet de 1.95 m X 0.75 m y 3.00 m de alto. La dotación propuesta consiste en dos (2) camas sencillas de 1.20 m de ancho y 1.90 m de largo. Una mesa de noche o nochero de

0.60 m de ancho, 0.50 m de profundidad y 0.40 m de alto y una lámpara de mesa, con la cual se completa el mobiliario. Véase la Ilustración 53. Esta alcoba se diseñó con una ventana al SUR de 1.80 m de ancho y 1.25 m de alto, completada por encima de la primera ventana con una ventana de ventilación continua cuya apertura neta es de 1.70 m X 0.47 m con persianas y malla mosquitero, Con ello se mejora la ventilación de la vivienda debido a que está en dirección perpendicular a los vientos dominantes de la región, además, su área corresponde al cálculo (en conjunto con la ventana de la alcoba principal) para tener un intercambio de aire entre 4 y 60 volúmenes por hora según la velocidad de los vientos y la hora del día a la cual estas velocidades se dan. En este caso se ha evitado la ventana al OESTE por la elevada insolación que significa, pues el área de la cubierta resuelve las necesidades de energía solar requeridas y se quiere minimizar la construcción.

BAÑO SOCIAL: Colindando con la Alcoba 1 se encuentra un baño que cubre un área de 1.30 m X 2.5 m libres y que tiene lavamanos, retrete y ducha. Está concebido para servir en primera instancia a los residentes de la alcoba 1, pero se construyó en el hall de acceso a las habitaciones para que permita servir como baño social de la vivienda.

Cuenta con una ventana de 0.70 m de ancho X 1.30 m de alto con vista al OESTE, vidrios esmerilados y una ventana adicional de ventilación sobre la ventana anterior, cuya apertura neta es de 0.47 m X 1.20 m equipada con celosías y malla mosquitero.

ALCOBA PRINCIPAL: Se encuentra en el lugar más fresco de la casa, al estar protegido del sol del OESTE por la alcoba 1 y del sol del ESTE por la montaña. Es una habitación grande, de 3.75 m por 4.55 m de profundidad y 3.00 m de alto, mas un closet de 2.45 m de largo y 0.75 m de profundidad. La dotación básica es una cama doble de 1.80 m de ancho y 2.14 m de largo complementada con dos mesas de noche.

Cuenta, además, con un baño privado de 1.30 m X 2.50 m y que tiene lavamanos, retrete y ducha. El baño tiene una ventana al ESTE de 0.71 m de ancho X 0.48 m de alto, por aquello de la montaña. Tiene una ventana al SUR de 1.80 m de ancho y 1.25 m de alto, completada con otra ventana sobre la anterior, cuya apertura neta es de 1.70 m X 0.47 m con persianas y malla mosquitero, para mejorar la ventilación de la vivienda. Es similar a la de la alcoba 1.

HALL DE ALCOBAS: es una zona de paso entre el área social y las habitaciones cuyas dimensiones son 1.45 m de ancho, 3.45 m de largo y 3.00 m de alto. Sirve de separador acústico y delimitador social de los espacios. Cuenta, además del baño social descrito, con un closet de 0.55 m de profundidad X 1.45 m de frente y 3.00 m de alto, en el que se almacena la ropa de cama de las habitaciones.

Estas áreas construidas conforman tres (3) módulos claramente diferenciados en el espacio y en sus usos. Falta agregarle las áreas ocupadas por las paredes internas, las cuales no

son áreas útiles, pero evidentemente, sí se necesitan. Así, la OFICINA tiene 30,2 m², el TALLER tiene 79,1 m² y la VIVIENDA tiene 156,2 m².

A continuación se presenta un resumen de los espacios de cada edificación, en la Tabla 9 y con los cuales se hará el proceso de valoración de la edificación:

Tabla 9 Resumen de espacios				
Espacio	Largo (m)	Ancho (m)	Superficie (m ²)	Alto (m)
Oficina	3,35	6,70	22,445	3,52
Escalera oficina-taller	1,35	3,14	4,239	3,52
Espacios paredes			3,572	
TOTAL OFICINA			30,256	
Baño social taller (incluido en Taller)	2,28	1,65	3,762	2,40
Taller (con el baño)	6,34	6,55	41,527	2,40
Bodega	3,28	5,21	17,089	2,40
Estantería incrustada	0,30	2,53	0,759	2,40
Laboratorio	3,28	5,21	17,089	2,40
Espacios paredes			2,626	
TOTAL TALLER			79,090	
Estadero Vivienda	3,90	6,95	27,105	3,00
Corredor OESTE en Vivienda	1,20	6,00	7,200	3,00
Sala TV Vivienda	3,75	4,35	16,313	3,00
Sala de la Vivienda	3,75	4,35	16,313	3,00
Comedor	3,75	5,50	20,625	3,00
Cocina	3,40	3,15	10,710	3,00
Ropas	3,15	1,80	5,670	3,00
Alcoba 1	2,85	4,55	12,968	3,00
Closet alcoba 1	1,95	0,75	1,463	3,00
Baño social Vivienda	1,30	2,50	3,250	3,00
Alcoba Principal	3,75	4,55	17,063	3,00
Closet Alcoba Principal	2,45	0,75	1,838	3,00
Baño privado Alcoba Principal	1,30	2,50	3,250	3,00
Hall de alcobas	1,45	3,00	4,350	3,00
Closet Hall de alcobas	0,55	1,45	0,798	3,00
Espacios paredes			7,35	
TOTAL VIVIENDA			156,267	

Existen otras áreas construida exteriores que conforman principalmente la escalera principal de acceso, con 27,377 m², la escalera de acceso a la VIVIENDA, con 10,579 m², la construcción del estanque para almacenar el agua lluvia, con 31,773 m² y la superficie de

captación, con 40,661 m². Otras áreas de interés son la vía de acceso y parqueaderos, con 174,771 m².

Se espera construir una rampa de acceso para personas minusválidas y elementos pesados que puedan subirse impulsados manualmente, la cual tiene una longitud útil de 53,23 m y 1,20 m de ancho, con una diferencia de nivel de 3,57 m (pendiente del 6,71%)

4.2 ANÁLISIS DE FACHADAS

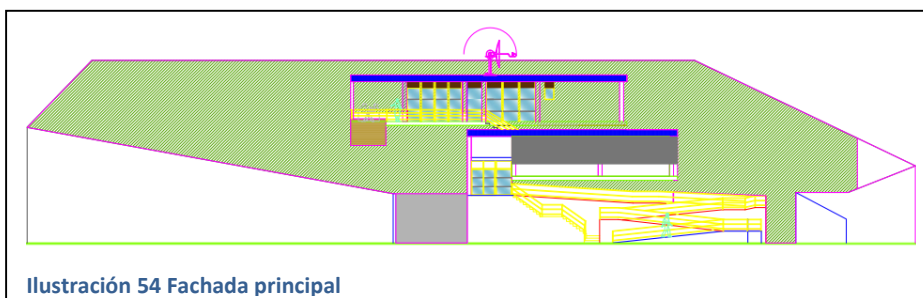


Ilustración 54 Fachada principal

Con el fin de reducir el movimiento de tierras y aprovechando la morfología del terreno, la edificación se ha distribuido en el sentido norte-sur, de modo que la fachada principal es al OESTE.

Esta situación no es tan favorable si hubiese estado en latitudes elevadas y clima con estaciones; pero a 3.4° de latitud NORTE y con clima tropical, no resulta tan desventajoso. Véase la Ilustración 54. A pesar de tener el concentrador parabólico móvil con una altura de 3.60 m, éste no se verá sino desde lejos, identificando “la casa solar”.

Además, por la pendiente tan grande, el edificio se ha partido en tres: la OFICINA, el TALLER y la VIVIENDA. Así que en la fachada los bloques aparecen separados, dando la sensación de ser un edificio más alto y más grande que lo que en realidad es. Véase la Ilustración 55.



Ilustración 55 Fachada OESTE

Desde el acceso principal, ubicado al SUR, la fachada luce como un bloque de concreto que emerge de la montaña, resaltando las lamas protectoras de la fachada del TALLER y la escalera de acceso. También se ve parte de la fachada de la VIVIENDA justo sobre el laboratorio. Desde el comedor de la vivienda se puede observar quién está en la puerta de entrada. Véase la Ilustración 56. Los ventanales de vidrio y anejo de la vivienda resaltan en el contorno de la Vivienda.

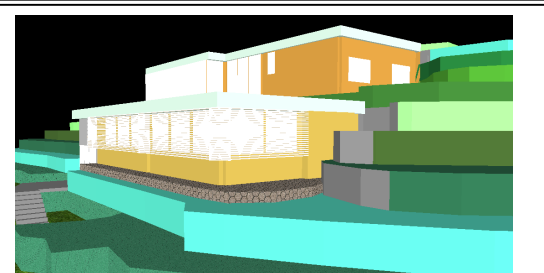
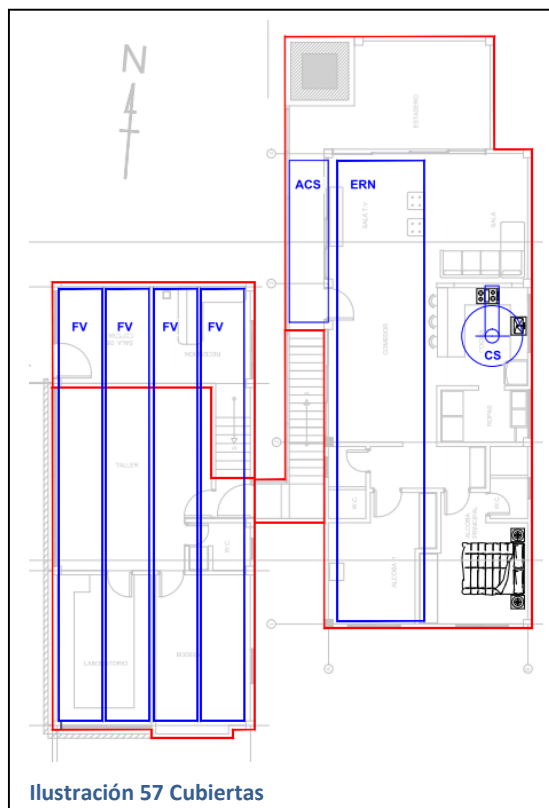


Ilustración 56 Fachada SUR

4.3 CUBIERTAS

Las cubiertas de las edificaciones tienen la misma estrategia pasiva: fuerte aislamiento térmico, un alero en la vivienda para reducir la insolación sobre la sala, el estar de TV y el estadero principalmente. Edificios altos. En este caso, debido al terreno y como la fachada ESTE se encuentra enterrado, se ha aprovechado para hacer techos planos en losa aligerada con el fin de ubicar todos los paneles que se necesitan:

- Unos 40 m² de tubos al vacío para el enfriamiento radiativo nocturno (ERN), que va en el techo de la VIVIENDA, para que no se interfiera con la sombra del seguidor parabólico;
- un concentrador parabólico (CP) seguidor solar, de 2.1 m de diámetro y 3.60 m de altura, para la estufa, que estará colocado sobre la COCINA con el fin de evitar la sombra sobre los paneles solares, sobre los termosolares y que esté cerca del almacenamiento térmico ubicado en la cocina;
- Se requieren 6.0 m² de paneles termosolares para el ACS que estarán justo encima del CORREDOR, para que funcione, además, como protector solar de este espacio;
- Se requieren 40 paneles fotovoltaicos de 1,5X1.0 que necesitan 60 m². Se colocarán sobre el LABORATORIO en cuatro módulos de 15 m² cada uno permite hasta 12 paneles, por lo que la instalación puede ser ampliada hasta 48 paneles, si se necesita más energía eléctrica.



En el presente proyecto, la cubierta tiene todos los elementos captadores de la energía del sol por dos (2) aspectos: a) protección mecánica; b) mejor insolación; c) ninguna sombra que interfiera; d) Al estar los equipos juntos, se convierte en una tecno-cubierta y e) genera una sombra importante a la cubierta para contribuir a la frescura del edificio. Dado que los elementos captadores son superficies planas con poca inclinación (máximo de 10° y mirando al sur para los paneles fotovoltaicos y los termosolares, en tanto que los tubos captadores de ERN deben estar mirando al cenit y tienen la inclinación necesaria para el movimiento del butano cuando se condensa, la cubierta tiene una pequeña barrera para taparlos, de modo que no afectan la visual. El problema es el captador parabólico, que se verá desde todas partes, identificando “la casa Solar”.

4.4 DESEMPEÑO TÉRMICO DEL EDIFICIO

El desempeño térmico de un edificio depende básicamente de su forma y orientación, de la composición material de sus cerramientos, de las condiciones climáticas del sitio en que se emplaza, y de los usos a los que se ve sometido.

Si se toman en cuenta las variaciones reales de factores climáticos como la temperatura del aire, la radiación solar y el viento, el análisis del comportamiento térmico de los edificios resulta un tema bastante complejo. Cuando se desea analizar un edificio que aun no se ha construido, es decir, que se encuentra en fase de proyecto, es necesario recurrir a herramientas informáticas que permitan desarrollar simulaciones dinámicas.

Mediante dichas herramientas se puede modelar matemáticamente un edificio, tomando en cuenta la configuración geométrica y material de sus componentes. Luego esa estructura hipotética se somete a un régimen dinámico de flujo de energía, ganancias solares, temperatura exterior del aire, velocidad y dirección del viento, entre otros factores, calculando al mismo tiempo los valores de retraso y decremento térmico de sus cerramientos. Como resultado final, es posible determinar con cierta precisión las condiciones ambientales internas, y lo más importante, como variarán dichas condiciones en el tiempo, que tan confortable será el espacio o que tanta energía se requerirá para mantener el confort por medio de algún sistema de aire acondicionado.

Por otro lado, en este caso también es posible aplicar métodos de cálculo en régimen estacionario, es decir, considerando que los factores ambientales, como la temperatura del aire, permanecen invariables. Aunque se trata de métodos muy simplificados, incapaces de mostrar con detalle el comportamiento real de los edificios, pueden ser de utilidad para comprender en términos generales los mecanismos y procesos que afectan su desempeño térmico. Además, es necesario contar con el inventario de paredes, espesores, ventanas, coeficientes de conductividad térmica y superficies, para evaluar la ganancia o pérdida de calor en diferentes horas del día y la demanda de refrigeración o calefacción de las edificaciones. Así, que se hará un análisis de las características del edificio:

FORMA: Se analizará su **compacidad** de acuerdo con la definición general. Para la OFICINA Y TALLER: forman una unidad cuyos principales parámetros son:

$$\text{Volumen Edificio} = 79.09 \text{ m}^2 \times 2.40 \text{ m} + 30.256 \text{ m}^2 \times 3.52 \text{ m} = 296.3 \text{ m}^3$$

$$\text{Superficie de la esfera equivalente } S_g = 208,92 \text{ m}^2 \quad \text{Superficie de la piel} = 188,98 \text{ m}^2$$

Compacidad = 0,79, lo cual está de acuerdo para climas benignos.

ESBELTEZ: Relaciona la altura del edificio y su diagonal. Se espera que sea bajo.

$$\text{Altura del edificio} = 3,52 \text{ m} \quad \text{Diagonal} = 16,554 \text{ m}$$

Esbeltez = 0,21 que corresponde a un edificio bajo.

OFICINA. Datos de software.

Realizado el análisis térmico en el software ECOTECT® de acuerdo con los resultados de la Ilustración 58 se obtiene una visión general del modelo térmico, para el 21 de agosto 3:00 pm, en el cual se observa que el comportamiento es aceptable en cuanto el puesto de trabajo. Se va a tener una sensación agradable, excepto si hay

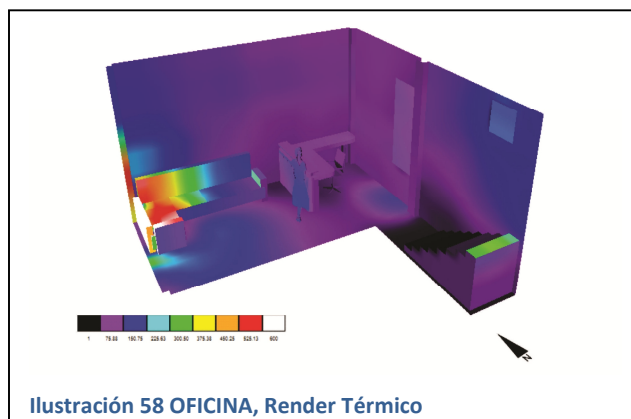


Ilustración 58 OFICINA, Render Térmico

alguien en la sala de espera. Ello implica que se deberá contar con una mayor protección solar en esta área, la cual puede ser persianas internas, cortinas o volver a cambiar la fachada, alargando las lamas horizontales que tiene el Taller. Se optó por dejar las cortinas.

TALLER. Datos de software.

Tomando las mismas fechas y horas, se realizó el análisis térmico del TALLER, cuyos resultados se encuentran en la Ilustración 59 en el cual se observa el enorme control térmico ofrecido por las lamas externas, a pesar del nivel de soleamiento que presenta. En este caso, no se ha tenido en cuenta el aire acondicionado, pues este equipo se

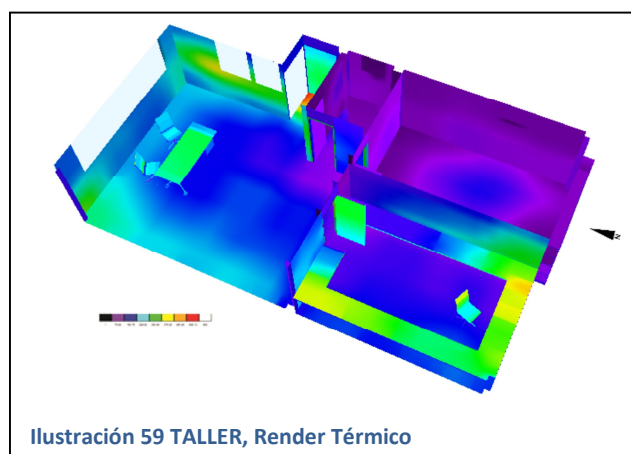


Ilustración 59 TALLER, Render Térmico

usará para condiciones de laboratorio durante las calibraciones. La escala térmica es la misma en las figuras expuestas. Los techos se evaluaron con radiación difusa para los sitios que tienen superficies captadoras solares, como los paneles fotovoltaicos.

VIVIENDA: Datos de Software.

En la vivienda, para los mismos parámetros descritos anteriormente, se observa en la Ilustración 60 que la barrera del corredor actúa como un fuerte amortiguador del calor del sol, tal y como estaba previsto. De hecho, el corredor tiene una temperatura elevada con relación al interior de la casa. Las habitaciones presentan buen comportamiento térmico al estar dentro de la zona de confort, al

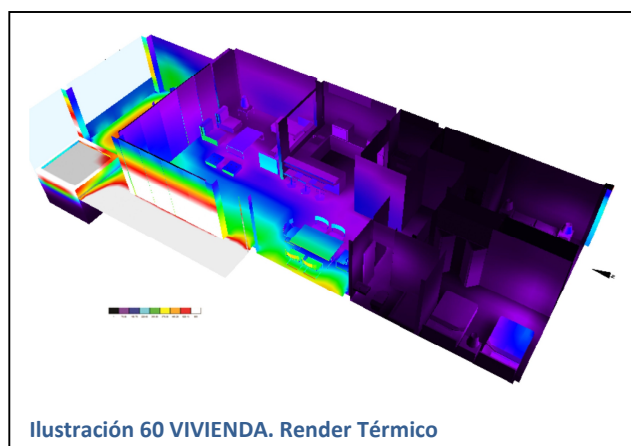


Ilustración 60 VIVIENDA. Render Térmico

igual que la cocina, sala, sala TV.

Tabla 10 Materiales del modelo térmico						
OFICINA	Largo (m)	Alto (m)	Superf. (m ²)	Espesor (m)	Conduct. (W/m K)	UH (W/m ² K)
Pared NORTE	7,00	3,72	26,04	0,15	0,031	
Pared OESTE	3,65	3,72	13,58	0,15	0,031	
Pared SUR	NA					
Pared ESTE	NA					
Ventana OESTE 1	0,85	1,95	1,66			2,30
Ventana OESTE 2	0,85	1,95	1,66			2,30
Puerta OESTE	1,12	2,00	2,24			2,60
Ventana ESTE 1	2,00	2,05	4,10			2,30
Ventana ESTE 2	0,70	0,60	0,42			2,30
TALLER	Largo (m)	Alto (m)	Superf. (m ²)	Espesor (m)	Conduct. (W/m K)	UH (W/m ² K)
Pared NORTE	NA					
Pared OESTE	11,85	2,40	28,44	0,15	0,031	
Pared SUR	7,00	2,40	16,80	0,15	0,031	
Pared ESTE	11,85	2,40	28,44	0,15	0,031	
Ventana OESTE 1 Taller	1,40	1,42	1,99			2,30
Ventana OESTE 2 Taller	1,40	1,42	1,99			2,30
Ventana OESTE 3 Taller	1,40	1,42	1,99			2,30
Ventana OESTE 4 Lab.	1,40	1,45	2,03			2,30
Ventana OESTE 5 Lab.	1,40	1,45	2,03			2,30
Ventana OESTE 6 Lab.	1,40	1,45	2,03			2,30
Ventana SUR 1 Lab.	1,40	1,42	1,99			2,30
Ventana SUR 2 Lab.	1,40	1,42	1,99			2,30
Ventana ESTE Bodega	1,20	0,60	0,72			2,30
Ventana ESTE Baño	0,70	0,60	0,42			2,30
Puerta ESTE (A Vivienda)	1,00	2,00	2,00			2,60
Ventana ESTE (en Oficina)	0,70	0,60	0,42			2,30
VIVIENDA	Largo (m)	Alto (m)	Superf. (m ²)	Espesor (m)	Conduct. (W/m K)	UH (W/m ² K)
Pared NORTE	7,20	2,40	17,28	0,15	0,031	
Pared OESTE	16,60	2,40	39,84	0,15	0,031	
Pared SUR	7,20	2,40	17,28	0,15	0,031	
Pared ESTE	16,60	2,40	39,84	0,15	0,031	
Puerta NORTE	5,30	2,00	10,60			2,60
Ventana OESTE Sala TV	4,20	2,00	8,40			2,30
Puerta OESTE	1,05	2,00	2,10			2,60
Ventana OESTE Comedor	3,75	2,00	7,50			2,30
Ventana OESTE Baño	0,70	1,30	0,91			2,30
Ventana SUR Alcoba 1	1,80	1,25	2,25			2,30
Ventana SUR Alcoba Ppal	1,8	1,25	2,25			2,30
Ventana ESTE Baño Alc. Ppl	0,70	0,48	0,34			2,30
Ventana ESTE Ropas	1,65	0,48	0,79			2,30
Ventana ESTE Cocina	2,00	0,48	0,96			2,30

El modelamiento térmico del ESTADERO se realizó tomando como paredes de total transmitancia, a fin de simular la vista al aire libre, por ello no se especificaron ventanas ni puertas. Para el techo de todo el modelo se tomó una plancha ligera de 0.15 m, con un aislante celulósico de 0.12 m y acabado en paneles térmicos tipo DRYWALL. La conductividad térmica del aislante celulósico es de ($\lambda = 0.035$ en El comedor presenta algo de sobre calentamiento, pese a los paneles que tiene en el techo, pues la mayor parte del calor entra por la ventana OESTE. Así que será necesario colocar cortinas o persianas en las tres ventanas. En el ESTADERO se puede notar el efecto del agua, pues su elevado calor específico hace que el calentamiento

ambiental sea muy lento. Por otra parte, el software parece no tener en cuenta condiciones iniciales diferentes a la ambiental, de modo que es posible esperar mayores temperaturas en la vivienda, a medida que avanza el verano.

La estrategia será VENTILACION, sobre todo en la noche, para compensar la ganancia de calor del día. En la Tabla 10 se presenta un resumen de los principales materiales utilizados y las características de las superficies utilizadas.

4.5 VENTILACIÓN

Análisis de la OFICINA. Con una altura de 3.53m, la oficina original desaprovecha los vientos en dirección NORTE-SUR ni la iluminación del NORTE. Además, la insolación por el OESTE será plena sobre la pared más grande del edificio, ¡Y con vidrios grandes!

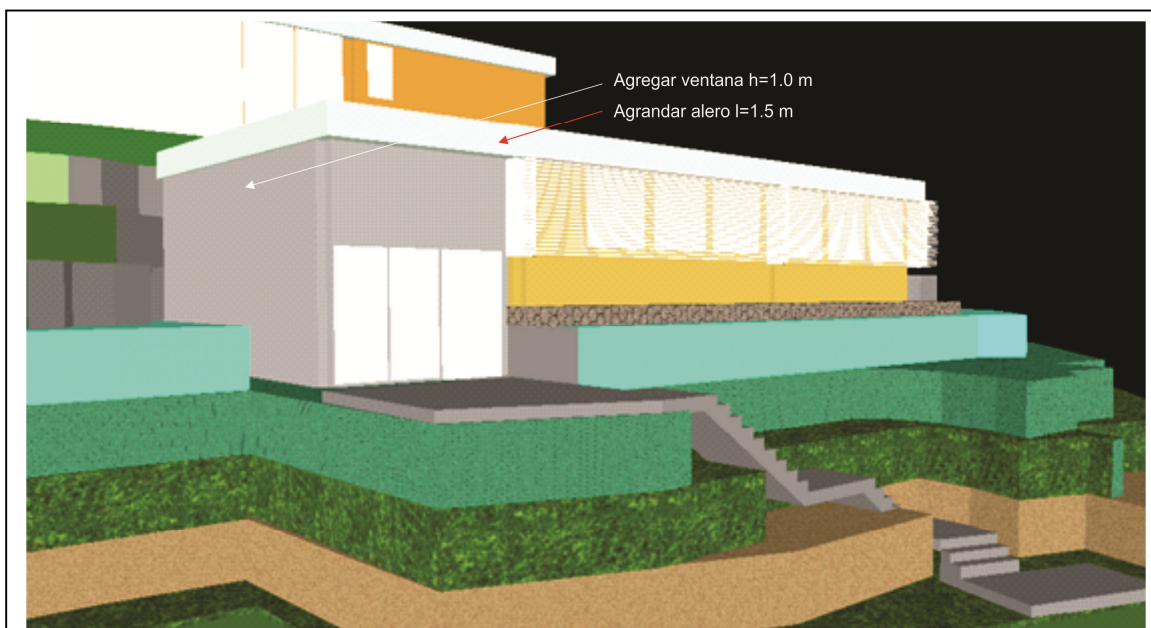


Ilustración 61 Mejoras a la Ventilación de la OFICINA

Por ello, se ha decidido colocar un alero mas grande hacia el OESTE, de 1.5 m de largo, para bajar la insolación sobre dicha pared, además, se duplicará la ventana del ESTE pasando de 1.0 m de ancho a 2.0 m, para facilitar la ventilación y mejorar las posibilidades de luz día, cuando no esté climatizado el ambiente. No se colocan ventanas al NORTE porque los análisis de luz día sobre el puesto de trabajo en horas de la mañana, resultó deficiente y la ventilación se podía sacar por el ESTE. Véase la Ilustración 61

De esta manera se logra mejorar la ventilación natural, aunque se estima que la OFICINA trabajará la mayor parte del tiempo con el aire acondicionado basado en agua fría.

Análisis del TALLER. Aunque este espacio permanecerá la mayor parte del tiempo con aire acondicionado (por radiación nocturna) y sus ventanas permanecerán cerradas, se han

dejado las ventanas convenientemente ajustadas en dirección ESTE OESTE, que no es la dirección predominante del viento, porque en la dirección NORTE-SUR, no hay como instalar ventanas, debido a la necesidad de la bodega de permanecer cerrada y el norte da a la oficina. Así que en algunos días frescos se podrá prescindir del aire acondicionado y es podrán abrir las ventanas tanto del TALLER como de la OFICINA. Eso sí, siempre que el laboratorio no necesite condiciones controladas de temperatura y HR para su funcionamiento.

El área del laboratorio está aislada espacialmente para poder climatizarlo, pero la bodega y el taller tienen ventanas independientes que permiten trabajar con ventilación natural.

ANÁLISIS DE LA VIVIENDA. La ventilación de la vivienda es mas compleja: las paredes del OESTE, en la zona de la sala TV y el corredor al estadero es una combinación de vidrios y

Superficie ventanas				6,10	VIVIENDA m2	5,96	TALLER+ OF
Hora INI	Hora FIN	VEL (m/s)	Vol (m ³ /s)	Cambios /h	Vol (m ³ /s)	Cambios /h	
9,00	10,00	0,2	1,2	8,2	1,2	7,0	
10,00	11,00	0,5	3,0	20,5	3,0	17,4	
11,00	12,00	0,7	4,3	28,7	4,2	24,4	
12,00	13,00	1,0	6,1	41,0	6,0	34,8	
13,00	14,00	1,5	9,1	61,5	8,9	52,2	
14,00	15,00	2,5	15,2	66,6	14,9	60,1	
15,00	16,00	3,0	18,3	79,9	17,9	72,1	
16,00	17,00	3,0	18,3	79,9	17,9	72,1	
17,00	18,00	3,0	18,3	79,9	17,9	72,1	
18,00	19,00	3,0	18,3	79,9	17,9	72,1	
19,00	20,00	1,5	9,1	61,5	8,9	52,2	
20,00	21,00	1,0	6,1	41,0	6,0	34,8	
21,00	22,00	0,5	3,0	20,5	3,0	17,4	
22,00	23,00	0,1	0,6	4,1	0,6	3,5	

mallas mosquiteras, cuyo propósito es reducir la temperatura del corredor y así, generar una zona de confort mas amplia para la sala, la cocina y las habitaciones.

Por ello, las habitaciones tienen ventanas que en la parte superior cuentan con una celosía y mosquitero de 0,47 m de

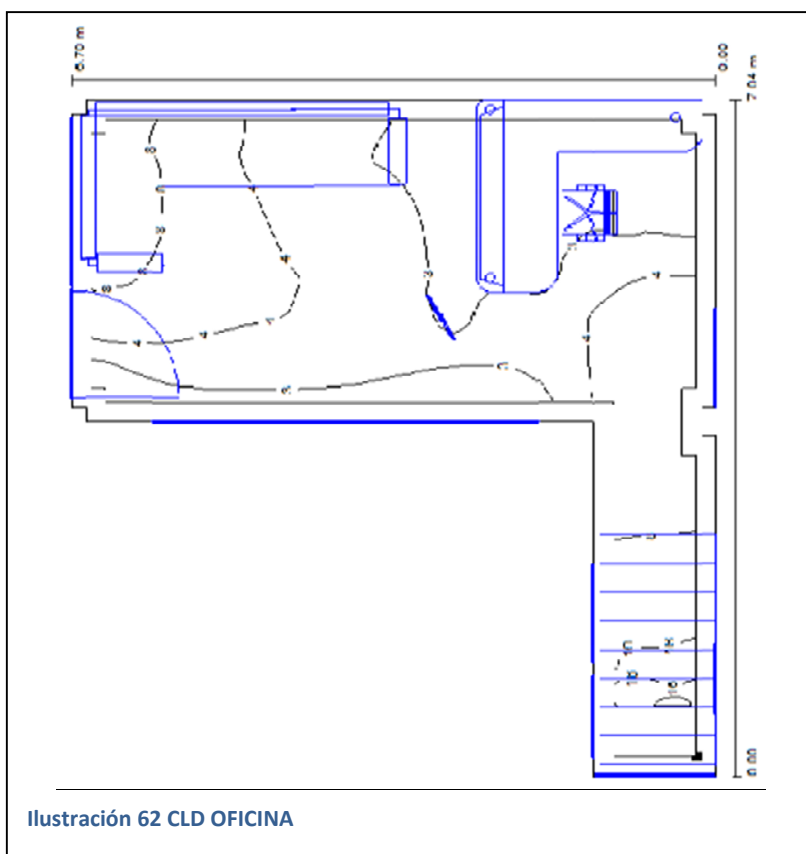
alto y 1.70 m de ancho, las puertas tienen la superficie suficiente para permitir pasar el aire y la sala cuenta con una división móvil, con fuerte infiltración, para controlar el paso de la ventilación.

El espacio del comedor cuenta con ventanas y un alero de 1.5 m de avance al OESTE, que permite controlar la apertura de las ventanas sin comprometer la iluminación natural del espacio. La cocina y el cuarto de ropas tienen sus propias ventanas y están elevadas (inician en 2.40 m desde el piso y van hasta el techo, a 3.0 m), por lo que la ventilación podrá trabajar ampliamente ayudada por la altura interna de la edificación.

Un resumen del cálculo del volumen de aire que entra a la edificación y el número de veces que cambia el aire en unidades de volumen del edificio por hora y según las horas del día, se presenta en la Tabla 11

4.6 ILUMINACIÓN NATURAL

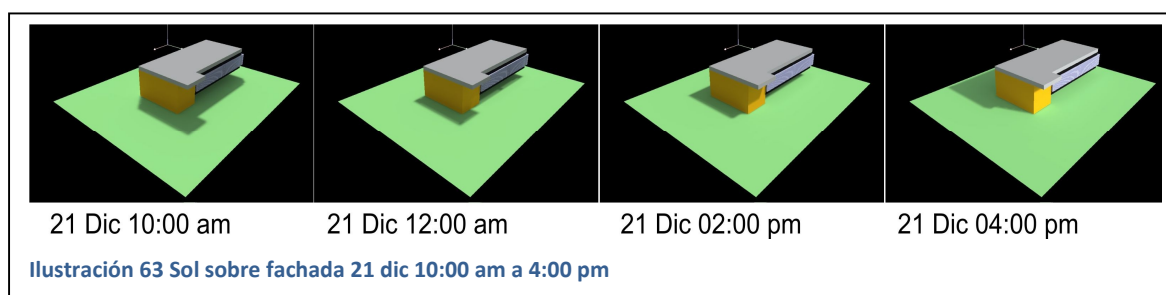
EL modelo del presente proyecto se analizó con el software alemán DIALUX®, que tiene buena acogida en el sector de la arquitectura y se trabaja de una manera sencilla pero técnica⁵⁰. Por otra parte, es un software que ha sido validado ampliamente tanto en el cálculo de la iluminación natural, como de la iluminación artificial.



ANÁLISIS OFICINA: La oficina cuenta con una ventana grande al OESTE, y la puerta, que es su entrada principal. Ya se expresó la necesidad de, contar con persianas externas plásticas de baja emitancia para controlar la luz del sol, particularmente entre las 3:00 pm y las 6:00 pm, con preferencia en los meses de junio y julio que tienen la máxima insolación sobre la fachada OESTE.

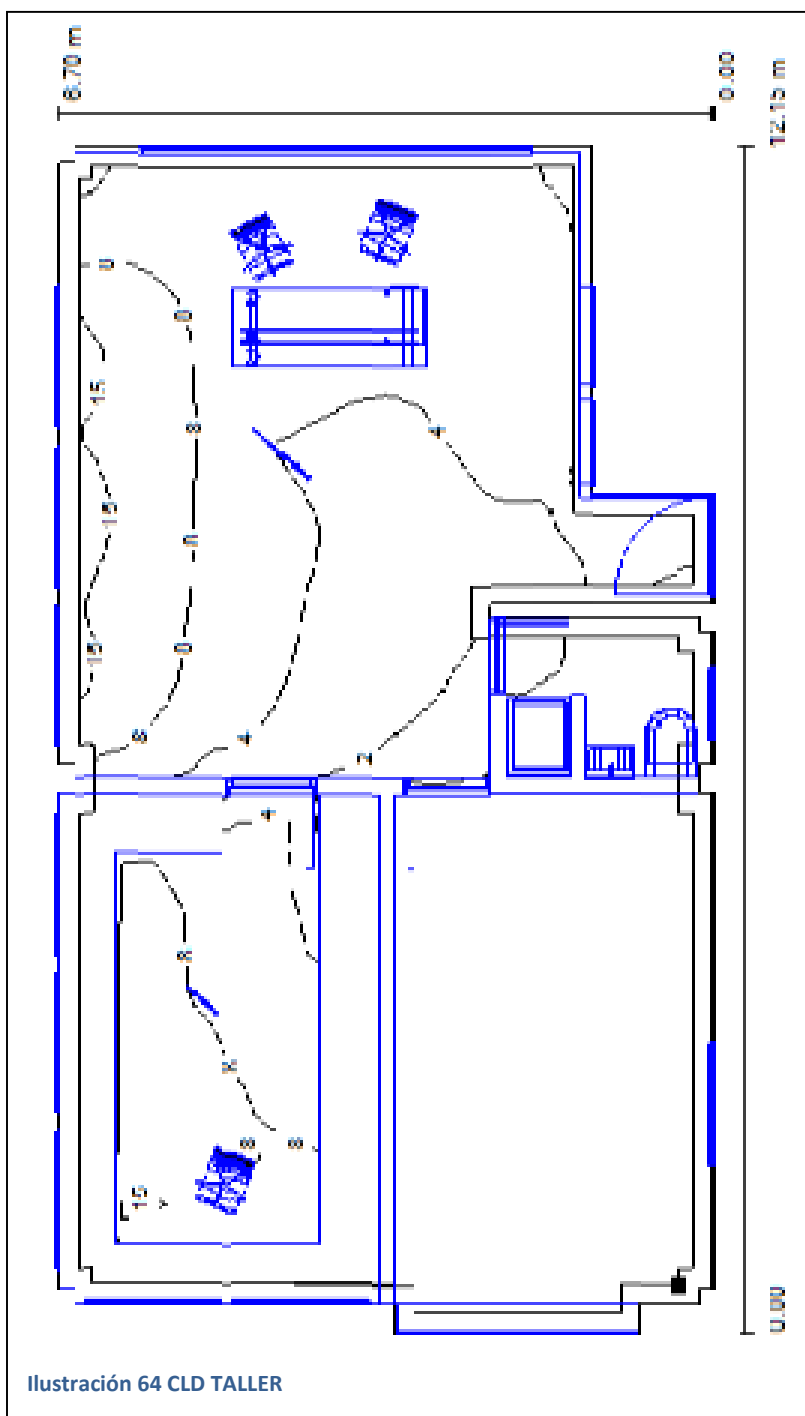
La parte funcional de la oficina, se encuentra hacia el ESTE en donde se

colocaron dos ventanas elevadas: en la grada y detrás del puesto de trabajo. Un desnivel de 1.12 m entre la OFICINA y El TALLER favorecen la colocación de cuatro ventanas internas entre estos dos espacios, que ayudan a iluminar las gradas durante todo el día. Véase la Ilustración 62).



⁵⁰ Fuente: www.dial.de

El análisis realizado arroja que el CLD promedio es de 5.13% subiendo los valores puntuales hasta el 18%, precisamente en las gradas.



Puede observarse que en el puesto de trabajo se cuenta con un 3% de luz natural, equivalente a 206 luxes, en tanto que en la sala de espera se llega a 550 luxes y el la grada se llega a 1238 luxes, toda vez que, de acuerdo con el modelo referenciado, la iluminación natural normalizada en el sector es de 6883 luxes, que equivale a un cielo nublado.

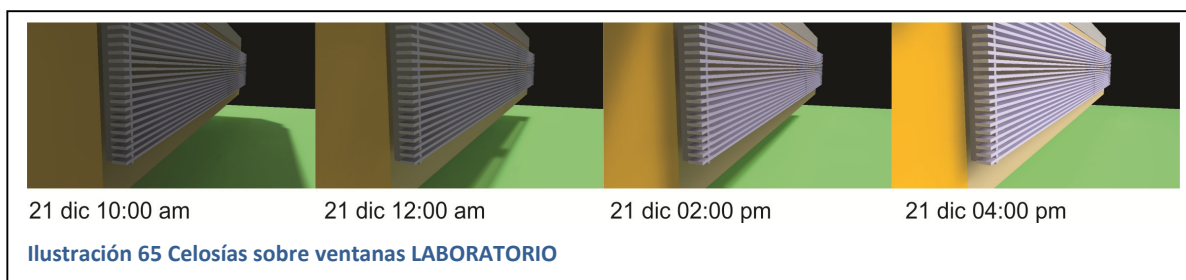
La Ilustración 63 muestra las sombras del techo en la fachada OESTE de la OFICINA y el TALLER y del cual se puede inferir que la solera propuesta de 1.5 m de extensión solo sirve de 2:00 pm a 4:00 pm en diciembre, así que si no se necesita mas techo para instalar módulos, no vale la pena efectuar ese gasto en losa de concreto y refuerzos de acero.

En el párrafo siguiente se revisará el tema de las lamas sobre la fachada

del TALLER, que tienen una incidencia muy elevada sobre la temperatura del LABORATORIO y la estética de la fachada principal, pero que se puede observar como funcionan a todas las horas del día, todo en año.

ANALISIS TALLER: Las ventanas cumplen con un mínimo de 10% del área de paredes, pero se debe garantizar el CLD del 3% sugerido en las buenas prácticas arquitectónicas.

La primera parte del modelo, el TALLER, (Véase la Ilustración 64) se diseñó teniendo en cuenta las ventanas y su ubicación con respecto al sol. El lado ESTE de la construcción se encuentra hacia la montaña, enterrado hasta la mitad de su altura, por lo que la ventana del baño, la grada y la bodega, son elevadas. Se observa que las ventanas al norte entregan poca iluminación porque no dan hacia el exterior, sino hacia la OFICINA, de modo que la luz natural que llega es indirecta.



Se observa, además, que las lamas de las ventanas al OESTE están funcionando al dejar pasar un 15% de luz solar y ubicando el nivel lumínico en el día en 1772 luxes y en las mesas de trabajo se encuentra en más del 4%, equivalente al menos a 472 luxes.

Así que, en promedio, el TALLER cuenta con un 4.64% de luz diurna. Ahora, por la ubicación del TALLER, la iluminación exterior tiene un valor de 11814 luxes, tomando el firmamento estándar, que es con luz difusa y cielo cubierto. Realizando un segundo análisis sobre la incidencia de la luz día en las lamas protectoras ubicadas en las ventanas al OESTE, en el laboratorio, se obtuvo la secuencia de La Ilustración 65, que resume el comportamiento de esta protección ante el sol de diciembre.

La BODEGA, parte del TALLER, entre tanto, no tiene una mayor incidencia de iluminación natural, pero es que el proyecto así lo requiere. Por seguridad, esta habitación cuenta con una mínima ventana hacia el ESTE, que es la montaña, y la puerta. Así que la incidencia de luz diurna en la BODEGA, tan solo llega al 0.18% que equivale a 21 luxes. Esto permite entrar de día y poder caminar viendo los obstáculos con poca precisión. Si no va a buscar elementos especiales, se puede caminar con este nivel de iluminación.

El BAÑO, entre tanto, quedó con un aporte del 4% de luz día equivalente a 472 luxes, por lo que no se necesitará encender la luz al hacer uso de él durante el día.

El ACCESO desde la OFICINA igualmente quedó con una buena iluminación diurna, al contar con un nivel lumínico de 500 luxes, aún con la puerta de acceso a la VIVIENDA cerrada.

La Luminancia en el exterior de la oficina alcanza los 10500 cd/m², natural en latitudes tropicales.

ANÁLISIS VIVIENDA: La tercera edificación es la VIVIENDA (Véase la Ilustración 68) la cual tiene amplias ventanas hacia el NORTE, el OESTE y dos pequeñas tanto al ESTE como al SUR. Las ventanas al NORTE y al OESTE tienen una barrera interna conformada por otra línea de ventanas transparentes y paralelas ubicadas después del CORREDOR de 1.5 m, con vista a las áreas sociales como la sala, el comedor y el estar. Las habitaciones, por estar hacia la montaña, tienen ventanas pequeñas al SUR. De esta manera se logra un CLD de 11% promedio, que es muy bueno.

Para la situación definida en el cálculo, la iluminación natural solar en el exterior es de 21216 luxes. El ESTAR logra un CLD de 25% que equivale a un nivel lumínico de 5300 luxes. Igual nivel se obtiene en el CORREDOR de acceso.

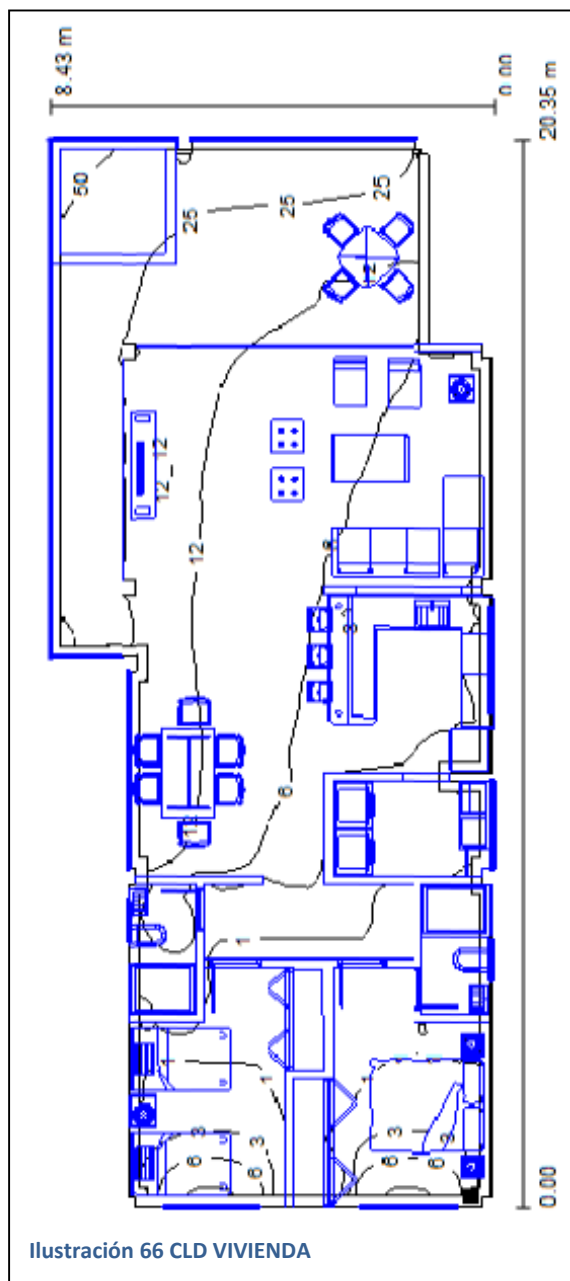
La sala, en tanto, tiene una zona de CLD=12% (2500 luxes) mientras que los televidentes estarán en una zona de CLD= 6% (1200 luxes) y dan contra una pared cuyo CLD es inferior al 3% (600 luxes). Esto supone que los televidentes no tendrán reflejos molestos sobre la pantalla de la TV.

El COMEDOR conserva un CLD=12%, que lo hace apto para trabajar de día, como mesa auxiliar o de reuniones. Estos valores son máximos y siempre se pueden controlar con persianas o cortinas, tal y como se ha expresado en otra ocasiones.

La COCINA está en una zona de CLD= 3% lo que permitirá utilizarla sin necesidad de utilizar la iluminación artificial.

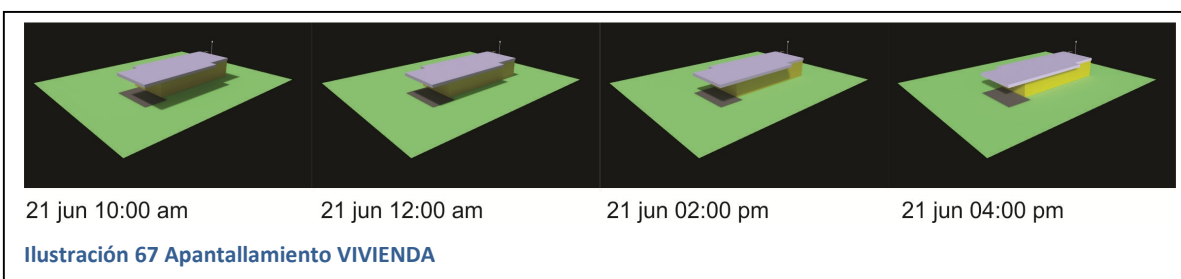
El BAÑO al ESTE, el de la ALCOBA PRINCIPAL tendrá muy poca iluminación natural (CLD=0.3%, como 60 luxes) debido a la posición de la montaña. Entre tanto, el BAÑO SOCIAL al OESTE, tendrá un CLD=6%, unos 1200 luxes) y podrá usarse sin luz artificial de día. El Hall de las ALCOBAS quedará con un CLD=

1%, unos 212 luxes, que permitirá transitar sin la ayuda de iluminación artificial.



Las ALCOBAS, tanto la PRINCIPAL como la ALCOBA 1 quedarán con un CLD de 6% (1200 luxes) ceca de las ventanas y se rebajará hasta el 1% (212 luxes) en las puertas de acceso. Esto se logró controlando la profundidad y altura de las habitaciones, así como el tamaño de sus ventanas.

La forma de funcionamiento de la barrera OESTE en el CORREDOR, se explica en la Ilustración 67 en donde se observa el recorrido de la sombra del techo en el ESTAR y de cómo el sol toca la pared OESTE al interior de la VIVIENDA después de las 4:00 pm, un 21 de junio.



Finalmente en la Ilustración 68 se presenta una imagen general de la VIVIENDA, con las texturas y modelo 3D utilizado, así como las paredes internas y los muebles, en la cual se representan las curvas Isolux más importantes del cálculo: en rojo= 7000 luxes; en azul= 2500 luxes; en verde= 1000 luxes. Corresponde a la imagen de la iluminación natural el día el 21 de marzo, 11:55 am con el cielo cubierto.

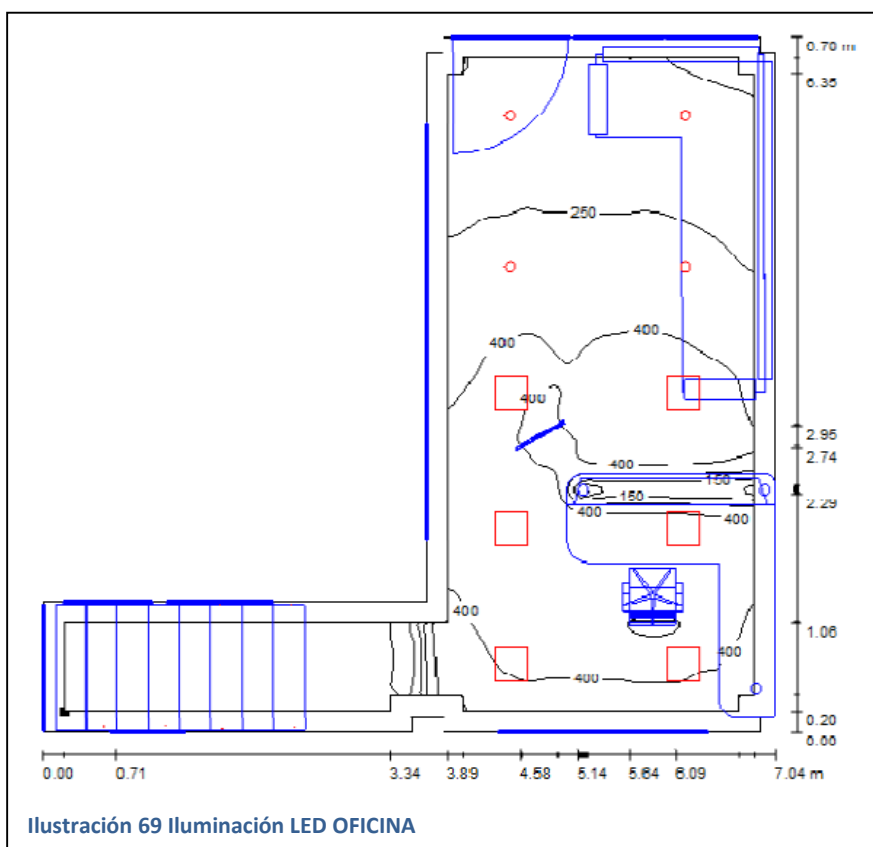


El modelo así revisado, presenta un comportamiento muy bueno ante la iluminación natural, tomando ventaja de la ubicación geográfica del emplazamiento y sorteando los obstáculos o restricciones impuestas principalmente por la topografía.

4.7 ILUMINACION ARTIFICIAL

El modelo requiere de iluminación artificial, toda vez que las jornadas se pueden prolongar más allá de la hora en la cual la luz del sol no está disponible. Para tales efectos, se han seleccionado fuentes lumínicas de gran eficiencia, como son los LEDs y las bombillas FLUORESCENTES COMPACTAS o CFL.

Además, la iluminación es un elemento importante dentro de la estrategia de USO RACIONAL DE ENERGÍA, presente en todo proyecto bioclimático y que involucre energía solar, y es con seguridad, un poco más que colocar unas bombillas, como se escuchó de alguien en la UNIA. Se tomará como referente la normativa europea de niveles lumínicos, se analizará el UGR o deslumbramiento y se tomarán los valores de VEEI.



Los cálculos se realizaron en el software DIALUX EVO 1.0 y fueron confirmados en DIALUX 4.10.

LA OFICINA: Se ha realizado la iluminación con paneles LED de 25 W que ofrecen un flujo luminoso de 1680 lúmenes, para el puesto de trabajo, el cual necesita 450 luxes en el escritorio. El acceso se ha iluminado con 4 BALAS CFL de 13W, pues se requieren unos 200

luxes, por ser una zona de circulación y espera. La Ilustración 69 presenta un resumen de la iluminación. En cuanto al UGR calculado para el puesto de trabajo y en dirección a la entrada, se tiene un valor de 19, que sugiere una iluminación confortable para trabajo continuo.

La grada se ha iluminado con LEDs de 0,9 W colocados frente a las huellas y a cada lado de la escalera. Así, con solo 8 LEDs de 1W se logran 140 luxes en promedio sobre cada escalón. Véase la Ilustración 70.

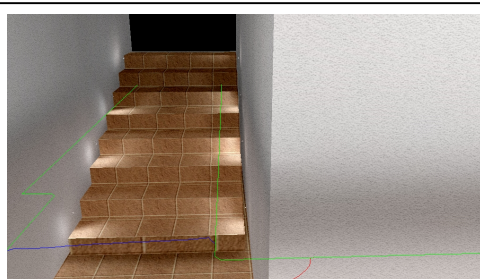
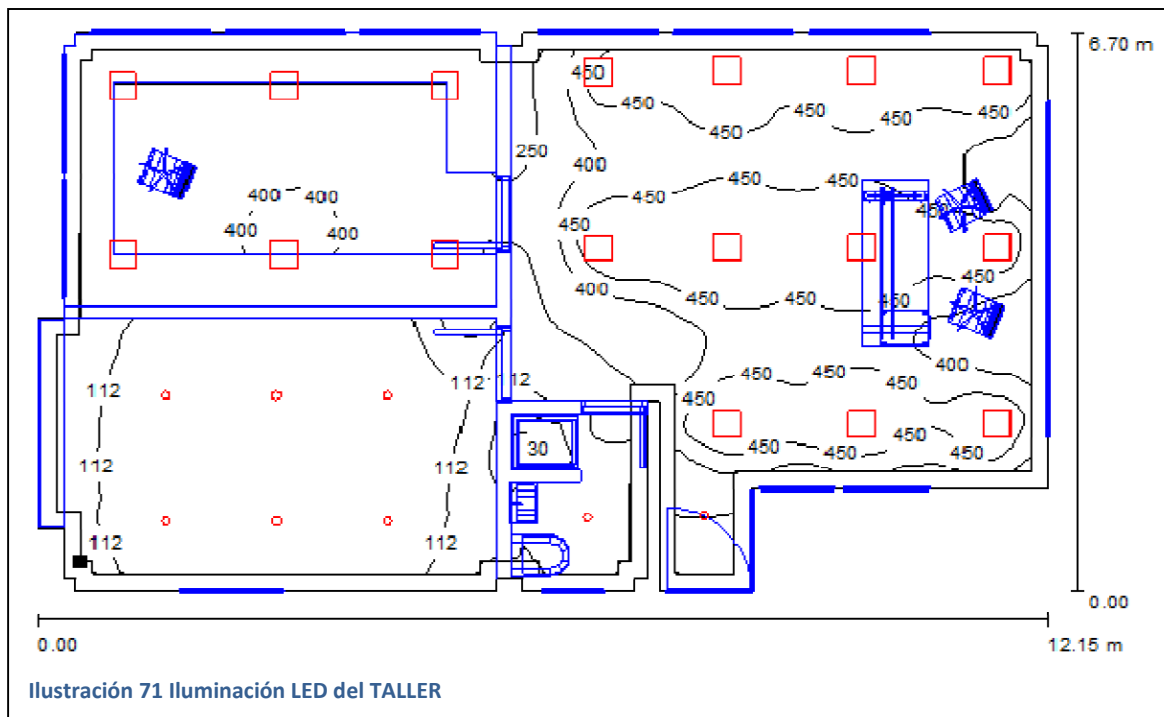


Ilustración 70 Detalle LEDS en la grada

El tiempo de uso de esta iluminación es muy bajo y se ha estimado en 3 horas por día para los paneles y 2 para el resto de la iluminación, principalmente en las horas de la tarde y en caso de días muy nublados. Pues ya se revisó el tema anteriormente y se determinó cómo la luz natural es suficiente para trabajar. La normativa (y la modernidad) obligan a colocar la luz artificial. En

el local de la OFICINA se calculó un VEEI de $2,58 \text{ W/m}^2/100 \text{ Lx}$ en una base de 26.99 m^2 que es muy bueno en cuanto eficiencia energética.

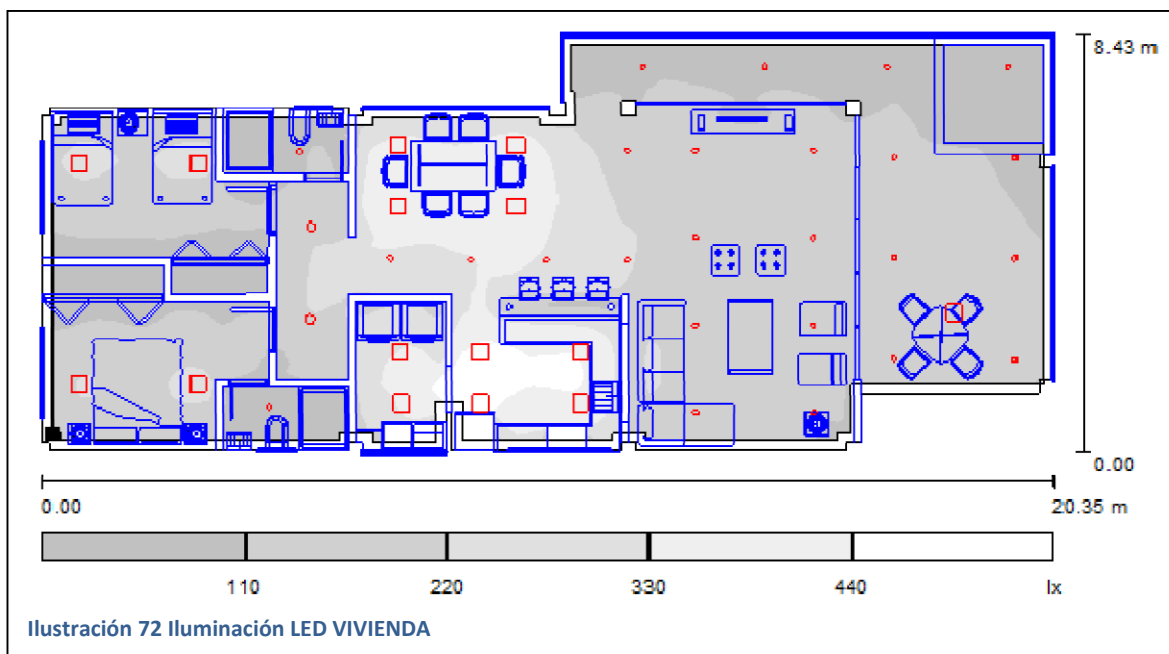
EL TALLER: Por se un área de mayor exigencia visual, las áreas de trabajo se han diseñado con 450 luxes, el laboratorio con 400 luxes, la bodega con 100 luxes, baños con 100 luxes.



Así, el TALLER lleva 11 paneles LED de 25 W y una bala CFL de 13 W a la entrada, para alcanzar un nivel de 150 luxes en la entrada al taller desde la oficina. El UGR llega a 20. En el LABORATORIO se cuenta con 6 paneles LED de 25 W con los cuales se logra un nivel de 400 luxes y un UGR de 20. Cada panel se enciende de manera independiente.

Las áreas de menor exigencia lumínica son la BODEGA, que tiene 6 balas CFL de 13 W para un nivel de 100 luxes y el BAÑO, que tiene una bala CFL de 13 W y 100 luxes de iluminación promedio. El valor calculado del VEEI llega a $2,21 \text{ W/m}^2/100 \text{ Lx}$ en una base de 75.23 m^2 que es muy buena en relación a la eficiencia energética. Véase la Ilustración 71.

LA VIVIENDA: La iluminación residencial se distingue mas por su calidad, sencillez y discreción que por sus elevadas prestaciones.



Por ello, en el modelo de la VIVIENDA abundan las balas CFL de 13W y 26W, dejando los paneles de 25W para las áreas que tienen algún trabajo visual mayor, como la COCINA (nivel de 350 lx con 4 paneles de 25W), el cuarto de ROPAS (nivel de 300 lx con 2 paneles de 25W), el COMEDOR, (nivel de 390 lx con 4 paneles de 25W y 3 balas CFL de 13W) cuando se utiliza como mesa de reuniones.



Otras áreas con menos exigencia visual se han diseñado con valores lumínico menores como: ESTADERO (200 lx con 6 balas CFL de 13W y un panel de 25W con encendidos independientes), CORREDOR DE ACCESO (80 lx con 4 balas CFL de 13W), SALA TV (150 lx con 6 balas CFL de 13W), SALA (140 lx con 4 balas CFL de 13W),

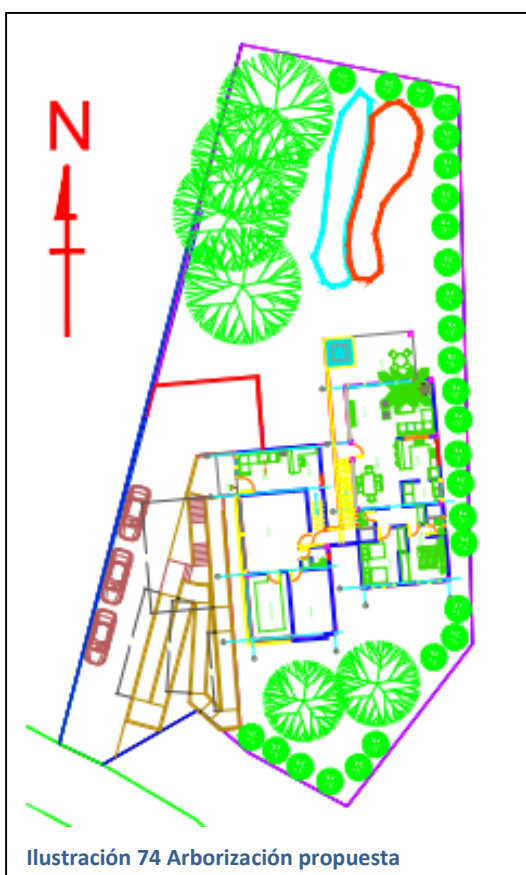
HALL DE ALCOBAS (180 lx con 2 balas CFL de 26W), BAÑOS (100 lx con 1 bala CFL de 13W cada uno), HABITACIONES (150 lx con 2 paneles de 25W cada una con encendidos independientes). Véase la Ilustración 72.

Con esta distribución se consiguen valores de eficiencia energética tan bajos como 5.17 W/m²; VEEI = 2.71 W/m²/100 lx sobre una base: 150.43 m² y una potencia total de iluminación instalada de 777 W para la vivienda. Véase un detalle en la Ilustración 73

ILUMINACION EXTERIOR ALUMBRADO PÚBLICO: Se ha propuesto dejar 16 luminarias de baja altura, de 7W LEDS para la iluminación del acceso peatonal y el parqueadero, con lo cual se consigue una iluminación de seguridad y guía visual de 9 luxes sobre los andenes.

4.8 VISTA Y PAISAJE

El aspecto más relevante en cuanto al tema paisajístico es la arborización, toda vez que es poco lo que se puede hacer por el resto de elementos que componen el paisaje. El estar cerca de una reserva natural ecológica hace de cualquier emplazamiento un sitio interesante desde el punto de vista del paisaje.



Aunque hubiese sido bueno contar con agua, como un arroyo cercano hubiera sido el mejor de los elementos, se decidió colocar el reservorio de agua lluvia siguiendo las curvas de nivel, a manera de lago. Esto mejora la vista hacia las montañas y la ciudad, la vegetación y el resto de viviendas alrededor del emplazamiento. Así que se propone mejorar la arborización, como elemento del paisaje.

ANÁLISIS DE LA ARBORIZACIÓN. De acuerdo con el marco teórico, los árboles grandes a plantar estarán al SUR. El reservorio necesita unos árboles para reducir la evaporación y una gran cantidad de árboles pequeños en el resto del emplazamiento servirán para darle un toque campestre y natural a la oficina, además de contribuir a la frescura de sus zonas externas. A partir de la información del MARCO TEÓRICO sobre paisaje y vegetación, se han seleccionado las siguientes plantas: Un árbol irregular ya

plantado, que se conservara en la fachada SUR. Un árbol horizontal ya plantado, que se conservará en la fachada NORTE; un grupo de arbustos pendulares o esféricos sobre el lindero ESTE, que colinda con un camino peatonal dentro de la parcelación, el cual encañona los vientos y aísla de eventuales ruidos provenientes de la urbanización vecina. Unos árboles de sombra horizontales cerca del reservorio de agua. Se sugiere no sembrar los árboles muy cerca del paramento de construcción de los edificios, para evitar interferir su follaje y permitir que la fauna los use de manera natural. Una distribución de los árboles propuestos se encuentra en la Ilustración 74.

5 RECURSOS AMBIENTALES REQUERIDOS EN EL EDIFICIO

5.1 REQUERIMIENTOS DE AGUA

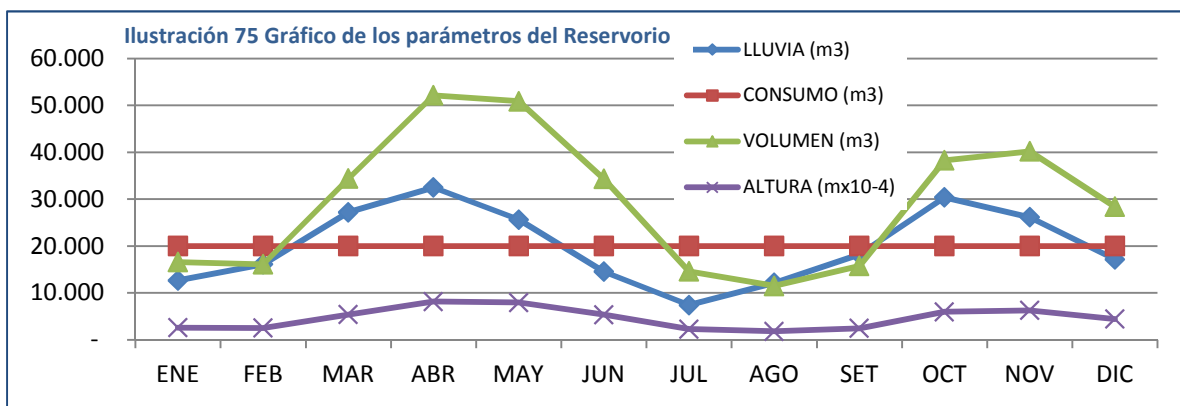
5.1.1 OBTENCIÓN

Una estrategia ambiental paralela al uso racional de la energía y la incorporación de energías renovables producidas en la misma edificación y de igual importancia es el tema del agua potable. Por ello, se ha incorporado el presente aparte, para ilustrar la posibilidad real de incorporar **el uso de las aguas lluvias** para la edificación, toda vez que el potencial de lluvias en un clima de sabana tropical así lo permite.

Tabla 12 Reservoirio de agua lluvia

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
LLUVIA (m ³)	12.673	16.106	27.195	32.475	25.611	14.521	7.393	12.145	18.218	30.363	26.139	17.162
CONSUMO (m ³)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
VOLUMEN (m ³)	16.568	16.106	34.389	52.145	50.891	34.323	14.587	11.485	15.776	38.284	40.198	28.383
ALTURA (mx10 ⁻⁴)	2.589	2.517	5.373	8.148	7.952	5.363	2.279	1.795	2.465	5.982	6.281	4.435

La Tabla 7 contiene datos climáticos, como el de precipitación mensual en mm de agua, con los cuales se puede calcular la cantidad de agua de precipitada en la lluvia, el consumo, el volumen almacenado, así como la profundidad que tendrá el reservorio en cada mes. De esta forma, se puede diseñar un tanque de 8 m X 8 m X 0.9 m y volumen de almacenamiento de 57.6 m³. Los datos mensuales se registran en la Tabla 12 anexa:



La Ilustración 75 muestra el comportamiento anual de los parámetros del reservorio, como volumen de lluvia que ha caído en los 264 m² que se han calculado como área de recolección. En general, la gráfica muestra los valores de la Tabla 12. Se nota que el reservorio varía su profundidad entre 22,7 cm en julio, hasta 81,48 cm en abril. Aunque no se ha calculado el volumen perdido por evaporación, se requiere que el reservorio esté cubierto al menos de día y que tenga algún sistema de aireación para evitar el uso de floculantes.

5.1.2 TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN

El agua⁵¹ que se suministra por la red de acueductos es agua potable, es decir, está libre de sustancias y microorganismos que puedan afectar la salud. Sin embargo, una gran parte de esa agua se contamina en el trayecto o en el interior de los domicilios: muchas cisternas tienen filtraciones, grietas y agujeros que permiten la entrada de insectos y animales portadores de bacterias. A su vez, muchos reservorios están mal tapados y permanecen expuestos a la intemperie.

Aunque las cisternas y los tinacos deben lavarse regularmente (se recomienda lavarlos con agua y jabón cada seis meses y desinfectarlos con tres tapitas de cloro en una cubeta de agua de 20 litros), en muy pocas casas se hace. Así, aunque el agua que llega a la toma de las casas sea potable, cuando sale de la llave no siempre es apta para beber.

Debido a esto, en muchos casos una parte importante del gasto familiar se destina a la compra de agua purificada embotellada, porque es segura para beber y tiene un mejor sabor. Desafortunadamente, existen empresas comercializadoras de agua clandestinas que no cumplen con los requisitos mínimos para purificarla o, incluso, simplemente llenan los garrafones con agua de la llave y les ponen “etiquetas” y “sellos de garantía”.

Ante este panorama (el agua embotellada de dudosa calidad), lo más viable es purificarla en casa. Así, se asegura de que el agua que toma no representa ningún riesgo para la salud. Los métodos más comunes son:

DESINFECCIÓN POR EBULLICIÓN. Para eliminar las bacterias es necesario que el agua hierva de 15 a 30 minutos. Es una forma sencilla y económica de desinfección al alcance de la mayoría de los hogares. Entre las desventajas de este método destaca la concentración del contenido de minerales disueltos, debido a la vaporización del agua.

DESINFECCIÓN CON CLORO. La cloración es uno de los métodos más rápidos, económicos y eficaces para eliminar las bacterias contenidas en el agua. La cantidad de esta sustancia que debe agregarse al agua depende de la concentración que tenga el compuesto de cloro que venden en la región, pero tres gotas por litro suelen ser suficientes.

Es importante que, después de agregar el cloro, espere media hora antes de tomar el agua. El agua ya viene clorada de la red, por lo que puede suceder que al agregarle más cloro hubiera un exceso que se manifieste en el sabor (muy desagradable); pero no representa riesgos para su salud.

DESINFECCIÓN CON PLATA IÓNICA. En el mercado existen algunos productos para desinfectar agua y verduras que utilizan compuestos de plata iónica o coloidal. Aunque los

⁵¹ Fuente: Contaminación del agua y efectos en la salud, SSA, México, 2007

fabricantes recomiendan esperar unos diez minutos después de añadirlos al agua, es preferible esperar el doble del tiempo sugerido.

FILTROS DE CERÁMICA. Estos filtros separan materia sólida del líquido gracias a que tienen un poro muy fino (es decir, retienen partículas muy pequeñas). Un inconveniente de estos filtros es que sobre ellos se pueden desarrollar colonias de micro organismos. Por lo tanto, es importante que al usar un filtro de este tipo se verifique que libere o esté impregnado con plata iónica, pues esta sustancia tiene un efecto germicida.

El filtro más sencillo está formado por una barra de cerámica cubierta por un cilindro metálico que se adapta a la llave del agua. El precio aproximado de un filtro de cerámica con plata iónica es de alrededor de USD \$180, y proporciona unos 60 litros diarios (el flujo de agua es muy bajo). Si se le da un mantenimiento adecuado, puede tener una duración de por lo menos 5 años.

FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO. En este sistema el agua pasa por un filtro de carbón activado, el cual contiene millones de agujeros microscópicos que capturan y rompen las moléculas de los contaminantes. Este método es muy eficiente para eliminar el cloro, el mal olor, los sabores desagradables y los sólidos pesados en el agua. También retiene algunos contaminantes orgánicos, como insecticidas, pesticidas y herbicidas. El riesgo que tienen los filtros de carbón activado es que pueden saturarse y contaminarse con micro-organismos (deben cambiarse cada cinco meses), y si no se cuenta con un sistema de desinfección colocado después del filtro (como luz UV, plata iónica, etcétera) el agua ya no es segura para beber. El equipo de filtración por carbón activado tiene un costo aproximado de USD \$150 (incluye un tanque de fibra de vidrio, una válvula de control y el filtro), y puede durar hasta 6 años.

PURIFICACIÓN POR OZONO. Como purificador de agua, el ozono es un gas muy efectivo porque descompone los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan dañar la salud o alterar el sabor del agua. En general, se considera que sus ventajas son las siguientes: reduce de manera importante el aspecto turbio, el mal olor y sabor del agua, así como la cantidad de sólidos en suspensión. No sólo elimina las bacterias causantes de enfermedades, sino que también inactiva virus y otros micro-organismos que el cloro no puede destruir.

El equipo consta de un generador de ozono, dos válvulas y un secador de aire, y tiene la capacidad para purificar aproximadamente 300 litros de agua diarios por alrededor de 6 años. Su principal desventaja es su elevado costo (de USD \$500 a USD \$1000), además, requiere mantenimiento constante, instalación especial y utiliza energía eléctrica.

DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETA (UV). En una primera etapa, el agua pasa por un filtro que retiene las partículas en suspensión. Después pasa por un filtro de carbón

activado, el cual elimina el mal olor, sabor y color en el agua, así como el cloro. Por último, el agua es purificada por medio de luz ultravioleta, que se encarga de destruir las bacterias. Este método es automático, efectivo, no daña al medio ambiente y es fácil de instalar; además, puede purificar hasta 200 litros de agua al día.

El precio de un equipo purificador de rayos UV va de USD \$350, y puede durar hasta 10 años. Sin embargo, los filtros se deben reemplazar cada seis meses y el bulbo de la lámpara de rayos UV debe cambiarse cada año.

PURIFICACIÓN POR ÓSMOSIS INVERSA. El proceso de ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable que separa y elimina del agua sólidos, sustancias orgánicas, virus y bacterias disueltas en el agua. Puede eliminar alrededor de 95% de los sólidos disueltos totales (SDT) y 99% de todas las bacterias. Las membranas sólo dejan pasar las moléculas de agua, atrapando incluso las sales disueltas. Por cada litro que entra a un sistema de ósmosis inversa se obtienen 500 ml de agua de la más alta calidad, sin embargo, deben desecharse los otros 500 ml que contienen los SDT. Durante la operación, la misma agua limpia la membrana, lo que disminuye los gastos.

Un equipo de filtración por ósmosis inversa para uso residencial tiene un precio aproximado de USD \$250 a USD \$350, e incluye un filtro de sedimentación, uno de carbón activado, una membrana, una lámpara de rayos UV y dos post-filtros. Su rendimiento diario es de 200 litros de agua. Con un mantenimiento adecuado puede utilizarse hasta 10 años.

Ahora bien, si el agua es caracterizada como “dura” (el jabón no hace espuma), es decir, que contiene un alto porcentaje de sales de calcio y magnesio, este método no es muy recomendable.

<p>LÁMPARA INDUSTRIAL DE OZONO producción de 90-120 mg/hora <small>[C-6886N]</small></p> <p>LÁMPARA INDUSTRIAL DE OZONO producción de 90-120 mg/hora</p> <p>Características técnicas</p> <p>Dimensiones: ø 30 x 500 mm. Alimentación: 3-4 KV. Consumo aprox. 8 mA</p> <p>Ilustración 76 Lámpara industrial de Ozono</p>	<p>+Informacion</p>
---	---------------------

En general, los equipos de filtración o purificación ofrecen buenos resultados siempre y cuando se sigan las recomendaciones de los fabricantes. Antes de adquirir uno es necesario verificar que satisfaga las necesidades y que se adapte al presupuesto que debe incluir los costos de adquisición, reposición, operación y mantenimiento anual.

De todos los métodos analizados y considerando la procedencia del agua (agua lluvia) se ha optado por desarrollar el método de purificación por ozono.

PURIFICADOR DE OZONO: El volumen de agua a ozonizar es igual al volumen de agua almacenada en el reservorio, el cual varía de 52145 litros en abril a 11485 litros en agosto. Si el nivel de ozono a mantener es de 0.5 mg/l y éste dura unas 12 horas disuelto en el

agua con concentraciones suficientes para mantener su poder bacteriológico, se necesita una producción de 2607 mg/hora de ozono.

Ahora se cuenta con lámparas industriales de producción de ozono⁵² (Véase la Ilustración 76, que tienen un poder de generación de 90 a 120 mg/hora. Para el mayor volumen de agua almacenado, se requieren 24 unidades y para el mínimo volumen de agua, en agosto, basta con 5 unidades. Además, requieren de un compresor de baja potencia para inyectar el aire con ozono al agua en forma de burbujas.

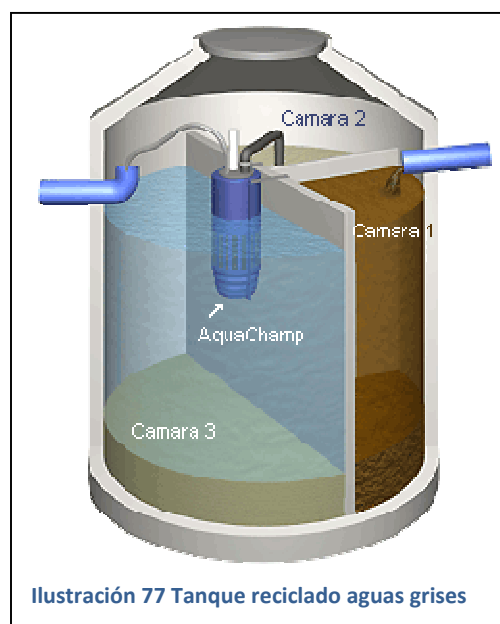
El consumo de energía de estas lámparas es de 3,5 KV y 8 mA lo que da 28W por lámpara. Con una eficiencia de 85% en el equipo electrónico asociado, se necesitan un máximo de 790 W para su funcionamiento en abril y 165W en agosto. El compresor de baja potencia consumirá 350 W adicionales, para poder inyectar el ozono con aire al reservorio.

5.2 AGUAS SERVIDAS

5.2.1 RECICLAJE

La FAO recomienda el uso de aguas grises recicladas para regar el jardín, dado que el tratamiento de las mismas las higieniza pero no elimina los fosfatos y nitratos, que son la base de los abonos.

Asegura que este tipo de riego tiene una potencialidad enorme, y asegura que, al contrario de lo que pueda parecer, el uso de este tipo de aguas no conlleva peligros de salud pública, siempre y cuando sean convenientemente tratadas, puesto que sólo se mantienen en el agua elementos minerales que son fertilizantes naturales, tales como nitrógeno, fósforo y potasio. Una ventaja adicional para el medio ambiente es que, al ser absorbidos por estas plantas, se evitarán los problemas que conllevan estas concentraciones de minerales cuando son vertidos indiscriminadamente en ríos y mares (proliferación de algas y desaparición de especies sensibles).



Existen dos opciones diferentes de reciclaje de agua en el hogar: Se pueden reciclar las aguas grises -provenientes de lavabos y duchas; y las aguas negras -provenientes de la cloaca y la cocina.

⁵² Fuente: <http://todoelectronica.com/>

La mejor forma de reciclaje es tomar las aguas grises y tratarlas para reusarla en las cloacas y en el riego del jardín. Luego, las aguas negras se someten a un tratamiento más profundo y se usan para regar una plantación de hierbas y el resto de las áreas verdes de la vivienda.

Muchos se interesan únicamente por un sólo tipo de reciclaje, puesto que el volumen de agua que generarían entre los dos superaría la demanda de agua en los usos que se le da a este recurso. El tratamiento de estas aguas no genera agua potable, cuya consecución sería más compleja; por eso se aprovecha mayormente para regar el jardín.

5.2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

AGUAS GRISES: La Ilustración 77 se refiere a un sistema compacto de tratamiento primario para aguas grises, **cuyo funcionamiento es así:**

Primera cámara: La primera función de esta cámara es la de depositar el agua evacuada de la vivienda, para iniciar un proceso de decantación mecánica, es decir, de separación por diferencia de densidades de dos sustancias, con lo cual se depositan en el fondo las materias más gruesas⁵³.

Segunda cámara: esta segunda cámara también asume las funciones de la primera. Además, recibe el fango remanente resultante del proceso de tratamiento que transcurre en la tercera cámara.

Tercera cámara: Aquí se produce el tratamiento biológico propiamente dicho, mediante la activación de fangos, que se produce en tres fases:

- a) **Inyección:** en la primera, durante seis horas un inyector de aire sumergido (con una potencia de 150W) activa el fango y éste circula, activando los microorganismos. Se recogen las partículas contaminantes en suspensión de las aguas residuales –fango remanente-, que retorna a la segunda cámara mediante bombeo.
- b) **Sedimentación:** en la segunda, se desconecta la inyección de aire durante dos horas y el fango que se encuentra en esta cámara se sedimenta en el fondo. Se trata de nuevo de un proceso de decantación, en la que el agua depurada forma una capa en la parte superior.
- c) **Bombeo:** en la tercera fase, se extrae esta capa de agua ya depurada mediante una bomba y se vuelve a comenzar un nuevo ciclo de ocho horas con sus correspondientes fases de inyección y sedimentación.

Elementos de la instalación: Los componentes que se requieren para el tratamiento biológico (inyector de aire 150W y bombas 250W) se han dispuesto dentro de una carcasa, de

⁵³ Fuente: <http://www.soliclima.com/tratamiento-aguas-residuales.html>

tal forma que la instalación se compone de una unidad compacta o tanque -un poco más grande que una mochila- que se coloca en la fosa séptica, la cual debe cumplir la norma DIN 4034.

AGUAS NEGRAS: El proceso usual de tratamiento de aguas residuales puede dividirse en tres etapas: tratamiento primario o físico, tratamiento secundario o biológico, y tratamiento terciario.

El tratamiento primario es un proceso mecánico que consiste en la remoción de sólidos insolubles como arena, y materiales como grasas y espuma. El primer paso es la sedimentación y filtración de sólidos a través de rejillas.

La sedimentación separa los sólidos de sedimentación de aquéllos que flotan. Durante esta decantación primaria existe la tendencia es que las partículas formen agregados, hecho que puede favorecerse con la adición de compuestos químicos flocculantes. El material que flota consiste en aceites, ceras, ácidos grasos y jabones insolubles que se conocen genéricamente como grasa.

Por su parte, el tratamiento secundario utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones controladas para evitar la presencia de contaminantes.

Los procesos de tratamiento biológico se pueden dividir según el estado en que se encuentren las bacterias responsables de la degradación. Si la biomasa bacteriana está sobre superficies inertes tales como roca, escoria, material cerámico o plástico, se habla de lecho fijo, o puede estar suspendida en el agua a tratar (biomasa suspendida). En cada una de estas situaciones, la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas (pueden adaptarse para crecer y metabolizar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno) o anaeróbicas.

El agua tratada puede servir para regadío si previamente se somete a algún método de desinfección (cloración, ozono, radiación ultravioleta), lo que corresponde al tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso potable, si se desea. Los objetivos del tratamiento avanzado son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, desinfectarla para sacar microorganismos patógenos, color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO⁵⁴: Los objetivos del tratamiento biológico son reducir el contenido de materia orgánica de las aguas, disminuir su contenido en nutrien-

⁵⁴ Fuente: Revista ECONOMICA, ABRIL DE 2007. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES, Wetland S.A. Chile.

tes, y eliminar los patógenos y parásitos. Estas metas se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas. Los siguientes son ejemplos de procesos aeróbicos:

- **Lodos activados:** el agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas desarrolladas con anterioridad. Esta mezcla, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la materia se mantenga en suspensión y en constante contacto con oxígeno al interior de piscinas de concreto armado. La materia orgánica degradada del agua servida flocula, por lo que luego se puede decantar. La biomasa sedimentada se devuelve parcialmente al tratamiento biológico para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo. Las ventajas principales de este proceso son la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas y el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas (alrededor de 6 horas), lo que permite tratar grandes volúmenes en espacios reducidos. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja, requiere de infraestructura costosa y la instalación de equipos electromecánicos de alto consumo energético. Por otra parte, produce un alto volumen de lodos que requieren un tratamiento posterior.
- **Lagunas aireadas:** son embalses de aguas servidas que ocupan una gran superficie de terreno. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias experimentan un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación en un periodo de 6 a 12 horas. La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos.
- **Biofiltro dinámico aeróbico:** es un filtro que contiene lombrices, a través del cual se hace pasar el agua a tratar (se explica en detalle más adelante).

Tratamiento anaeróbico:

- Consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Presenta ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otra parte, se produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos). Ejemplos de tratamientos anaeróbicos son los tanques sépticos y

los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento. En cuanto a sus desventajas se cuenta que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas.

Humedales artificiales:

- Este sistema consiste en la reproducción controlada de las condiciones existentes en los sistemas lagunares someros o de aguas estancadas, los cuales en la naturaleza efectúan la purificación del agua. Esta purificación involucra una mezcla de procesos

Parámetro	Eficiencia
DBO ₅	95%
Sólidos totales	95%
Sólidos suspendidos volátiles	93%
Nitrógeno total	60 a 70%
Fosfato Total	60 a 70%
Aceites y Grasas	80%
Coliformes fecales	99%

bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas hidrófilas, las que liberan oxígeno y consumen los elementos aportados por el metabolismo de las bacterias y lo transforman en follaje.

BIOFILTRO DINÁMICO AERÓBICO:

Esta técnica consiste en que la materia orgánica del agua residual es degradada por una población de microorganismos y lombrices. El Biofiltro dinámico aeróbico es una piscina rellena con diferentes capas que actúa como un filtro percolador, compuesto en orden descendente por:

- Una capa de humus y lombrices (*Eisenia phoetida*, principalmente), las cuales tienen excelentes características desintegradoras de residuos sólidos y orgánicos;
- Una capa de aserrín y viruta para una segunda filtración;
- Una capa de gravilla;
- Una capa de bolones. Estas dos últimas capas proveen soporte y aireación al sistema, asegurando su permeabilidad.

La planta de tratamiento de aguas servidas está compuesta por una cámara de rejillas y desarenadora que retiene los sólidos gruesos, una planta elevadora que envía el agua al Biofiltro y, finalmente, un sistema de desinfección que utiliza rayos ultravioleta para eliminar los elementos patógenos contenidos en las aguas servidas tras su paso por el filtro. La Tabla 13 presenta la eficiencia de remoción de los parámetros más importantes en calidad de agua.

Esta tecnología de tratamiento ha sido impulsada por la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile, conocida como **Sistema Tohá** en alusión a su creador, el doctor José Tohá, quien en 1994 luego de diversas investigaciones llevó adelante su proyecto con la construcción de una planta experimental de tratamiento de aguas servidas en Cexas, Melipilla, para una población de más de 1.000 personas.

En Chile este sistema se aplica en algunos centros poblados. Además de la planta de Melipilla hay una planta en la localidad de El Melón, para 12.000 personas y en las comunidades de Campo Lindo y Montemar, en El Tabo, V Región. Asimismo, numerosas empresas utilizan este sistema, principalmente de la agroindustria y las salmoneras. Incluso la Base Aérea Presidente Eduardo Frei Montalva en la Antártica Chilena trata sus aguas con este sistema.

¿Cómo funciona?: El agua servida es esparcida en la superficie del Biofiltro, compuesto por los distintos estratos, conteniendo en los superiores un alto número de lombrices. Las aguas escurren por el medio filtrante, quedando retenidas aproximadamente el 95% de las partículas orgánicas en el aserrín y viruta. La materia orgánica es consumida por las lombrices, transformándola, por oxidación, en anhídrido carbónico y agua. Un tercio de la materia orgánica pasa a constituir masa corporal de las lombrices y las deyecciones constituyen el humus de lombriz.

Desde que el agua es esparcida sobre el filtro y sale del sistema transcurren aproximadamente 40 minutos. Este lapso es corto, por lo que no se generan olores, ya que el agua servida no alcanza a perder oxígeno suficiente como para su descomposición.

En el sistema de filtrado por lombrices se efectúan los siguientes procesos: filtración, adsorción, descomposición, reacciones aeróbicas y anaeróbicas específicas.

Entre las principales cualidades del sistema se cuenta:

- No produce lodos inestables: el Biofiltro degrada los sólidos orgánicos de los riles sin producir lodos inestables, como el resto de los sistemas de tratamiento.
- No necesita decantador de sólidos orgánicos como tratamiento previo; sólo es necesario instalar una cámara de rejas o canastillo para retener sólidos inorgánicos que son erróneamente descargados en el agua servida y sólidos grandes.
- El lecho filtrante no se impermeabiliza: a diferencia de otros sistemas de filtros, nunca se colmata o impermeabiliza. Esta característica se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su continuo movimiento, crean túneles y canales que aseguran la alta permeabilidad del filtro.
- Bajos costos de inversión y operación: el Biofiltro sólo requiere de la construcción de las obras e instalación del relleno. Los costos operacionales son bajos (energía para las bombas) y su mantención es simple.

- Produce un subproducto que puede ser utilizado como abono natural: la materia orgánica del afluente es convertida en masa corporal de lombrices y en humus de lombriz que puede ser extraído cada cierto tiempo para reconstituir la estratificación inicial del Biofiltro, y ser utilizado como abono agrícola.
- Periodos rápidos de puesta en marcha: una de estas plantas se establece en unas dos semanas.
- Sistema modular ampliable: el sistema funciona por unidad de superficie; se puede ampliar de acuerdo con las necesidades.
- Alta adaptación: el sistema soporta bajas temperaturas y
- no presenta problemas al trabajar en altura,
- con precipitaciones ni radiación solar.

HUMEDALES ARTIFICIALES

La tecnología de humedales artificiales o wetlands está definida como un complejo ecosistema de sustratos saturados, vegetación (macrófitas) y agua, cuyo objetivo es la remoción de la mayor cantidad de contaminantes del agua residual. Las macrófitas son plantas superiores, algas, musgos y briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático. Estas plantas acuáticas, que constituyen la base de la tecnología de humedales artificiales, tienen la propiedad de inyectar grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces.

El aire que no es aprovechado por la especie es absorbido por microorganismos, como bacterias y hongos, que se asocian a la raíz y se encargan de metabolizar los contaminantes que entran al sistema. Dichos microorganismos son usados para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica, y su efectividad depende del tipo de efluente a tratar y de las condiciones de operación.

Los sistemas de tratamiento de aguas tipo wetland comprenden tres procesos distintos. El agua a tratar pasa por un decantador, de manera de separar los sólidos y depositar sólo líquido en el humedal artificial. Allí las aguas escurren bajo un lecho de piedras de 5 cm, en el que se plantan las especies acuáticas y que impide la aparición de mal olor e insectos. Finalmente, los líquidos son descargados en una laguna con plantas que completan el proceso de depuración de las aguas servidas.

Las principales ventajas de este sistema son su adaptabilidad a las variaciones de carga, bajo impacto visual, capacidad depuradora eficaz de aguas residuales con contaminación principalmente orgánica, bajo costo de mantenimiento y funcionamiento sencillo. Sin embargo, la necesidad de amplias superficies de terreno para su instalación y su incapacidad para tratar aguas industriales con alta contaminación inorgánica, se convierten en las principales trabas.

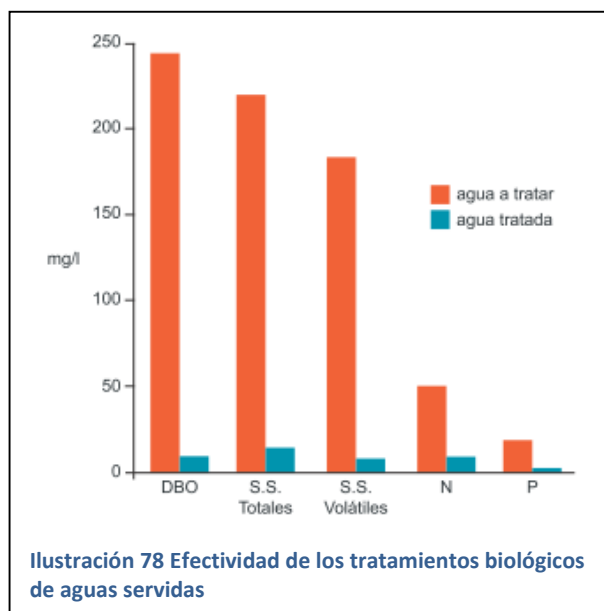
Tipos de humedales: Existen varios tipos de depuración natural entre los que se destacan sistemas con flujo sumergido horizontal, con flujo sumergido vertical y con flujo superficial. Cada tipo de sistema tiene características constructivas distintas y ofrece rendimientos depurativos específicos según el tipo de contaminante a eliminar. Esto permite lograr un tratamiento apropiado para cada caso y la combinación de estos sistemas puede tratar aguas servidas con características de contaminación muy distintas.

Las especies vegetales más utilizadas pertenecen a los géneros *Phragmites*, *Typha*, *Scirpus*, *Iris*, *Nymphaea*, *Juncus*, *Carex*, *Alisma*, *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, *Butomus*, *Potamogetum*.

Mecanismos de depuración: A través de distintos mecanismos de depuración que actúan en los humedales es posible la reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, lo que se conoce como Fito depuración.

Los principales mecanismos de depuración que actúan en un humedal son:

- Eliminación de sólidos en suspensión: ocurre por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas de las plantas. La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los pantanos artificiales; se puede esperar que de afluentes con una concentración de hasta 118 mg/l se pase a efluentes con concentraciones inferiores a 20 mg/l. Véase la Ilustración 78
- Eliminación de materia orgánica: es realizada por los micro-organismos que viven adheridos al sistema radicular de las plantas y que reciben el oxígeno a través del sistema de aireación. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación.
- Eliminación de nitrógeno: se logra a través de la absorción directa por las plantas y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación, desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias. La experiencia ha demostrado que la condición limitante para la nitrificación en estos pantanos es la disponibilidad de oxígeno. La relación teórica indica que son necesarios 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de nitrógeno amoniacal.



- Eliminación de fósforo: se logra por absorción de las plantas, adsorción sobre las partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles, principalmente con aluminio y hierro en suelos ácidos, y con calcio en suelos básicos. La remoción de fósforo en la mayoría de los pantanos artificiales no es muy eficaz, debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno, por lo que los rendimientos esperados son de una remoción de entre el 30 y 50%. Algunos sistemas usan arena en lugar de grava para aumentar la capacidad de retención del fósforo, pero este medio requiere instalaciones muy grandes debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena.
- Eliminación de microorganismos patógenos: se realiza por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radicación UV contenida en las radiaciones solares.
- Remoción de metales: es atribuido al fenómeno precipitación-absorción, precipitación de los hidróxidos, sulfuros, y ajuste de pH.

Para la vivienda considerada, se hicieron los siguientes cálculos utilizando la técnica del humedal artificial como tratamiento biológico final. Tomando un nivel de percolación del suelo de 3 litros/m²-hora, trabajando 12 horas por día y sabiendo que el consumo de agua es de 20 m³ por mes, se obtiene que el campo de percolación o humedal artificial requiera de 18,5 m² de humedal, ubicado al SUR del emplazamiento. Se colocarán del género *Phragmites comunis* o juncos.

5.3 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

5.3.1 LA OFICINA

Para que el edificio funcione, de todos modos se necesitan “cacharros” los cuales consumen energía eléctrica. Esta energía se debe cuantificar cuidadosamente porque va a ser generada en paneles fotovoltaicos, que son costosos y de baja eficiencia.

Los requerimientos eléctricos de la oficina se han resumido en la Tabla 14

OFICINA	Potencia (W)	Cantidad	Uso h/día	Arranque	Pot. Tot (W)	Energía Wh/día
Bala CFL	13	4	2	0	52,0	104,0
Modulo LED	1	8	3	0	8,0	24,0
Panel 30x30	25	6	2	0	150,0	300,0
PC Recepción	54	1	9	0	54,0	486,0
Toma 110 V	75	2	1	5	150,0	150,0
Seguidor Solar	50	1	20	25	50,0	1000,0
Lumin 7W LED AP	7	16	4	0	112,0	448,0
					576,0	2512,0

A la oficina se le han asignado algunas cargas eléctricas como el PC, tomas de electricidad para uso general, el seguidor solar (se controla y supervisa desde el PC) y la iluminación exterior, compuesta por las luminarias LEDS.

5.3.2 EL TALLER

Siguiendo la misma metodología de la OFICINA, el TALLER resume sus requerimientos eléctricos en la Tabla 15

TALLER	Potencia (W)	Cantidad	Uso h/día	Arranque	Pot. Tot (W)	Energía Wh/día
Bala CFL	13	8	3	0	104,0	312,0
Panel 30x30	25	17	2	0	425,0	850,0
PC Usuarios	54	1	9	0	54,0	486,0
Toma 110 V	75	4	1	5	300,0	300,0
CNC Maquina	500	1	4	125	500,0	2000,0
Laboratorio	500	1	4	50	500,0	2000,0
Bomba ERN	250	1	18	100	250,0	4500,0
Ventilador AA	150	2	8	75	300,0	2400,0
					2433,0	12848,0

Se distingue una máquina CNC para prototipos metálicos, el laboratorio metrológico, la bomba de agua para el equipo de enfriamiento radiativo nocturno y los ventiladores del aire acondicionado.

Hay 4 tomas de uso general, los cuales son necesarios en un taller.

5.3.3 LA VIVIENDA

Se cuenta en la vivienda el resto de equipos eléctricos como la lavadora, secadora (el calor lo obtiene del sol), las bombas para el aceite de la estufa, las aguas grises y el compresor de aire para el tratamiento secundario de las aguas grises.

VIVIENDA	Potencia (W)	Cantidad	Uso h/día	Arranque	Pot. Tot (W)	Energía Wh/día
Bala CFL	13	25	2	0	325,0	650,0
Bala CFL	26	2	4	0	52,0	208,0
Panel 30x30	25	15	3	0	375,0	1125,0
Tomas 110 V	75	22	0,5	0	1650,0	825,0
Lavadora	250	1	0,5	100	250,0	125,0
Secadora	250	1	0,5	100	250,0	125,0
Cocina Bomba OIL	75	1	10	25	75,0	750,0
Cocina Electrónica	20	1	4	0	20,0	80,0
TV Principal	125	1	2	0	125,0	250,0
GEN Ozono	540	1	8	0	540,0	4320,0
Nevera	250	1	12	100	250,0	3000,0
Compresor A. Gr.	150	1	6	75	150,0	900,0
Bomba A. Gr.	250	1	2	100	250,0	500,0
					4312,0	12858,0

Igual se ha agregado la TV y 22 tomas de uso general, como cargadores de celulares, PC portátiles y demás elementos de la modernidad. La Tabla 16 presenta un resumen de las cargas referenciadas.

5.3.4 CALCULO ENERGIA FOTOVOLTAICA

A partir de la estimación de la carga eléctrica definida en los tres apartes anteriores, se puede calcular la instalación fotovoltaica necesaria para obtener dicha energía.

Tabla 17 Potencia y Energías demandadas		
Carga instalada	7321	W
Carga de arranque	885	W
Factor de demanda	76,90%	
Potencia demandada	6516,5	W
Energía Demandada	28218	Wh por día

Por los métodos convencionales de Ingeniería Eléctrica, se calcula la demanda de potencia, información que será útil al momento de seleccionar el inversor. Además se calcula la energía

demandada que debe ser obtenida de los paneles fotovoltaicos. Esta información se ha colocado en la Tabla 17. Pero además, se calcula el consumo estimado por mes, tomando en cuenta el modo de operación de la vivienda. Esta información se ha resumido en la Tabla 18.

Factor	85%	90%	95%	100%	95%	95%	92%	90%	92%	92%	95%	90%
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Wh-día	23.985	25.396	26.807	28.218	26.807	26.807	25.961	25.396	25.961	25.961	26.807	25.396
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Operación para 40 paneles, balance de energía en Wh/día:												
Wh Sol	4500	4610	4830	4610	4580	4420	5140	5140	4690	4530	4390	4420
PANELS	27.915	28.597	29.962	28.597	28.411	27.419	31.885	31.885	29.094	28.101	27.233	27.419
SALDO	3930	3201	3155	379	1604	612	5924	6489	3133	2140	425	2022

Tomando como referencia paneles de 215W modelo KYOCERA KD215GH-2PU, cuyas características están anexas, se calcula la energía proveniente de los paneles y se compara con la demandada en la instalación, encontrando que hay un remanente pequeño, que es de seguridad en la operación. La fórmula general de cálculo de la energía fotovoltaica es:

$$E_p = \frac{G_{dm(\alpha,\beta)} * P_{mp} * PR}{G_{cem}} \left(KWh/día \right)$$

En donde:

- E_p = Energía de los paneles
- G_{dm} = Irradiación media anual sobre el plano generador en KWh/m²-día para azimut de 0° al SUR y b la inclinación del panel solar, en este caso 10°.
- P_{mp} = Potencia nominal del panel fotovoltaico. Vale 215 W
- PR = Eficiencia total del sistema. Vale 72%
- G_{cem} = Constante de irradiación de referencia. Vale 1 KWh/m²

La eficiencia total del sistema involucra la eficiencia combinada de los siguientes temas:

- Por dispersión de potencia en los paneles, toda vez que no todos tienen exactamente la misma potencia; se estimó, de acuerdo con el fabricante en 98%
- Por temperatura en las celdas. A partir del uso del TONC, que en este caso es de 45 °C y tomando $T_a = 28$ °C y coeficiente de temperatura de -0.46 %/K. Da 87%
- Por mugre en los paneles, Se asume limpieza semanal, se estima en 95%
- Por desviación en la inclinación y el azimut, debido al emplazamiento. 98%
- Por sombras. Se dejó en 98%, aunque no hay sombras previstas
- Por degradación fotónica de los paneles, de acuerdo con fabricante, 95% en 15 años
- Por pérdidas eléctricas en la instalación, 97%

Tomando todas estas eficiencias combinadas, se llega al 72% estimado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES SELECCIONADOS:

MODELO:	KYOCERA KD215GH-2PU
Dimensiones:	1500 mm X 990 mm X 46 mm
Potencia nominal:	215 W (a 1000 w/m ² STC)
Tensión máxima:	1000 Vol.
Tensión de máxima potencia :	26,6 Vol.
Corriente de máxima potencia:	8.09 A.
Tensión circuito abierto:	33.2 Vol.
Corriente de Corto Circuito:	8.78 A.
Eficiencia:	14.4%
NOCT	45 °C (En condiciones de norma)
Tolerancia de potencia:	±5%
Coefficiente de T a P máx.:	-0.46%/K

SELECCIÓN DEL INVERSOR: El sistema trabajará con corriente alterna 120/240 V a 60 Hz por ser el normativo en Colombia, por lo que se seleccionará un inversor apropiado a los cálculos realizados. Debe notarse que, por la forma como funcionan las cargas, es conveniente tener dos inversores: uno de 2800 W para atender las cargas nocturnas y uno de 4000 W para atender las cargas diurnas (estas han sido resaltadas en color azul). De esta manera, el primer equipo conectará 16 paneles y el segundo 24. Ver Ilustración 79. Los equipos EQX-2800 y EQX-4000 fabricados por EQUINOX® cumplen estas características:

Potencia nominal equipo 1:	2800 W
Tensión DC de entrada	250 V nominal, hasta 450 V en circuito abierto.
Grupos PMP	1 grupo
Paneles	16 (16 paneles en serie)

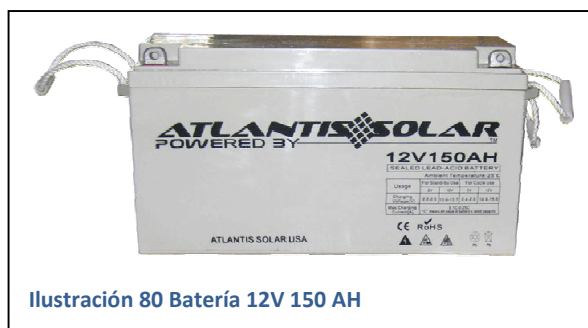
Tensión nominal en los paneles	425 V
Corriente nominal en paneles	8.09 A
Potencia nominal equipo 2:	4000 W
Tensión DC de entrada	250 V nominal, hasta 450 V en circuito abierto.
Grupos PMP	1 grupo
Paneles	24
Tensión nominal en los paneles	320 V (dos filas de 12 paneles en serie)
Corriente nominal en paneles	16.2 A



De esta manera, las cargas de la VIVIENDA el seguidor solar y el alumbrado público se dejan asignados al EQX-2800, en tanto que las cargas del TALLER y la OFICINA se dejan asignadas al EQX-4000. Puede hacerse una red inteligente entre los inversores, involucrando baterías y alimentación externa de la red interconectada, para casos de emergencia.

CALCULO DE LAS BATERIAS. Solo llevará baterías el equipo EQX-2800 y tendrá una capacidad de 24 horas de operación, debido a que el respaldo es con electricidad de la red interconectada. Este equipo maneja 11.619,2 Wh diarios de energía, que es necesario guardar en baterías para que tenga autonomía de un (1) día completo de operación.

Tomando baterías del modelo ASWB 12 V/150 A producida Por ATLANTIS SOLAR en USA⁵⁵, diseñadas para ciclos de descarga profunda y aplicaciones en energías renovables. Se necesitan 10 baterías, para lograr el almacenamiento de energía calculado y la tensión en DC para que funcione el inversor. Ver Ilustración 80.



La energía tomada de los paneles fotovoltaicos será entonces de 16.081,9 Wh día, tomando los datos de catálogo de la eficiencia de carga (85%) y de descarga (85%), puesto que el dato de corriente es un C100.

⁵⁵ Fuente: http://www.atlantissolarusa.com/agm_12150ah.html

5.4 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA TÉRMICA

5.4.1 AIRE ACONDICIONADO

La refrigeración mediante **radiación nocturna**⁵⁶ constituye una gran promesa tecnológica, teniendo en cuenta que se puede almacenar suficiente energía en el agua fría para suplir las necesidades de refrigeración del aire en ciclos de 24 horas.

Desde una superficie de alta emisividad (que sea reflectiva de la luz visible o de poca absorptancia y con mucha emitancia en el espectro infra-rojo) puede disiparse mucho calor por radiación al cielo durante la noche, de modo que puede enfriarse una gran cantidad de agua. Esta superficie será metálica y de color blanco.

Si el agua enfriada se hace circular durante el día por intercambiadores de calor agua-aire apropiados, o serpentines empotrados en el techo, puede alcanzarse un buen grado de refrigeración aún en espacios grandes. Igualmente se podría hacer si se requiriera calefacción. En este caso el agua se calienta de día y se hace circular de noche en los mismos serpentines.

Aunque hay otras formas de producir acondicionamiento de aire a partir de la energía del sol, teniendo en cuenta que tanto la oferta de energía solar máxima como la demanda de aire acondicionado más frío coinciden en el tiempo y necesitaría menos almacenamiento de energía. Así, por ejemplo con un **motor Stirling**⁵⁷ que mueva un compresor convencional, o un compresor movido por energía eléctrica generada en paneles foto-voltaicos o este último, ayudando al compresor a aumentar la presión mediante un panel termo-solar por el cual circula el refrigerante y que con el calor del sol aumenta su presión, de modo que el ciclo resulta beneficiado en términos energéticos. Otra forma mas elaborada, serían las **máquinas de absorción**⁵⁸.

El método seleccionado para el taller es el de utilizar la **radiación nocturna**, toda vez que el clima tropical de todo el año no requerirá el uso de calefacción.

En el campo de las aplicaciones térmicas de las energías renovables ocupa un lugar destacado el uso racional de la energía y con esto, el empleo de sistemas pasivos, es decir, que funcionen sin requerimientos energéticos convencionales. Bien sea por falta de acceso a las fuentes convencionales de energía eléctrica interconectada o bien, porque el uso de recursos climáticos, ya sea para calentamiento o para enfriamiento, alcanza vital importancia.

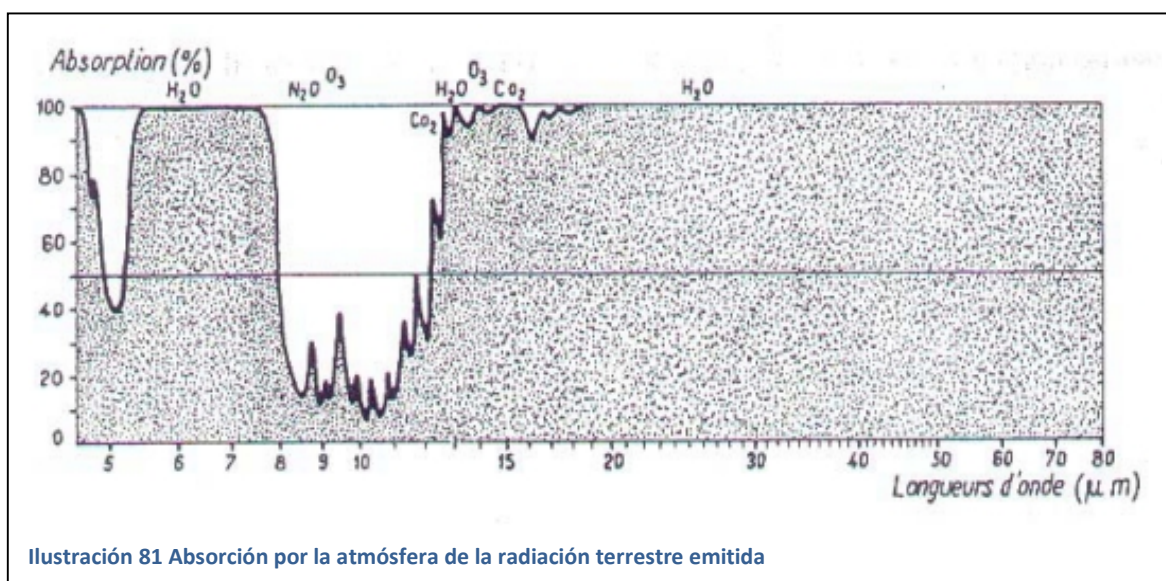
⁵⁶ Fuente: http://www.riraas.net/documentacion/CD_01/PRE-ARGENTINA3.pdf Dr. Eduardo González

⁵⁷ Fuente: <http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/en/E%20S-O%203.pdf>

⁵⁸ Fuente: <http://www.tynkt.com/en/index.asp>

Es de interés el desarrollo de equipos de enfriamiento que funcionen en forma pasiva para mejorar las condiciones de vida, dado que permitiría la conservación de alimentos en buenas condiciones sanitarias.

Además, a través de una adecuada adaptación a la vivienda, se lograría el mejoramiento de las condiciones de habitabilidad cuando las condiciones climáticas así lo requieran. En este contexto, es de importancia la búsqueda de recursos pasivos para refrescamiento y refrigeración. Una alternativa es la radiación nocturna, entendiéndose por tal a la radiación de cielo que no proviene del sol.



La radiación nocturna que llega en días claros y secos tiene, como función de la longitud de onda, una intensidad cuya forma no corresponde a la distribución de un cuerpo negro sino que presenta varias ventanas, la principal de las cuáles se encuentra entre los 8 μm y 13 μm . Véase la Ilustración 81. Este apartamiento del comportamiento de un cuerpo negro depende fuertemente de la humedad y de la temperatura: cuanto más seco más se diferencia. En este rango de longitudes de onda, si se define como temperatura de cielo la de un cuerpo negro con una emisión de potencia por unidad de superficie igual a la que recibe la Tierra en la misma área, resulta que esta temperatura es invariablemente inferior a la temperatura ambiente, lo que da lugar a que, durante la noche, una superficie horizontal sobre la tierra emita más radiación de la que recibe y se enfríe.

Es necesario medir con precisión y elaborar un buen modelo de la radiación de cielo para predecir adecuadamente las pérdidas radiativas de las superficies expuestas. Una manera de caracterizar la radiación a nivel de superficie consiste en medir la emisividad aparente de la atmósfera y obtener sus valores promedio sobre una cierta base de tiempo (mensual, estacional, anual) para las distintas regiones.

La emisividad aparente de la atmósfera se halla dividiendo la radiación infrarroja medida por $\sigma \cdot T_a^4$ donde T_a designa la temperatura ambiente medida a nivel del suelo en grados absolutos y σ es la constante de Stefan-Boltzmann.

Por definición, entonces, la temperatura efectiva de la atmósfera o temperatura de cielo T_c y la emisividad aparente ϵ se obtienen de la igualdad:

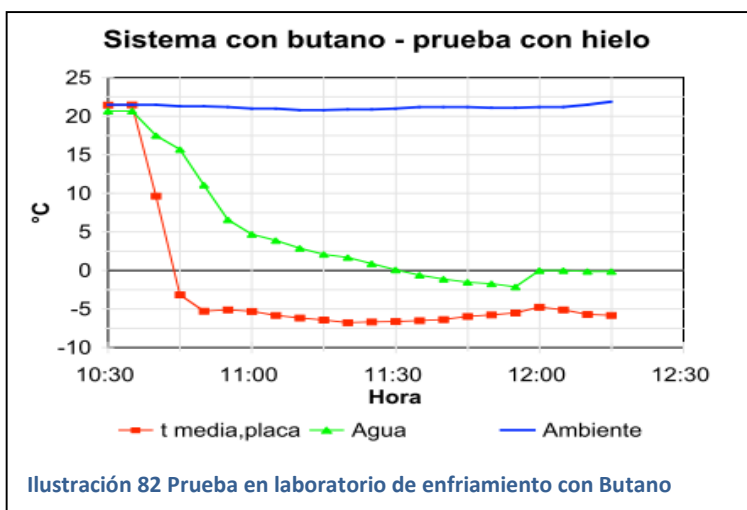
$$R = \sigma * T_c^4 = \epsilon * \sigma * T_a^4$$

Donde:

R designa la radiación de onda larga que llega a nivel del suelo.

Con estas medidas se puede obtener una expresión para la emisividad en función de la temperatura de rocío y una corrección en función de la altura geográfica⁵⁹. También permitieron comprobar que este tipo de expresiones son locales toda vez que la orografía del lugar influye sobre las condiciones de las capas superficiales y éstas sobre la radiación nocturna recibida.

Una referencia rápida del potencial refrigerador de la radiación nocturna indica que, a 1000 msnm, cielo despejado, sector montañoso, la diferencia entre la temperatura ambiente y de cielo llega a 25 °C y el potencial refrigerador es de 90 W/m². Ahora, utilizando tubos de vacío con butano (similares a los utilizados en los colectores de cilindro parabólico. Véase la Ilustración 82), en los cuales la parte inferior se conectan térmicamente al EVAPORADOR (en este caso, es el agua que se va a enfriar y la cual entregará su calor al butano para evaporarse) y la parte superior se lleva al CONDENSADOR (constituido por la placa blanca expuesta al firmamento nocturno) el potencial aumenta drásticamente su eficiencia logrando valores de 142 W/m². Véase la Ilustración 83



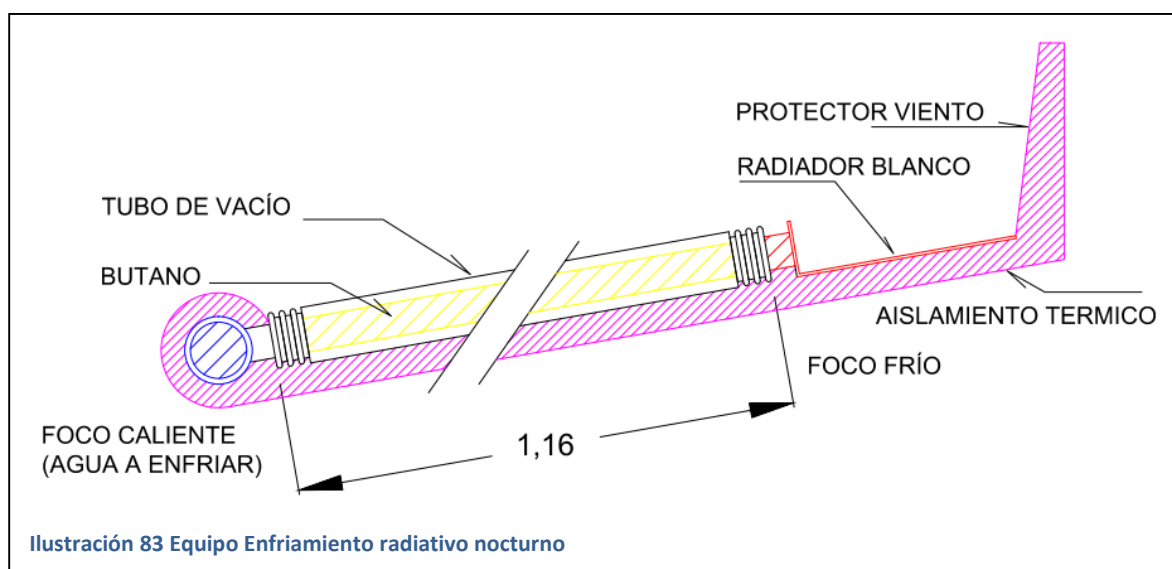
Realizando los cálculos para el acondicionamiento del aire del taller, se encuentran las siguientes cifras: El taller actualmente necesita un equipo de aire acondicionado convencional de refrigerante R140 y compresor, con una potencia frigorífica de 18000 BTU/hora, trabajando 6 horas al día.

⁵⁹ Fuente: FRIGERIO, Enrico. DOS ALTERNATIVAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO. UNAS, Salta. 2004

Esto equivale a 5274 W de refrigeración durante el día⁶⁰ o 31,6 KWh o 27209 Kcal.

Una máquina moderna tiene un COP⁶¹ de al menos 2.5, por lo que la potencia final requerida de la red eléctrica será de 2109 W.

Pero si se va a hacer esta refrigeración con ENFRIAMIENTO RADIATIVO NOCTURNO, es necesario considerar todo el calor a sacar del taller. Esta operación indica que se deben sacar 27202 Kcal por día y considerando una pérdida por almacenamiento del 10%, será necesario disponer de un potencial de refrigeración equivalente a 29923 Kcal por día.



Ahora, revisada la estrategia integral de la vivienda, se ha optado por mejorar la eficiencia de refrigeración y congelación (ver numeral 4.4.2) reduciendo la temperatura de su foco caliente utilizando agua del sistema de aire acondicionado. Por tanto, hay que hacer cuentas con el calor adicional a sacar, que es de 14,5 KWh por día. Así, el sistema sacará 43695 Kcal por día.

El montaje propuesto considera almacenar energía aprovechando la capacidad calórica del agua cuyo calor específico llega a 1 Kcal/(Kg °K) y sus puntos de fusión (0 °C) y ebullición (100 °C) se encuentran en la zona de trabajo termodinámico presente. Así, si de noche se logra bajar la temperatura del agua a 9 °C (282 °K) y de día se lleva a 25 °C (298 °K). Al utilizar agua y tener esta diferencia de temperatura se logra un almacenaje de 16 Kcal/kg de agua. Por tanto, para almacenar el potencial de refrigeración calculado, hacen falta 2731 Kg de agua, la cual ocupará un volumen cercano a 2.8 m³. Estas características se incorporarán al modelo arquitectónico. Para maximizar la transferencia de calor, se necesitan dos recipientes cada uno de 2.8 m³, uno de los cuales uno tendrá aislamiento

⁶⁰ Fuente: Cálculos propios del Autor

⁶¹ COP= Coeficiente de Operación de las máquinas térmicas

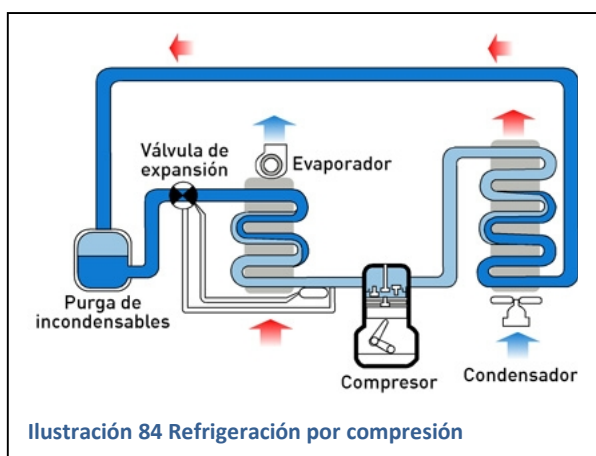
para el frío a 9 °C. El otro no necesitará aislamiento porque estará a 25 °C. Por la noche el agua se retornará a sus recipientes originales. La bomba de agua que se usará deberá impulsar el agua las 24 horas del día.

Para lograr este potencial, la fuente de energía radiativas deberá bajar la temperatura del agua a un valor de 9 °C, en un tiempo hasta de 9 horas (de noche), por lo que la superficie de tubos de vidrio al vacío deberá ocupar un área de 39,7 m²

Aun así, la energía eléctrica que consumirá el montaje será la de las bombas de agua y los ventiladores de los difusores de aire al interior del taller. Esta energía se estima en 200 W, durante la noche y 500 W durante el día.

5.4.2 REFRIGERACIÓN

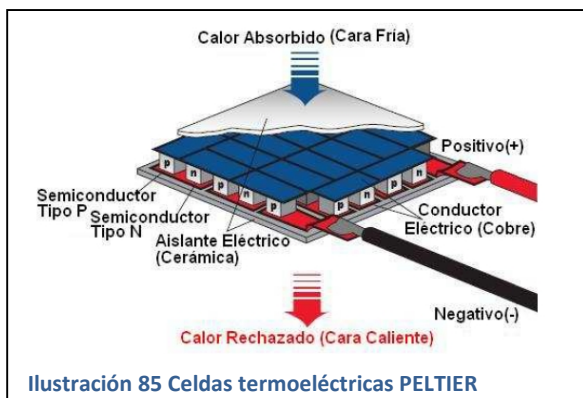
Existen muchas formas de producir frío para aplicaciones en refrigeración de alimentos. Los equipos mas difundidos comercialmente están basados en la compresión de un gas refrigerante el cual se pasa por un intercambiador de calor gas-aire (condensador), entregando el calor de la compresión al ambiente. Este gas se pasa por una válvula de expansión y llega a un intercambiador de calor ubicado dentro del refrigerador (evaporador), por lo cual toma calor de adentro del refrigerador para expandirse. Luego, el ciclo se repite (Véase la Ilustración 84). En este proceso, el COP calculado es de 2,5 para un equipo comercial de uso residencial, entre la cantidad de calor removido y la energía eléctrica incorporada al motor del compresor.



Se investigó la posibilidad de usar celdas termoeléctricas o de efecto peltier (Véase la Ilustración 85, pero los resultados no fueron buenos. Para extraer 12520 Kcal por día del refrigerador, usando celdas de 113W de un salto térmico máximo de 67 °C pero usadas a un salto térmico de 38 °C (diferencia de temperatura entre la junta caliente y la junta fría) la potencia de extracción es de 44,5 W, de modo que harían falta 77 celdas las cuales consumirían 17,6 KW de energía eléctrica para su funcionamiento. Por eso se desechó esta tecnología.

Otra tecnología revisada fue la de refrigeración por absorción. Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el Bromuro de Litio, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el Amoniaco y el agua, respectivamente. A partir de este principio

es posible concebir una máquina en la que se produce una evaporación con la consiguiente absorción de calor, que permite el enfriamiento de un fluido secundario en el intercambiador de calor que actúa como evaporador, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de Absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continua.



En los ciclos de absorción se habla siempre del agente absorbente, designando así a la sustancia que absorbe los vapores y de agente refrigerante, o agente frigorífico, a la sustancia que se evapora y da lugar a una producción frigorífica aprovechable. Serían absorbentes el agua y la solución de Bromuro de Litio, y refrigerantes el Amoniaco y el agua destilada, en los ciclos de absorción Agua-Amoniaco y Bromuro de Litio-Agua,

respectivamente. Para conseguir una mejor comprensión del funcionamiento de un ciclo de absorción, se hará una comparación entre este y un ciclo de refrigeración por compresión mecánica, de uso más extendido y por tanto más conocido a todos los niveles técnicos.

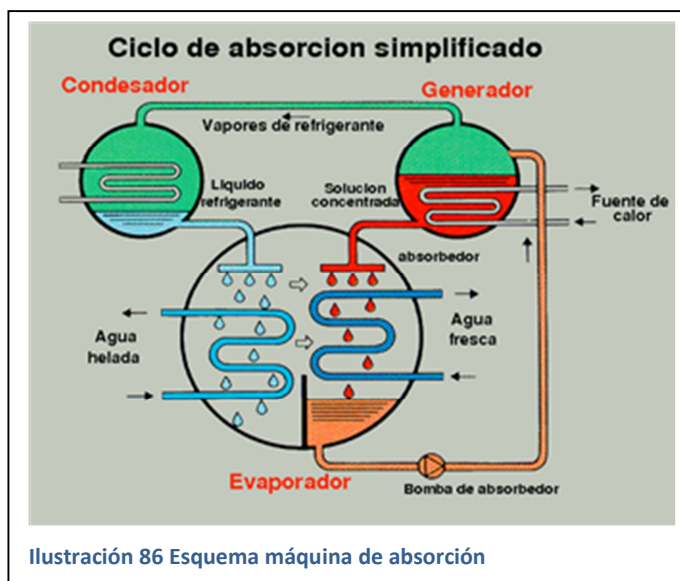
En un ciclo de compresión mecánica, los vapores del agente frigorígeno (como debe ser denominado) que se producen en el evaporador de la máquina dando lugar a la producción frigorífica, son aspirados por un compresor que ejerce las funciones de transportar el fluido y de elevar su nivel de entalpía. El vapor comprimido a alta presión y con un elevado nivel térmico se entrega a un intercambiador de calor, el condensador, para que ceda su energía a otro fluido, que no es utilizable para la producción frigorífica, y cambie de estado, pasando a ser líquido a alta presión y temperatura, y por lo tanto tampoco utilizable para la producción frigorífica.

Este líquido relativamente caliente se fuerza a pasar a través de un dispositivo en el que deja parte de la energía que contiene, por fricción mecánica fundamentalmente, y a partir del cual entra en una zona del circuito frigorífico en la que la presión se mantiene sensiblemente más baja, debido a que el compresor está aspirando de ella, que la presión de saturación que correspondería en el equilibrio a la temperatura a la que se encuentra el agente frigorígeno en estado líquido.

Este desequilibrio entre las presiones y temperaturas de saturación y las reales a las que el refrigerante se encuentra origina la evaporación parcial del líquido, que toma el calor la-

tente de cambio de estado de la masa del propio líquido, enfriándola hasta la temperatura de saturación que corresponde a la presión a la que se encuentra, punto en el que la evaporación se interrumpe. El refrigerante en estado líquido a baja temperatura entra en el evaporador, donde se evaporará, cerrando así el ciclo frigorífico.

En la máquina de absorción se produce un proceso similar: El refrigerante, agua o amoníaco, se evapora en el evaporador tomando el calor de cambio de estado del fluido que circula por el interior del haz tubular de este intercambiador. Los vapores producidos se absorben por el absorbente, agua o solución de bromuro de litio, en un proceso de disolución endotérmico que requiere de refrigeración externa para que la solución se mantenga en condiciones de temperatura



correctas y no aumente la presión en la cámara en la que se produce la absorción y que se denomina Absorbedor. En este circuito de refrigeración externa se utilizan normalmente torres de refrigeración de agua de tipo abierto o cerrado. El agua enfriada en la torre se hace circular a través del interior del haz tubular de otro intercambiador que se encuentra situado en el interior de la cámara del Absorbedor y sobre el que se rocía el absorbente para facilitar el proceso de la absorción. La masa de absorbente conteniendo el refrigerante absorbido se transporta, mediante bombeo, hasta otro intercambiador de calor cuya función es separar el refrigerante del absorbente, por destilación del primero. Este intercambiador de calor se denomina Concentrador o Generador y es de tipo inundado. Por su haz tubular se hace circular el fluido caliente, normalmente agua o vapor de agua, que constituye la fuente principal de energía para el funcionamiento del ciclo de absorción, y que procede como efluente de cualquier tipo de proceso en el que se genere calor residual (Véase la Ilustración 86).

En el concentrador se produce la ebullición del refrigerante, que se separa del absorbente y que como consecuencia aumenta su concentración, en el caso de solución salina, o su pureza cuando se trata de agua, para que pueda ser utilizado de nuevo en el proceso de absorción.

El flujo de absorbente vuelve al Absorbedor siguiendo un camino mas o menos diferente según cada tipo de máquina, mientras que el flujo de vapores del refrigerante destilado en

el concentrador pasa, por simple diferencia de presión, a otro intercambiador de calor por el interior de cuyo haz tubular circula agua procedente también de la torre de refrigeración, y que se denomina condensador porque alrededor de su haz tubular se produce la condensación de los vapores del agente frigorífico para volver al estado líquido.

El líquido obtenido en el condensador se canaliza hacia la cámara del evaporador, por gravedad y por diferencia de presión, ya que esta se encuentra a una presión inferior a la de la cámara del condensador. Cuando el líquido llega a la cámara del evaporador sufre un fenómeno idéntico al comentado en la descripción hecha del ciclo de compresión mecánica, y se evapora parcialmente, llevando la temperatura de la masa del líquido a la temperatura de saturación que corresponde a la presión en la que la cámara del evaporador se encuentra. De esta forma, el líquido frío está en condiciones de tomar calor del fluido que circula por el interior del haz tubular del evaporador, hasta evaporarse, cerrando así su ciclo. Si comparamos ambos ciclos, comprenderemos que en el de absorción los intercambiadores de calor del Absorbedor y del Condensador, junto con la bomba o bombas que hacen la función de transporte del absorbente, equivalen a su trabajo al compresor del ciclo de compresión mecánica.

Mientras que en el evaporador, condensador y dispositivo de expansión de las máquinas de absorción se desarrollan procesos similares, por no decir idénticos, a los que tienen lugar en sus homónimos del ciclo de compresión mecánica. Sería válido referirse al Concentrador y Condensador de la máquina de absorción como Sector de Alta Presión, y al Absorbedor y Evaporador como Sector de Baja Presión, siguiendo la similitud con el ciclo de compresión mecánica.

En general, una nevera convencional tiene al menos dos compartimientos: el de refrigeración y el de congelación.

En el de refrigeración los alimentos se conservan entre 2.0 °C y 8.0 °C. La capacidad seleccionada para el refrigerador usado en la vivienda es de 215 litros. (Véase la Ilustración 87). Si la temperatura del foco caliente (serpentín del radiador) de la nevera es de 40 °C, se necesita extraer 8170 Kcal del refrigerador para su funcionamiento. Adicionalmente, la nevera tiene un congelador de 75 litros que baja su temperatura hasta -18 °C. En estas condiciones, se requiere extraer 4350 Kcal adicionales.

Por tanto, la nevera necesita extraer 12520 Kcal que equivale a 14,6 KWh. Una nevera normal tiene un CUP de 2.5, por tanto requiere de 5,8 KWh de energía eléctrica, al funcionar como refrigerador. Las pérdidas globales son del orden del 40%, por aislamientos y



Ilustración 87 Nevera convencional 215 Litros

uso (o mal uso de la puerta). De modo que la cuenta final arroja que se necesitan 8,2 KWh Si se deben entregar en un período de 24 horas, en los cuales el compresor enciende el 50% del tiempo, la potencia eléctrica requerida será de 679,4 W, casi un motor eléctrico de 1 HP.

Si se optimiza la nevera para que el intercambiador de calor del foco caliente esté sumergido en agua a 18 °C proveniente de un circuito cerrado con el agua almacenada del aire acondicionado y el congelador baje hasta -10 oC, solo necesitará extraer 5540 Kcal (6,4 KWh) que, con el mismo CUP y pérdidas del 12% se necesitan 2,9 KWh de energía eléctrica. Esto equivale a una potencia eléctrica de 241 W durante 12 horas al día. Queda un factor de seguridad en el diseño al considerar que no todos los días la nevera se deja vacía y se vuelve a llenar. Este evento ocurrirá una vez por semana.

5.4.3 COCCIÓN

En el presente estudio se ha querido adicionar una propuesta de cocción por medio de energía solar que pueda ser utilizada a cualquier hora del día (o de la noche) y no limitarse



Ilustración 88 Cocina solar directa

a las cocinas solares convencionales que utilizan un concentrador parabólico aproximadamente de 1.5 m² como los mostrados en la Ilustración 88, La propuesta es proporcionar un medio calórico suficiente para la cocción diaria de los alimentos requeridos en la vivienda a partir del potencial solar existente. Para ello, se requiere almacenar la energía en forma de calor y poder dosificarla a medida que se necesite.

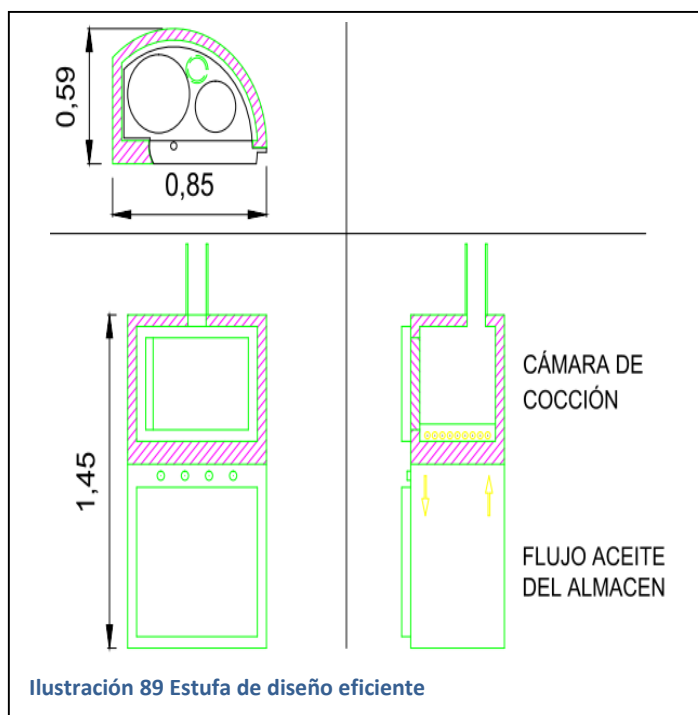
La propuesta consiste en tener un medio de almacenamiento térmico eficaz, similar al utilizado en las centrales termo-solares modernas, pero al alcance de una vivienda. Así que se propone hacer un colector parabólico seguidor solar que recoja suficiente energía para la cocción de los alimentos.

Los alimentos requieren una potencia de 5.0 KW dividida en dos boquillas: una hornilla de 3.5 KW usada en ALTO mas una hornilla de 1.5 KW usada en MEDIO.

Se propone un uso máximo de 6 horas por día. Esto da una energía diaria de 30 KWh. Ahora, la eficiencia de las estufas de hornilla caseras es muy baja, pues el 80% del calor se desperdicia, así que se propone un modelo que optimice el uso de la energía calórica del sol y tenga una mayor transferencia energética a los alimentos. Una estufa más eficiente, como al 50% requiere la forma de horno. (Véase la Ilustración 89).

Así que la energía realmente necesitada será el doble de la calculada, es decir el requerimiento real de energía será de 60 KWh por día. Un diseño apropiado de la estufa podría reducir esta pérdida de manera sustancial. Por otra parte, la temperatura de cocción es de 100 °C y si se requiere freír, con unos 180 °C es suficiente. Temperaturas mayores causan generación de humo en la cocina, se queman los alimentos y pueden llegar a arder.

Escogiendo un medio para almacenar la Energía, se encontró que el aceite mineral tiene un calor específico de 0,4 Kcal/(Kg °C) y un punto de ebullición de 400 °C que lo hace apropiado para esta aplicación. Otro material que podría usarse es la parafina. La temperatura de operación del almacenador puede variar entre 145 °C y 390 °C pero podría aumentarse hasta los 400 °C. Esto significa que el sol debe calentar el medio de almacenamiento hasta un valor de 390 °C y en la cocina se reducirá su temperatura a 145 °C.



El cálculo para almacenar los 60 KWh (equivalen a 51590 Kcal) por día, con esta diferencia de temperatura arroja que se necesitan 501 Kg de aceite, que ocupa alrededor de 551 litros o un recipiente cilíndrico de 82 cm de diámetro útil y altura de 104 cm. En estas condiciones, la pérdida de energía en el almacenamiento llegan al 37,2% de la energía guardada en un período de 24 horas. Esto arroja una potencia de pérdida de 929,2 W, si se toma como aislante un material como la lana de vidrio de 5 cm de espesor la cual tiene una conductividad térmica λ de 0.034 W/(m °K). Esta pérdida, que parece ser grande, se ha dejado a propósito, para calentar el agua sanitaria requerida en la casa (Véase la Ilustración 90).

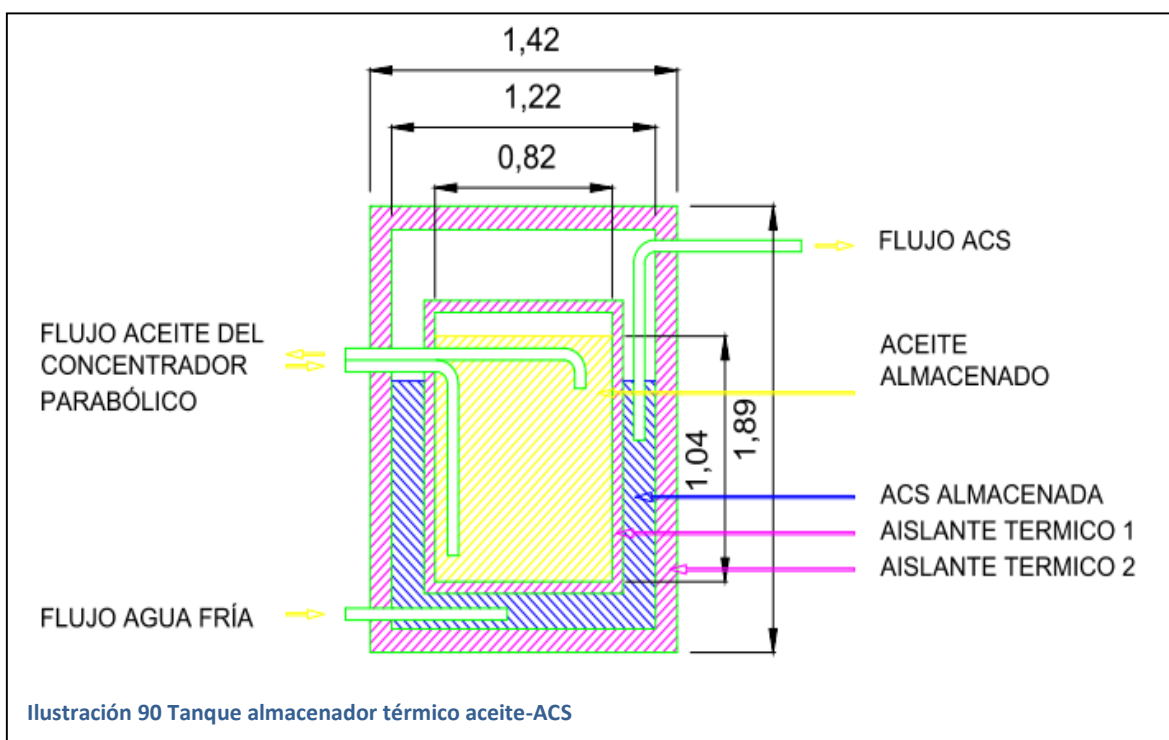
Si se hace el aislamiento con un material compuesto denominado DOWN CORNING⁶² 93-104 de 20 cm de espesor cuya conductividad térmica λ ⁶³ es de 0,017 W/(m °K) la pérdida será de 116 W pero se necesitará un intercambiador de calor adicional para el ACS.

⁶² Fuente: <http://www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=134EN>

⁶³ Fuente: <http://rodolfo-novakovic.blogspot.com/2006/04/materiales-cermicos-en-te.html>

Utilizando un espejo parabólico en el que se reconoce que el factor de concentración teórico es de 46200 pero en la práctica solo llega a 10000 por las imperfecciones del espejo.

Este valor es fácil de obtener en la actualidad a partir de la producción de los paraboloides de revolución con materiales compuestos y superficies metalizadas electroquímicamente (como se hacen los reflectores para los faros de los vehículos). Además, la eficiencia de captación total global de un espejo parabólico seguidor llega a un pico de 29% con una media anual del 25%, debido al fenómeno de la pérdida de calor por radiación del colector toda vez que alcanza temperaturas de 700 °C⁶⁴. (Véase la Ilustración 91)



Entre el colector parabólico y el acumulador circulará el aceite a 918 cm³/min. Si el recorrido se hace en tubos de 10 mm de diámetro y la distancia es de 7.0 m, la potencia de la bomba (para fluidos a 400 °C) será de tan solo 13 W. (Corresponde a la potencia que tiene el motor de un juguete de baterías). El aceite térmico industrial a utilizar será del tipo DOWTHERM A⁶⁵ que resiste hasta 440 °C y trabaja normalmente a 401 °C

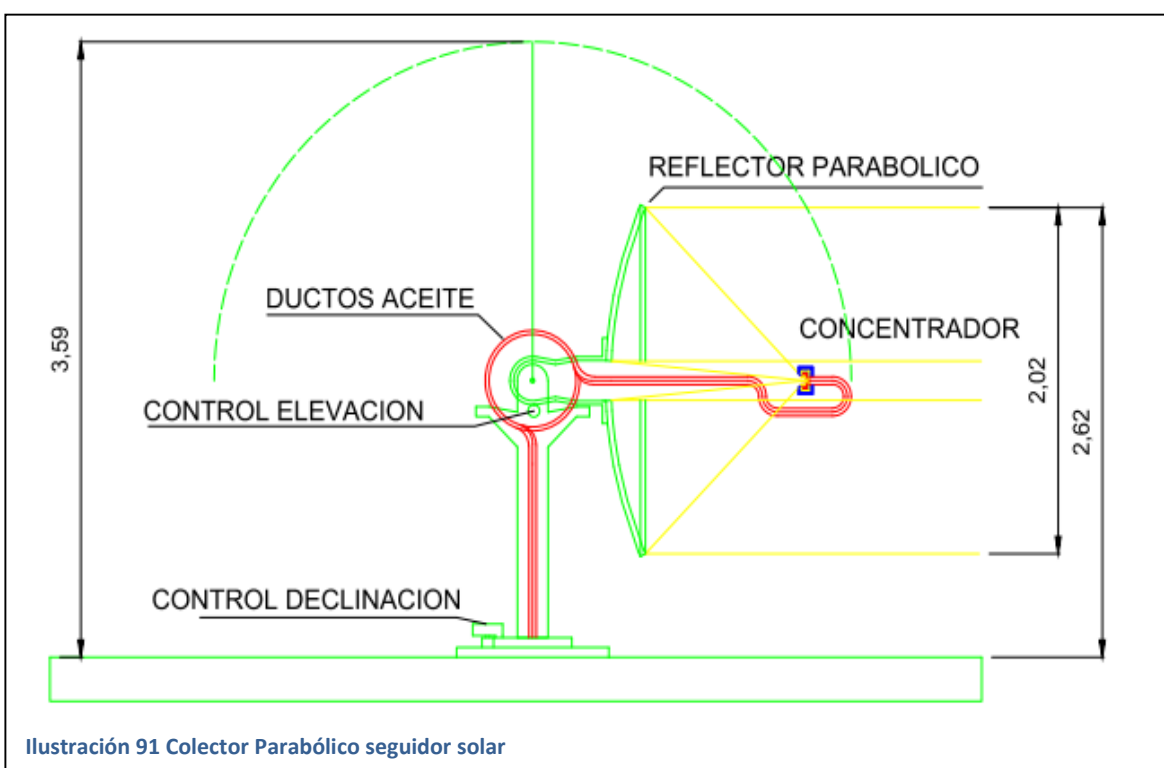
Además se necesitará un control electrónico para:

- Mantener el flujo de aceite hacia el concentrador, a medida que se obtenga la temperatura de almacenado

⁶⁴ Fuente: Pérez Martínez, Marta. ENERGIA SOLAR TERMOELÉCTRICA. Publicación CIEMAT, 2008

⁶⁵ Fuente: <http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/>

- Desenfocar el concentrador cuando haya excesiva radiación del sol y no se pueda almacenar mas energía
- Controlará el flujo de aceite hacia la estufa y por tanto su potencia,
- Controlará la bomba de aceite y las electroválvulas para el flujo de aceite
- Controlará la temperatura de cocción de los alimentos que el usuario desee obtener a partir de la carga de alimentos que se quiera cocinar.
- Controlará el ángulo de elevación y declinación del colector parabólico adecuado al día del año y a la hora del día.
- Por la noche cesará el flujo de aceite hacia el colector.



Si La potencia de la radiación solar en el emplazamiento es de 4.6 KWh/m² por día, de acuerdo con los datos obtenidos, un colector de 3.21 m² que tiene de diámetro 2.02 m será suficiente. El colector funcionaría durante todas las horas de brillo solar.

Con estas dimensiones, el colector será deficitario de energía en el mes más frío (noviembre) en un 5,7% y tendrá un 10% de exceso de energía en el mes más caliente (agosto), de acuerdo con la evaluación del potencial solar mensual en el emplazamiento.

Estas cifras se pueden compensar con un uso racional de la energía. O se puede hacer un 10% más grande. Es decir, de 2,20 m de diámetro, para que alcance ampliamente aún en los meses de menor insolación.

5.4.4 AGUA CALIENTE SANITARIA

Resolviendo la cocción de los alimentos, se encontró que uno de los problemas técnicos más difíciles de resolver, constructivamente, es el aislamiento del material termoalmacenador, cuya temperatura puede llegar a los 400 °C. Con un aislamiento comercial, como la lana de vidrio, se consigue disminuir la pérdida de potencia a 929.2 W, lo que significa un 31% de la energía diaria almacenada. Así que la solución es tomar ese calor y con él calentar el ACS de la vivienda.

Los requerimientos de ACS llegan a 240 litros por día, teniendo en cuenta el nivel de ocupación que tendrá la vivienda: promedio de cuatro (4) personas, con un consumo de 60 litros por día. Esa agua se calentará de 25 °C que es la temperatura ambiente, hasta los 65 °C en cuyo caso, evita mucha contaminación bacteriana, pues a los 56 °C se mueren cerca del 99.9% de las bacterias⁶⁶.

Para llevar los 240 litros de agua de una temperatura de 25 °C a los 65 °C propuestos, hacen falta 12000 Kcal (unos 14.0 KWh). Teniendo en cuenta la potencia de pérdidas disponible, esta potencia lograría ese efecto en 24 horas.

La estrategia para absorber casi toda la energía de pérdidas es rodear el tanque cilíndrico principal de aceite con un recubrimiento de lana de vidrio y un recubrimiento de metal. Luego, colocar este tanque dentro de otro que contenga el agua de consumo sanitario, a su vez recubierto con un aislamiento de lana de vidrio de 10 cm.

De esta manera, el segundo tanque tendría una pérdida de tan solo 13,6 W/m² y una potencia total de pérdidas calculada de 120 W. Así las cosas, la pérdida del sistema sería tan solo de 4.8% de la energía almacenada del sol.

Pero si se opta por el sistema convencional de paneles termosolares, se tomaría un tanque de almacenamiento de 450 litros, con paneles del tipo **CLI 3000** tamaño **U10** producido por **VELUX®** CON DIMENSIONES DE 1.34 m x 1.60 m y capacidad térmica de 8,84 KJ/m²K y rendimiento óptico del 76.1%; se tiene que la eficiencia del captador, para un salto térmico de 50 °C es del 55.5%, se necesitan 5.7 m² de colector. Esto es, tres (3) paneles termosolares.

En el presente proyecto, se optó por esta segunda solución, para no comprometer más recursos de la cocina solar y porque esta tecnología es ampliamente conocida y segura en su cálculo y utilización.

⁶⁶ Fuente: González H. Arturo. ESTUDIO DE UN COLECTOR SOLAR PARA DESINFECTAR AGUA. Publicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cancún, 2002.

6 PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

6.1 PRESUPUESTO CLÁSICO

Una construcción convencional, con la tecnología colombiana actual basada en la construcción de muros en ladrillo; losas y columnas en concreto reforzado, así como acabados en estuco y pintura, para un sector de ladera como el propuesto, tiene un estimado de costos de USD \$1000/m². Los Derechos de conexión de energía, acueducto y alcantarillado tienen un costo de USD \$900. Los valores se han resumido en la Tabla 19

La construcción bioclimática llega a valores ligeramente superiores, si se usa estructura en

ASPECTO	CLASICO	BIOClimATICO
CONSTRUCCIÓN (186.52 m ²)	\$ 186.523	\$ 223.827
Aire Acondicionado	\$ 500	\$ 2.500
Iluminación	\$ 1.500	\$ 3.600
Agua potable	\$ 2.500	\$ 5.500
Agua servida	\$ 1.500	\$ 3.000
Energía eléctrica	\$ 5.000	\$ 25.000
Cocina	\$ 500	\$ 3.000
ACS	\$ 350	\$ 900
Derechos	\$ 900	\$ -
TOTAL	\$ 199.273	\$ 267.327

acero, muros en panel y aislamiento en celulosa. Las losas del techo son en acero y concreto ligeras, con aislamiento de 15 cm en celulosa, llegando a valores de USD \$1200/m².

Por tanto, el costo inicial de un proyecto bioclimático es superior al costo de un proyecto de construcción clásica en muros de concreto en un 34.2%. Una parte importante del mayor costo son los equipos, pues en el modelo clásico cuestan USD \$ 11.850, en la vivienda bioclimática pueden llegar a costar USD \$ 43.500.

Si bien las verdaderas diferencias de costos se encuentran en los equipos, en cuanto al costo inicial, es necesario calcular también el costo de operación y mantenimiento del proyecto, que está relacionado íntimamente con los equipos, pues si cuestan

OPERACIÓN	CLASICO	BIOClimATICO
Agua	\$ 50	\$ -
Alcantarillado	\$ 60	\$ -
Energía	\$ 80	\$ -
Gas	\$ 25	\$ -
Cargos fijos	\$ 30	\$ -
TOTAL	\$ 245	\$ -

MANTENIMIENTO		
Global	\$ 35	\$ 50
TOTAL	\$ 35	\$ 50

bastante más, es necesario averiguar el por qué. Así, al considerar el costo de la energía, el gas y el agua, así como el costo de la disposición final de las aguas servidas, se puede llegar a una evaluación financiera del proyecto que sea objetiva.

La Tabla 20 presenta un resumen de estos costos y se observa que mensualmente una vivienda clásica necesita de unos USD\$ 280, en tanto que una bioclimática necesita unos USD \$ 50.

Haciendo un análisis a 15 años, que podría ser la vida útil mínima de un proyecto de vivienda, resulta que la vivienda clásica cuesta operarla unos USD \$ 50.400 en tanto que la bioclimática cuesta USD \$ 9.000

Pero si se estima el costo de revertir la contaminación como el mismo de fabricar la energía consumida, el gas y el alcantarillado, resulta que el costo de operación y manejo de la contaminación de una vivienda clásica puede llegar a USD \$ 490 mensuales, en tanto que ese mismo concepto en una vivienda bioclimática cuesta USD \$ 0, porque no produce contaminación. Resulta que estas nuevas cuentas elevan los costos de operación del proyecto clásico en USD \$ 138.600 en tanto que los de la vivienda bioclimática quedan en los mismos USD \$ 9.000

Esto es válido, si se usa el mismo modelo de principios y valores morales para dejarle a las generaciones futuras un manejo ambiental sostenible. En franca lid, debería cobrarse aquel CO₂ que la naturaleza no alcanza a procesar para revertir la contaminación.

6.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Así las cuentas, un proyecto clásico evaluado a 15 años, sin la variable ambiental cuesta USD \$249,673 en tanto que un proyecto bioclimático cuesta en el mismo período, la suma de USD \$ 276.327. Es decir, resulta un 10.7% mas costoso.

Pero con la evaluación ambiental descrita, pues las cuentas se invierten y el proyecto clásico termina costando USD \$ 337.873 mientras que el ambiental conserva su valor en USD \$ 276.327, resulta entonces, un 18,2% mas económico.

Que esta evaluación sea una realidad, depende de la labor de los Estados, al promover legislaciones en favor del ambiente que depende exclusivamente de la voluntad política, la cual se mueve, entre otras cosas, por la Sociedad Civil y los estudios que permitan entender las ventajas de un mundo menos contaminado.

7 CONCLUSIONES

7.1 EL MODELO BIOCLIMÁTICO GENERAL

Las principales conclusiones del proyecto son:

- Respondiendo la pregunta clave del proyecto, puede concluirse que la vivienda descrita puede llegar a producir su propia energía, manejando las dos clases de energía obtenidas directamente del sol: la energía termo solar: utilizada en la cocción de alimentos y el calentamiento del agua para uso sanitario. La otra energía destacable es la fotovoltaica, que se utiliza para generar energía eléctrica directamente. Esta energía se utiliza para iluminación, refrigeración de alimentos, generación de ozono para purificar el agua lluvia, se convierte en fuerza mecánica y hasta en fuente de energía para la TV.
- Pero se pretende también utilizar un foco frío para enfriamiento radiativo nocturno de agua y así proveer de aire acondicionado un espacio del laboratorio metrológico propuesto.
- Por otra parte, la energía termo solar se usa para el crecimiento de la vegetación que permitirá el tratamiento biológico de las aguas servidas producidas en la vivienda, combinada con su desinfección por medio de charcas de agua expuestas al sol directamente. Así, no hay necesidad de utilizar desinfectantes como el cloro.
- En cuanto al consumo de dicha energía, es necesario resaltar la inmensa necesidad de utilizar tecnología eficiente y metodologías de USO RACIONAL DE ENERGÍA, pues la venta de los remanentes no es viable, a menos que haya una legislación que promueva su uso y subvencione el costo, para otros fines diferentes a los de economizar energía. Por ejemplo, porque se desea la autonomía energética de una región, o no hay suficientes recursos par hacer grandes proyectos.
- Este proyecto deja grandes bloques de desarrollo tecnológico para profundizar y comercializar, como las estufas solares con almacenamiento de energía, que podría ampliarse a otras necesidades como las chimeneas que trabajen con energía solar, para uso en países que tengan estaciones climáticas agrestes.
- Deja abierta la posibilidad para que el Centro de Investigación que ocupará la sede, promueva la evaluación de los modelos de vivienda actuales y mostrarles el camino para ahorrar energía, principalmente en climatización, bien se por los aislamientos o bien por las máquinas.
- El proyecto ha generado una competencia laboral importante en la evaluación termodinámica de edificios y en el uso de las energías renovables en arquitectura, que puede ser una gran fuente de ingresos para el centro de investigación.

- Deja abierta la posibilidad de desarrollar una secadora de ropa solar, que no consuma gas sino energía termo solar. Estas máquinas ahorran agua y espacios vitales en las viviendas.
- Deja abierta la posibilidad de desarrollar la domótica necesaria para que los edificios se acomoden a las diferentes situaciones ambientales, de manera automática: se acomoden para el verano de día, de noche, para el invierno y la lluvia. En gran escala, hasta para su ubicación respecto al sol.
- No se abordó el tema de la biomasa, porque se le dio prioridad al desarrollo arquitectónico, pero hay un gran campo de desarrollo en equipos y modos de uso de esta energía renovable.
- No se abordó el tema de la energía geotérmica, ni la eólica, pero son futuros focos de estudio y de concreción de oportunidades de conocimiento convertidas en negocio.
- No se abordó el tema de la evaluación de la respuesta sonora de las edificaciones. Esta deficiencia fue por pura falta de tiempo, pues ECOTECT® trae la herramienta.
- Ha resultado muy interesante profundizar sobre el análisis termodinámico de edificios y las posibilidades de negocio que ello encierra.
- Queda un gran conocimiento en ventilación, manejo de insolación, apantallamientos, cálculos de fotovoltaica y termo solar, análisis de luz día, evaluación del paisaje, la vegetación, el potencial pluvial, el manejo de aguas servidas y la evaluación de la temperatura de los edificios, para aplicar a futuros proyectos.

7.2 SOSTENIBILIDAD DEL HÁBITAT CONSTRUIDO

- Queda así probada la tesis en cuanto al consumo de energía, pues esta vivienda consume un 50% menos de energía que una vivienda convencional, tomando como un todo la energía eléctrica y la térmica de la vivienda tanto para uso en cocción de alimentos, refrigeración o acondicionamiento del aire.
- Por otra parte, la vivienda ha demostrado que puede producir el 95% o más de sus energía y aun así, ser un proyecto rentable, siempre que se valore el costo ambiental de contaminar el ambiente.
- Con herramientas sencillas, se puede demostrar que puede captar toda el agua que necesita para su funcionamiento racional, de las lluvias, hacer el proceso de purificación y posterior proceso de tratamiento de las aguas grises, reciclarlas y hacer un segundo tratamiento de aguas servidas por medios naturales, como los humedales.
- Con relación al costo, quedó demostrado que la vivienda bioclimática resulta un 18% más económica que una vivienda convencional, siempre que se tenga en cuenta el costo de revertir la contaminación de las viviendas convencionales.

8 ANEXOS

8.1 BIBLIOGRAFÍA

- Olgyay, Víctor. ARQUITECTURA Y CLIMA. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, 1ª edición, 3ª tirada, 2004
- Serra F, Rafaél y Coch R Helena, ARQUITECTURA Y ENERGÍA NATURAL. Barcelona, UPC, 1991
- Givoni, Baruch. CLIMATE CONSIDERATIONS IN BUILDING AND URBAN DESIGN. Jhon Wilwy & Sons Inc., New York, 1998
- Vale, Brenda & Richard. MONOGRAFIA `` LA CASA AUTOSUFICIENTE`` E. Blume. Barcelona, 1981.
- Docherty, Michael & Szokolay, Steven. CLIMATE ANALYSIS. University of Queensland Printery, Brisbane, 1999
- González, Eduardo. MATERIALES Y DISEÑO BIOCLIMÁTICO. Publicación (Paper) IFAD, Universidad del Zulia. Maracaibo, 2003
- Ministerio de Medio Ambiente (España) LIBRO VERDE DE MEDIO AMBIENTE URBANO. TOMO I, Madrid, MMA, 2006
- CCEIM & CONAMA. CAMBIO GLOBAL ESPAÑA 2020/50 SUMMA S.A. Madrid, 2009
- EL RETO ENERGÉTICO. Multimedia del programa PROSOL gestionado por SODEAN, 1999

8.2 CIBERGRAFÍA

- <http://peremarques.pangea.org/edusoft.htm>
- <http://www.solardecathlon.org>
- <http://www.construible.es>
- <http://www.terra.org>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable
- <http://www.akademie-mont-cenis.de/en/index.html>
- <http://www.elextremosur.com/archives/756>
- <http://www.worldenergy.org/>
- <http://www.guiadelmundo.org.uy/cd/countries/>
- <http://www.solardecathlon.org>
- http://www.terra.org/la-energia-de-fabricar-un-panel-fotovoltaico_2394.html
- <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?id=723&c=6&idm=10&pat=10>
- <http://peremarques.pangea.org>
- <http://www.windows2universe.org/>
- http://www.3tier.com/static/ttcms/us/images/support/maps/3tier_solar_irradiance.pdf
- <http://www.retscreen.net/es/download.php>
- http://www.riraas.net/documentacion/CD_01/PRE-ARGENTINA3.pdf
- <http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/en/E%20S-O%203.pdf>
- <http://www.tynkt.com/en/index.asp>
- http://todoelectronica.com/product_print.php/products_id/13816?osCsid=567a35eaccb443d0211ecf8bed502aa
- <http://www.prefabricadascasasdemadera.com/2010/04/estructura-casa-de-madera.html>
- http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos_de_papel/tubos2.asp
- http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html
- <http://daparq.com/galeria/Rivera%20Plaza/index.html>
- <http://www.soliclima.com/tratamiento-aguas-residuales.html>
- http://www.atlantissolarusa.com/agm_12150ah.html

8.3 ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1 Gap del Petróleo	10
Ilustración 2 Casa modelo UPM Magic Box	13
Ilustración 3 Vivienda Autosuficiente IaaC	15
Ilustración 4 Proyecto ganador 2006 IaaC	17
Ilustración 5 Arquitectura sustentable. Arq. Jacob del Ángel	23
Ilustración 6 Casa pasiva Estándar	24
Ilustración 7 Modelo de calefacción eficiente	26
Ilustración 8 Calefacción y refrescamiento con Geotermia	28
Ilustración 9 Muro Verde. Bogotá	29
Ilustración 10 Edificio que genera su propia energía	30
Ilustración 11 Torre Hearst. Arq. Norman Foster. NY.	31
Ilustración 12 Poliestireno expandido	33
Ilustración 13 Poliestireno extruido	34
Ilustración 14 Espuma rígida de Poliuretano	35
Ilustración 15 Aerosol de SPUR	35
Ilustración 16 Espuma de polietileno	36
Ilustración 17 Aislante de Celulosa proyectada	37
Ilustración 18 Lana de vidrio en muros	38
Ilustración 19 Productos de lana de roca	39
Ilustración 20 Ventana doble vidrio	40
Ilustración 21 Persiana exterior PVC	41
Ilustración 22 Puerta aluminio y Vidrio 4/16/4	42
Ilustración 23 Figura en DRYWALL	43
Ilustración 24 Sistema DRYWALL	45
Ilustración 25 Cubierta liviana DRYWALL	46
Ilustración 26 Casa con estructura en acero	47
Ilustración 27 Casa con estructura de madera	49
Ilustración 28 Posición del sol en el solsticio de invierno	51
Ilustración 29 Ganancia de calor solar	52
Ilustración 30 Emplazamiento básico del proyecto	55
Ilustración 31 Aprovechamiento de la Luz Solar en Edificios	56
Ilustración 32 Temperaturas en verano	62
Ilustración 33 Intercambiador calor aire-aire	63
Ilustración 34 Altitud y acimut solar	64
Ilustración 35 Apantallamiento solar	65
Ilustración 36 Conducto Solar	66
Ilustración 37 Claraboyas	67
Ilustración 38 Emplazamiento General del terreno	69
Ilustración 39 Situación Geográfica de Cali	70
Ilustración 40 Régimen de vientos en Cali. El punto rojo es el sector del emplazamiento	72

Ilustración 41 Flujo de Energía por el Sistema Terrestre	74
Ilustración 42 El Espectro Solar	75
Ilustración 43 Variación de la Intensidad Solar	76
Ilustración 44 Irradiación Solar media anual	77
Ilustración 45 Análisis de la energía eólica	78
Ilustración 46 Estructura urbana del sector	79
Ilustración 47 Morfología de los árboles	80
Ilustración 48 Fuentes de agua y Paisaje	81
Ilustración 49 Planta OFICINA	83
Ilustración 50 Planta TALLER	84
Ilustración 51 Planta BODEGA y LABORATORIO	85
Ilustración 52 Zonas Sociales de la VIVIENDA	86
Ilustración 53 Zonas privadas de la Vivienda	87
Ilustración 54 Fachada principal	90
Ilustración 55 Fachada OESTE	90
Ilustración 56 Fachada SUR	90
Ilustración 57 Cubiertas	91
Ilustración 58 OFICINA, Render Térmico	93
Ilustración 59 TALLER, Render Térmico	93
Ilustración 60 VIVIENDA. Render Térmico	93
Ilustración 61 Mejoras a la insolación de la OFICINA	95
Ilustración 62 CLD OFICINA	97
Ilustración 63 Sol sobre fachada 21 dic 10:00 am a 4:00 pm	97
Ilustración 64 CLD TALLER	98
Ilustración 65 Celosías sobre ventanas LABORATORIO	99
Ilustración 66 CLD VIVIENDA	100
Ilustración 67 Apantallamiento VIVIENDA	101
Ilustración 68 Render Luz Día Vivienda	101
Ilustración 69 Iluminación LED OFICINA	102
Ilustración 70 Detalle LEDS en la grada	103
Ilustración 71 Iluminación LED del TALLER	103
Ilustración 72 Iluminación LED VIVIENDA	104
Ilustración 73 Detalle iluminación ESTADERO	104
Ilustración 74 Arborización propuesta	105
Ilustración 75 Gráfico de los parámetros del Reservorio	106
Ilustración 76 Lámpara industrial de Ozono	109
Ilustración 77 Tanque reciclado aguas grises	110
Ilustración 78 Efectividad de los tratamientos biológicos de aguas servidas	117
Ilustración 79 Inversores EQX	122
Ilustración 80 Batería 12V 150 AH	122
Ilustración 81 Absorción por la atmósfera de la radiación terrestre emitida	124
Ilustración 82 Prueba en laboratorio de enfriamiento con Butano	125
Ilustración 83 Equipo Enfriamiento radiativo nocturno	126

Ilustración 84 Refrigeración por compresión	127
Ilustración 85 Celdas termoeléctricas PELTIER	128
Ilustración 86 Esquema máquina de absorción	129
Ilustración 87 Nevera convencional 215 Litros	130
Ilustración 88 Cocina solar directa	131
Ilustración 89 Estufa de diseño eficiente	132
Ilustración 90 Tanque almacenador térmico aceite-ACS	133
Ilustración 91 Colector Parabólico seguidor solar	134

8.4 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción Mundial de Energéticos Primarios	9
Tabla 2 Uso final de la energía, por sector Global	11
Tabla 3 Consumo medio diario de calorías por persona	11
Tabla 4 Conductancia de diferentes superficies	53
Tabla 5 Coeficientes de absorción y emisión	54
Tabla 6 Exigencias de Ventilación	61
Tabla 7 Resumen principales parámetros climáticos de Cali	73
Tabla 8 Radiación Solar en Wh/(dia-m ²) sobre Cali	77
Tabla 9 Resumen de espacios	89
Tabla 10 Materiales del modelo térmico	94
Tabla 11 Calculo de Ventilación Natural	96
Tabla 12 Reservorio de agua lluvia	106
Tabla 13 Eficiencia de remoción lograda con el tratamiento	114
Tabla 14 Requerimientos energía eléctrica OFICINA	118
Tabla 15 Requerimientos Energía Eléctrica TALLER	119
Tabla 16 Energía Eléctrica para la VIVIENDA	119
Tabla 17 Potencia y Energías demandadas	120
Tabla 18 Cuentas de la Energía fotovoltaica y consumos en Wh/día	120
Tabla 19 Análisis de costos iniciales del proyecto (USD\$)	136
Tabla 20 Costos de Operación Y Mtto. Mensual (USD\$)	136

-- ;) --