

**MATERIALES Y PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**CAROLINA URIBE VÉLEZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**MEDELLÍN – ANTIOQUIA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**2012**

**MATERIALES Y PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**CAROLINA URIBE VÉLEZ**

**PROYECTO PARA RECIBIR EL TÍTULO DE PREGRADO**

**ASESOR:**

**ARQUITECTO LUIS FERNANDO BOTERO**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**MEDELLÍN – ANTIOQUIA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **DEDICATORIA**

A mi madre por todos estos años de acompañamiento, apoyo moral y económico durante mis estudios universitarios.

A mis profesores que me brindaron todos los conocimientos y herramientas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Luis Fernando Botero quien me acompañó y asesoró durante el desarrollo de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>18</b>
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>19</b>
<b>4 DESARROLLO SOSTENIBLE</b> .....	<b>20</b>
4.1 <i>HISTORIA</i> .....	20
4.2 <i>DEFINICIÓN</i> .....	21
4.3 <i>EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA</i> .....	22
<b>5 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE</b> .....	<b>24</b>
5.1 <i>BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCION SOSTENIBLE</i> .....	26
<b>6 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONALES</b> .....	<b>31</b>
6.1. <i>CONCRETO</i> .....	31
6.1.2 <i>Cemento</i> .....	33
6.1.3 <i>Agregados</i> .....	33
6.2 <i>ACERO</i> .....	34
6.3 <i>LADRILLO DE ARCILLA</i> .....	35
<b>7 MATERIALES SOSTENIBLES</b> .....	<b>37</b>
7.1 <i>MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DE UNA EDIFICACIÓN</i> .....	38
7.1.1 <i>Construcciones en tierra</i> .....	38
7.1.3 <i>Concreto verde</i> .....	53
7.1.4 <i>Guadua</i> .....	57

7.2 MATERIALES PARA ACABADOS, RECUBRIMIENTOS E INSTALACIONES .....	59
7.2.1 Pinturas, adhesivos y solventes .....	59
7.2.3 WPC (Wood plastic composite).....	60
7.2.4 Techos fríos o reflectivos.....	61
7.2.5 Cubiertas verdes. ....	64
7.2.6 Muros verdes.....	67
7.2.7 Pavimentos y superficies drenantes. ....	69
7.2.7.1 Pavimentos permeables. ....	71
<b>8 ESTRATEGIAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....</b>	<b>75</b>
8.1 PLANEACION URBANA SOSTENIBLE .....	75
8.2 DISEÑO BIOCLIMÁTICO .....	78
8.3 MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS.....	80
8.3.1 Residuos sólidos urbanos .....	81
8.3.2 Residuos de construcción y demolición.....	83
8.4 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA .....	84
8.4.1 Recolección de aguas lluvias .....	84
8.4.2 Equipos eficientes .....	87
8.4.3 Casos de éxito.....	89
<i>Fuente: Construdata</i> .....	90
8.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA. ....	91
8.5.1 Aislamiento térmico. ....	92
8.5.2 Estrategias de climatización eficientes.....	93
8.5.3 Iluminación. ....	94
8.5.4 Energía solar .....	97
<b>9 CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>

**10 RECOMENDACIONES.....101**

**11 BIBLIOGRAFIA .....1022**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generación de emisiones y consumo de energía en diversas partes del ciclo de vida de una losa de concreto reforzado.....	32
Tabla 2. Dosificaciones para la producción de diferentes materiales de construcción por Ecoingeniería S.A.S.....	55
Tabla 3. Comparativo entre los diferentes tipos de bombillas.....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Restaurante Andrés carne de res, Chía, Cundinamarca.....	40
Figura 2. Curva granulométrica recomendada para la producción de BTC.....	41
Figura 3. Prensa manual.....	42
Figura 4. Prensa motorizada.....	42
Figura 5. Prensa ponedora de bloque.....	43
Figura 6. Capilla de San Bartolomé, Rincón, California.....	45
Figura 7. Trabajo australiano moderno de formaletería para el sistema de tapia...45	
Figura 8. Ladrillos PET.....	48
Figura 9. Ladrillos que contienen ceniza de carbón, escoria siderúrgica, escoria de cobre.....	52
Figura 10. Ladrillos con en base escoria de cobre, ceniza de carbón, residuos de porcelana eléctrica.....	52
Figura 11. Casa modelo Urbanización Casa Grande, Constructora Prethely González. Utilización de eco-bloques, eco-morteros, eco-grouting y eco-concretos para estructura y losas de cimentación. 2002.....	53

Figura 12. Vaciado de un pavimento rígido, municipio Vijes, Valle del Cauca.....	54
Figura 13. Proceso de producción del cemento verde.....	56
Figura 14. Pabellón Zeri, Manizales, Colombia.....	58
Figura 15. Viviendas fabricadas con el sistema WPC.....	61
Figura 16. Centro técnico para clientes 3M, Bogotá, Colombia.....	64
Figura 17. Cubierta del edificio Novartis, Bogotá.....	66
Figura 18. Muro verde estación del metro, Sabaneta.....	68
Figura 19. Muro verde en construcción en Budapest, Hungría.....	68
Figura 20. Esquema de los porcentajes de infiltración en diferentes escenarios...	70
Figura 21. Pavimento permeable en hormigón.....	72
Figura 22. Estructura de un pavimento permeable en adoquines.....	73
Figura 23. Estructuras subsuperficiales en prolipropileno para la conducción de agua.....	74
Figura 24. Proceso constructivo zona de parque permeable, La Coruña, España.....	74

Figura 25. Barrio Hammarby Sjöstad, Estocolmo, Suecia.....	77
Figura 26. Esquema del flujo de vientos a través del edificio de ciencia y tecnología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.....	80
Figura 27. Receptores para la recolección de residuos Wembley City, Londres...	82
Figura 28. Sistema de ductos para la clasificación de residuos, Wembley City, Londres.....	82
Figura 29. Camión de la empresa SINESCO en maniobra de descargue del contenedor.....	84
Figura 30. Esquema básico para la recolección de aguas lluvias:.....	85
Figura 31. Modulo W+W (washbasin + water closet) del fabricante Roca.....	88
Figura 32. Eco-baño por el diseñador Jang Woo-seok.....	88
Figura 33. Edificio dirección general Bancolombia, Medellín.....	90
Figura 34. Edificio sede farmacéutica Novartis, Bogotá.....	90
Figura 35. Consumo energético en edificaciones residenciales en Estados Unidos.....	91
Figura 36. Esquema de una fachada transventilada.....	94

Figura 37. Ejemplo de la utilización de SunOptics en las Tiendas Wal-Mart en Estados Unidos.....95

Figura 38. Paneles solares para el calentamiento de agua en el Fuerte de carabineros del parque Arví, Santa Helena.....97

Figura 39. Sistema Fotovoltáico del Jardín Botánico, Medellín.....98

## GLOSARIO

**Energía incorporada:** es una medida aproximada de la energía por unidad de masa requerida para la fabricación de un producto. Esto incluye la energía requerida durante la recolección de la materia prima y la producción pero no el gasto asociado con la instalación del producto o la energía requerida para construir la fábrica, transportar el producto y transportar los trabajadores al lugar de la construcción de la misma.

**Fly ash:** aditivo mineral utilizado para el incremento de la impermeabilidad, resistencia química, mecánica y cohesividad del concreto y mortero. Es la ceniza fina obtenida de la combustión del carbón en las plantas de generación eléctrica, la ceniza gruesa se conoce con el nombre de "Bottom ash".

**Ozono troposférico:** es un contaminante secundario que se produce a partir de otros contaminantes emitidos por los automóviles o la industria y puede causar problemas de salud a las personas, afectar edificaciones, bosques y cultivos.

**Valor R:** es una medida de la resistencia térmica usada en la industria de la construcción. Se expresa como el cociente del grosor del material y su conductividad térmica. En casi todo el mundo, estos valores se expresan en unidades del sistema internacional como  $m^2 \cdot K/W$  y se usa generalmente para medir los materiales usados como aislantes térmicos en las edificaciones, así como para comprobar como soportan el flujo del frío o calor a través de ellos. Mientras el valor sea más alto, indica una mayor capacidad como aislante térmico.

## INTRODUCCIÓN

El creciente interés en el mundo por desarrollar proyectos sostenibles, nace como respuesta a fenómenos que amenazan la calidad de vida de las especies en el planeta, como lo es el cambio climático, al cual la industria de la construcción contribuye enormemente, siendo el causante de un alto porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial. En la actualidad, los países con mayores emisiones son: Japón, Estados Unidos, Canadá y los países ubicados en Europa del Este, pero en un corto periodo de tiempo y debido a su crecimiento proyectado, países como India, China, Brasil y Rusia, se unirán al grupo de mayores emisores, lo que hace necesario crear una conciencia a nivel mundial, para reducir nuestra huella de carbono, que no es más que una forma de cuantificar el impacto ambiental de las actividades humanas, en términos de la cantidad de gases de efecto invernadero producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono.

Estados Unidos, Canadá y varios países Europeos, han estado trabajando en el desarrollo de materiales y prácticas para la construcción sostenible, no solo porque es una forma responsable de soportar el desarrollo de sus países, sino porque son conscientes de que en el futuro, el mundo entero estará comprando toda clase de tecnologías que reduzcan las emisiones de dióxido de carbono.

En el presente trabajo se pretende dar a conocer al lector, las técnicas y materiales de construcción sostenibles mas usadas en la actualidad en todo el mundo, como se aplican y los beneficios que traen para el medio ambiente y las personas. Estas técnicas y materiales serán clasificados en diferentes categorías, como materiales para la estructura de la edificación, recubrimientos y estrategias que optimizan la utilización de los recursos naturales durante la operación de los proyectos. También es importante identificar los impactos negativos de la producción de los materiales de construcción tradicionales que mas se usan en un

país como Colombia. El desarrollo de los temas del presente proyecto, se apoyará en ejemplos de aplicación en Colombia o en el mundo para facilitar su comprensión y dar a conocer los beneficios que se logran con cada uno, con la idea de llevar al lector a entender que se debe hacer de la construcción una actividad menos perjudicial tanto para el medio ambiente como para el usuario final del producto.

## **1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una recopilación de información sobre los nuevos desarrollos en procesos constructivos y materiales usados para construir edificaciones sostenibles.

## **2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dar a conocer los posibles beneficios que se obtienen como resultado de la implementación de los materiales y prácticas de construcción sostenible.

Dar a conocer las consecuencias para el medio ambiente que genera el uso y la producción de los materiales de construcción tradicionales.

### 3 JUSTIFICACIÓN

Las consecuencias de varios cientos de años de abuso desmedido de los recursos naturales, han llevado al hombre a desarrollar estrategias para mitigar el impacto ecológico que actividades como la industria, la agricultura y la construcción tienen sobre el medio ambiente y lo ha hecho consciente de que es necesario tomar medidas inmediatas para preservar el planeta y todos sus recursos para las generaciones futuras.

Es por esto que la industria de la construcción, que es una de las mayores contaminantes y demandantes de recursos como agua y energía, esta desarrollando estrategias de construcción mas limpias y eficientes en términos del aprovechamiento de los recursos naturales y se han creado organizaciones como el Green Building Council en Estados Unidos, BRE en el Reino Unido o el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible en Colombia, que buscan una integración energética y medioambiental de la construcción implementando técnicas como la orientación de las ventanas, el uso de materiales de construcción ecológicos, artefactos eléctricos y de iluminación que contribuyen al ahorro de energía y a la reducción de la contaminación.

En este proyecto se quiere resaltar la importancia que tiene la implementación de prácticas y materiales de construcción sostenible en la carrera por la preservación del medio ambiente y como estos contribuyen a hacer de los edificios, lugares que garanticen la buena salud y la comodidad de los habitantes.

## 4 DESARROLLO SOSTENIBLE

### 4.1 HISTORIA

A finales de los años 70, se produce una crisis mundial cuya principal causa, es el alza significativa de los precios del petróleo. Esta crisis cambia la política económica de los países desarrollados, quienes dedican la mayor parte de sus recursos a mejorar la productividad de las empresas, pues de esta manera podrían crear más empleo y generar riqueza para todos los sectores de la sociedad. Debido a esto, empieza una carrera de explotación descontrolada de los recursos naturales, pues se debía satisfacer las necesidades de una industria cada más sedienta de materias primas, para suplir las demandas de la producción de bienes y servicios de todo tipo.

Esta situación dispara las alarmas ambientales a nivel mundial y es en la década de los 70, cuando se empieza a debatir sobre las problemáticas ecológicas, qué ha creado tan desmesurado crecimiento industrial. Se plantea la idea de que el desarrollo económico, debe ir de la mano con buenas prácticas ambientales y se comienzan a tratar las cuestiones ambientales internacionales en cumbres como la de Estocolmo en 1972.

A finales de la década de los 80, se reúne por primera vez la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conformada por representantes de varios países del mundo y convocada por la ONU, con el fin de discutir maneras para llegar a la construcción de un futuro más prospero y seguro para la humanidad. En el año 1987, la comisión publica un informe denominado “Nuestro futuro común”, en cual se plantea que es necesario un adecuado uso de los recursos naturales para garantizar la subsistencia de las generaciones futuras y es así, como nace el concepto de desarrollo sostenible.

## 4.2 DEFINICIÓN

El concepto desarrollo sostenible, contrario a lo que generalmente se cree, no está relacionado únicamente con la protección de la naturaleza, sino que pretende involucrar tres componentes fundamentales de todo asentamiento humano, para hacerlas interactuar entre sí, obligando a todo proyecto de desarrollo, a darle especial cuidado a cada una de ellas, tomándolas como un conjunto integral. Estas componentes son:

*Desarrollo económico:* No se refiere únicamente al aumento de indicadores como el ingreso per cápita o el producto interno bruto de un país. Está directamente relacionado con un estudio del potencial de cada asentamiento humano, ya sea urbano o rural, para determinar que actividad económica pueden desarrollar con mayor facilidad, de acuerdo a la disponibilidad de recursos en el territorio, al nivel educativo de los habitantes, infraestructura existente, etc. Con esto se busca crear una conciencia para el desarrollo de las ciudades y obligarlas a crecer de acuerdo con sus capacidades, para evitar así, la construcción de infraestructura innecesaria, sacar el mayor provecho de la infraestructura ya existente, evitar el consumo innecesario de combustibles fósiles para el sostenimiento de la ciudad y aprovechar al máximo el recurso humano, al igual que todos los recursos y materias primas con que se cuente en el territorio en cuestión.

*Componente social:* En el modelo de desarrollo sostenible, se busca que cada proyecto sea pensado para generar bienestar a las personas, ya sea a los habitantes de una ciudad, si lo miramos desde el punto de vista de proyectos de desarrollo urbano o a los habitantes de cualquier edificación si se mira desde el punto de vista de un proyecto individual, como es el caso de un edificio de viviendas u oficinas. Se pretende que cada proyecto estudie cuidadosamente las necesidades particulares de las personas del entorno y se desarrolle de manera

tal, que mejore la calidad de vida de las mismas, mediante el ofrecimiento de facilidades de transporte, lugares de recreación y esparcimiento, monitoreo de la calidad del aire y las temperaturas para garantizar la buena salud y el confort, etc.

*Componente medioambiental:* Se refiere tanto al medio ambiente natural como el artificial. Busca proteger y garantizar el buen uso de los recursos naturales como agua, aire, suelo, flora y fauna mediante el control de la explotación de los mismos, estrategias de conservación y mitigación de impactos ambientales, planes de manejo ambiental, etc. En cuanto al medio ambiente artificial, se busca la conservación del patrimonio arquitectónico de las ciudades, garantizar calidad de espacio público y buena movilidad, así como buena calidad del aire de las ciudades y niveles de ruido que no sacrifiquen la salud y comodidad de los habitantes.

### **4.3 EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA**

A partir de los avances de las Naciones Unidas y sus intentos por integrar el aspecto medioambiental como pilar fundamental del desarrollo de los países, se crea una red de desarrollo sostenible (RDS) a nivel mundial y es en 1997 cuando Colombia constituye su propia RDS. Esta red esta constituida por entes gubernamentales y no gubernamentales, académicos y de investigación, periodistas, entre otros, que buscan difundir, defender, informar y promover la aplicación de los principios de desarrollo sostenible propuestos por las naciones unidas en la cumbre de la tierra, realizada en Rio de Janeiro en 1992.

Además de la creación de RDS, en Colombia se crearon normatividades para fomentar el desarrollo sostenible como el decreto ley 2811 de 1974 por el cual se dicta el código nacional de los recursos naturales renovables y protección del medio ambiente, la ley 99 de 1993 con la cual se creo el SINA (Sistema Nacional Ambiental) y el ministerio de medio ambiente como ente regulador.

En la actualidad, el gobierno Colombiano sigue trabajando en la creación de propuestas que contribuyan al desarrollo sostenible, como lo fue la presentada en conjunto con el gobierno de Guatemala en la conferencia de la Naciones Unidas para el desarrollo sostenible Rio+20, que se celebró en Junio del presente año. La propuesta estaba orientada a definir objetivos de desarrollo sostenible (ODS), incluyendo temas críticos como la lucha contra la pobreza, la modificación de los patrones de consumo, el fomento de desarrollo sostenible en los asentamiento urbanos, diversidad biológica y bosque, océanos, recursos hídricos, mejoras en la seguridad alimentaria y energía incluyendo fuentes renovables

## 5 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Mientras la construcción tradicional está guiada por la idea única de generar beneficios económicos a corto plazo, sin considerar factores importantes como el medio ambiente y la sociedad, la construcción sostenible se enfoca en generar estrategias a largo plazo que garanticen rentabilidad, calidad y eficiencia de los proyectos. En cada etapa del ciclo de vida del proyecto, se incrementa el confort y la calidad de vida de sus habitantes, mientras se disminuye los impactos negativos que tienen las construcciones sobre el medio ambiente.

La construcción sostenible es un proceso por medio del cual, se hace una planeación detallada de todos los aspectos y etapas de la construcción de cualquier edificación, para crear un producto final que sea eficiente, rentable y respetuoso con el medio ambiente.

Este proceso implica la utilización de materiales reciclados y reciclables, materias primas desarrolladas y cultivadas en un ambiente controlado y la minimización del desperdicio durante todo el proceso constructivo, así como la buena utilización de los recursos (agua y energía) tanto durante la construcción como durante la vida útil de la edificación.

Para lograr que una edificación sea sostenible se debe trabajar bajo los siguientes criterios:

- Estudio previo de las condiciones del lugar de construcción: Realizar estudios geobiológicos y fomentar prácticas para la conservación de las áreas naturales y biodiversidad.

- Selección adecuada del lugar de construcción: Se debe construir en lugares con infraestructura urbana existente y con facilidad de acceso a transporte público para disminuir el consumo de combustibles fósiles.
- Selección cuidadosa de los materiales de construcción: Potenciar la reutilización de los residuos, uso eficaz de los recursos no renovables y uso preferible de materiales procedentes de recursos renovables, utilización de materiales con bajas emisiones tóxicas.
- Promover la eficiencia en el uso del recurso agua mediante el uso de equipos ahorradores, recolección y uso de aguas lluvias, tratamiento y reciclaje de aguas grises y estrategias de control para las aguas de escorrentía.
- Reducir el consumo de energía, al menos en un 20% comparado con una edificación tradicional mediante la implementación de energías alternativas para abastecer sectores del proyecto, uso de equipos eficientes y sistemas de automatización.
- Promover la ventilación natural de los espacios, mediante estrategias de diseño arquitectónico mientras sea posible, de lo contrario, usar aires acondicionados con refrigerantes ecológicos que no dañan la capa de ozono ni contribuyen al fenómeno de calentamiento global.
- Controlar la generación de residuos: Implementar la separación de los residuos durante todo el desarrollo de la obra y fomentar la reutilización de los materiales.
- Creación de una atmosfera interior saludable: Garantizar la calidad del aire controlando los elementos contaminantes, proveer iluminación natural en lugar de artificial en las áreas que sea posible, planear eficientes condiciones de transporte y seguridad para el bienestar de las personas.
- Eficiencia de la edificación: Aumentar la calidad del producto final mientras se garantiza la reducción de los costos de mantenimiento durante la vida útil de la edificación.

En el mundo se han desarrollado diversas normatividades para la construcción sostenible que rigen el desarrollo de proyectos, las cuales son expedidas por los gobiernos de los países y proporcionan directrices sobre los desarrollos constructivos enfocados a la sostenibilidad. Además, existen organizaciones como el Green Building Council (USGBC) de Estados Unidos o el Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido, que han desarrollado sistemas para calificar el nivel de las edificaciones sostenibles, los cuales son LEED y BREEM respectivamente. Estos sistemas pretenden evaluar los proyectos en todo su ciclo de vida, es decir, desde su concepción hasta su operación, tomando criterios como consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, calidad del aire, contenidos de compuestos orgánicos volátiles, etc., para determinar el desempeño de los mismos en términos de sostenibilidad. Estos sistemas se han vuelto muy populares a lo largo de los años y su uso en los proyectos se convierte en un garante de la implementación de los criterios de construcción sostenible antes descritos.

## **5.1 BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCION SOSTENIBLE**

Esta nueva forma de construir que apenas empieza a dar de que hablar en Colombia, pero que se viene desarrollando desde hace años en varios países del mundo, tiene beneficios enormes para las personas, el medio ambiente y contrario a lo que se cree, también produce beneficios económicos para los que desarrollan y habitan proyectos de construcción sostenible.

En el ámbito medioambiental, la construcción sostenible contribuye enormemente en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, pues propone y promueve el uso de energías limpias como lo son la energía solar y eólica, además aplica estrategias orientadas a la disminución del uso de combustibles fósiles durante la cadena de producción de los diferentes materiales de construcción y durante la operación de

las edificaciones que se construyen siguiendo los lineamientos de la construcción sostenible. En cuanto al recurso agua, que es vital para la subsistencia del hombre en la tierra, este nuevo modelo de construcción propone su conservación y preservación mediante sistemas eficientes, de reciclaje aguas y recolección de aguas lluvias para así disminuir el consumo de agua potable en actividades en las que no se requiere agua tratada y minimizar la cantidad de agua que se consume normalmente para uso doméstico, empresarial e institucional. También se busca proteger las fuentes y cuerpos de agua de la contaminación a causa de las sustancias nocivas que puede cargar consigo las aguas de escorrentía, por lo que se trabaja para recolectar las aguas lluvias provenientes de techos y se utilizan materiales permeables en pisos a la intemperie y pavimentos que faciliten la infiltración, lo que reduce también las probabilidad de inundaciones.

Dentro de los muchos beneficios para el medio ambiente, también se encuentra las disminución en la producción de residuos pues se practica ampliamente la reutilización de materiales en todos los procesos constructivos y la regulación del efecto isla de calor, que se presenta en las ciudades y las hace 3 grados centígrados en promedio, más calientes que las zonas rurales.

En cuanto a los beneficios para las personas, la construcción “verde” equivale a bienestar, salud y aumento en la productividad para los habitantes de las edificaciones. Se ha demostrado con numerosos estudios que en los edificios verdes, como hospitales, colegios y oficinas, factores como la cantidad de luz natural, la vista de la naturaleza en el exterior, mejor calidad de aire y acústica, están directamente relacionados con el mejoramiento de la salud y la productividad, incluyendo una curación más rápida para las personas en los hospitales, mejores resultados en los exámenes en los colegios, mayor productividad en las oficinas y en general menores niveles de stress.

En la actualidad, los nuevos sistemas constructivos están enfocados a garantizar la presencia de un aire más limpio en interiores, pues está comprobado que la mayoría de las personas pasan gran parte del tiempo en sus casas y lugares de trabajo, es por esto que se han realizado estudios que culpan a la calidad del aire de causar diferentes enfermedades respiratorias. Uno de los más comunes contaminantes del aire es el moho, pues puede crecer en muchos de los materiales de construcción como el drywall, concreto, tapetes y muebles. Las esporas del moho viajan en el aire y pueden reproducirse con facilidad. El moho puede causar varios efectos en la salud humana dependiendo de sus concentraciones, como alergias, asma, dificultad para respirar y molestias menores como ojos irritados y nariz congestionada. Para prevenir estos problemas se desarrollaron materiales de construcción resistentes al moho, como drywall sin contenidos de papel, alfombras, pinturas y concreto tratados químicamente.

Otro factor importante para garantizar el confort de los ocupantes de una edificación, es el control de la temperatura de la misma, esto debido a que el cuerpo humano trabaja constantemente para mantener su temperatura interna de 37°C. A bajas temperaturas, los vasos sanguíneos de la piel se contraen, convirtiendo a la piel en una capa de aislamiento térmico mientras que a altas temperaturas los vasos sanguíneos se dilatan para disipar el calor del cuerpo y las glándulas sudoríparas liberan sudor para enfriar la piel por medio de la evaporación del mismo. Es por esto que es tan importante tener una temperatura dentro de las edificaciones que evite que el cuerpo tenga que realizar estas acciones extremas. Generalmente es a una temperatura de entre 21 y 26°C.

Además de la temperatura, se debe encontrar un balance en la humedad, pues el aire muy seco puede causar que nuestras membranas mucosas se sequen, haciéndonos más propensos a contraer enfermedades respiratorias y mucha humedad puede hacernos sudar en exceso. La humedad ideal está en el rango de 30 al 60%. Para lograr controlar estos factores se puede hacer uso de técnicas como techos reflectivos, ventanas energéticamente eficientes, sistemas de aire

acondicionado eficientes, entre otras estrategias, en las cuales se entrará en detalle más adelante en el presente estudio.

La iluminación natural, también es otro factor que influye en el comportamiento del ser humano y un adecuado manejo de esta puede traducirse incluso en beneficios económicos para empresas, como es el caso de la gran cadena de supermercados Wal-Mart, que ha incorporado el uso de la iluminación natural en sus tiendas basados en estudios que indican que la iluminación natural incide positivamente en los clientes y por ende se produce un incremento en las ventas (Means, 2006). La calidad de la luz en cualquier espacio puede mejorar el estado de ánimo, energía y efectividad de sus habitantes. La luz también afecta el ritmo del reloj biológico de las personas que es un factor muy importante para mantener ciclos de sueño saludables.

En cuanto a los beneficios económicos que se obtienen, se sabe que los edificios diseñados bajo los conceptos de arquitectura verde y construcción sostenible tienen un valor agregado en el mercado, debido a que para su construcción se usaron técnicas y diseños innovadores. Además se cuenta con el beneficio del ahorro de la electricidad y agua que hace de estas propiedades una opción muy atractiva para posibles compradores y arrendatarios.

Una empresa que construye edificios verdes también goza de grandes beneficios, pues esto es una publicidad altamente positiva debido a que demuestra que la empresa se esfuerza por crear productos diferentes que ayudan al medio ambiente y propician el bienestar de las personas.

En el mundo se aplican una serie de incentivos para la construcción sostenible, entre los cuales se incluyen la concesión de mayores índices de densidad para los proyectos, aceleración en el proceso de trámite para las licencias de construcción, exención en impuestos para la construcción y la adquisición de materiales certificados, incentivos financieros, ayudas económicas para la remodelación de edificación existentes siguiendo los parámetros de construcción sostenible,

asistencia técnica por parte del gobierno, entre otros. En Colombia, de acuerdo con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, aún no se tienen este tipo de incentivos pero se está trabajando de la mano con el gobierno nacional para formular una política que impulse aún más la construcción sostenible en el país.

## **6 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONALES**

Los materiales de construcción son aquellos elementos que han sido utilizados por el hombre para mejorar sus condiciones de vida en la tierra y garantizar su supervivencia, pues lo mantienen protegido de agentes externos como el clima. A lo largo de la historia, el hombre a usado todo tipo de materiales, desde aquellos que se encuentran en la naturaleza y no necesitan ninguna transformación como la roca y la paja, hasta aquellos que requieren procesos industriales que trasforman materias primas en materiales de construcción para suplir diversas necesidades tales como el cemento, el ladrillo y el acero.

Para la presente investigación de nuevas prácticas y materiales de construcción sostenible, se hace necesario el estudio de los materiales que se usan tradicionalmente en nuestro medio, como el concreto, ladrillo y acero, para evaluar los impactos que estos tienen en el medio ambiente durante su fabricación, vida útil y disposición final. Para este análisis se recurre a una técnica denominada análisis del ciclo de vida (ACV), que consiste en estudio detallado en orden cronológico de los impactos ambientales asociados a cualquier producto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

### **6.1. CONCRETO**

El concreto es una mezcla de cemento, arena, grava y agua que fragua en contacto con el aire y alcanza grandes resistencias a la compresión. Este material es altamente utilizado en la construcción por su durabilidad y facilidad de ser moldeado para producir edificaciones de diversas formas y tamaños. Los impactos ambientales ocasionados por la producción del concreto están asociados directamente a la cantidad de energía consumida y emisiones durante los

procesos de fabricación de los materiales como el cemento y la trituración de los agregados, el transporte de los materiales hasta el sitio de mezcla y el uso de materias primas.

A continuación, se hará un análisis de cada uno de los componentes del concreto para determinar su participación en el consumo de energía y emisiones del producto final.

Tabla 1. Generación de emisiones y consumo de energía en diversas partes del ciclo de vida de una losa de concreto reforzado.

	<b>Combustibles fósiles y electricidad</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b>	<b>Emisiones de NO<sub>x</sub></b>	<b>Emisiones de metales pesados</b>
<b>Cemento</b>	63%	79%	69%	88%
<b>Agregados</b>	3%	1%	1%	1%
<b>Acero</b>	9%	4%	3%	-
<b>Transporte de materias primas</b>	4%	3%	8%	<1%
<b>Producción de concreto</b>	15%	8%	5%	10%
<b>Transporte del producto final</b>	6%	5%	14%	<1%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%

Fuente: Cargas medioambientales de la producción concreto y productos de cemento, Vares, Häkkinen

**6.1.2 Cemento.** El cemento portland es uno de los materiales fabricados por el hombre que más se consumen en el mundo, especialmente en los países subdesarrollados, en los que su consumo se ha disparado enormemente en los últimos años. La producción de cemento para el año 2011 fue de 3.6 billones de toneladas de acuerdo a la asociación de cemento europea y se espera que esta cifra aumente considerablemente para el año 2012.

Durante el proceso de fabricación del cemento se consumen gran cantidad de combustibles fósiles, debido a las altas temperaturas que deben alcanzarse en los hornos para su producción y para la descomposición del carbonato cálcico. Es por esto, que el cemento es el responsable de aproximadamente el 60% de las emisiones y la energía usada para la fabricación del concreto como se muestra en la tabla 1. Este porcentaje varía dependiendo del contenido de cemento del concreto, el cual depende de la resistencia que se desee alcanzar y del tipo de estructura que se quiera construir.

**6.1.3 Agregados.** Los agregados representan un 80% de la mezcla del concreto aproximadamente pero en términos de consumo de energía y emisiones aportan apenas alrededor de un 3%. Las causas principales de impacto ambiental en el proceso de producción de los agregados, son el uso de terrenos para la extracción de los mismos (canteras), el transporte de los materiales al sitio de mezcla y los procesos de trituración, durante los cuales se consume energía para la operación de las maquinarias dependiendo del tamaño de agregado que se quiera lograr y se emiten contaminantes en forma de polvo al aire.

## 6.2 ACERO

El acero es otro de los materiales mas usados en la construcción en el mundo por sus bondades en cuanto a tiempo de construcción, facilidad de manejo y su bajo desperdicio. El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro altamente refinado (mas de un 98%) y carbono (alrededor de 0.05% y 2%). El proceso de fabricación del acero se resume básicamente en la extracción de materias primas, procesos de transformación para obtener arrabio, que es el material fundido que se logra mediante la reducción del mineral de hierro, luego este material es refinado, mezclado con chatarra de acero y vaciado en moldes que le dan su forma final.

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la industria siderúrgica responde por un porcentaje entre 3 y 4 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el mundo. En promedio, se emiten 1,7 toneladas de dióxido de carbono por cada tonelada de acero producido. Más del 90% de las emisiones de la industria siderúrgica provienen de la producción de hierro en nueve países o regiones: Brasil, China (50%), Unión Europea, India, Japón, Corea, Rusia, Ucrania y Estados Unidos.

Otro impacto ambiental asociado a la producción de acero, aparte de las emisiones atmosféricas y el consumo de combustibles fósiles, es la contaminación del recurso agua, debido a su amplio uso en los procesos de refrigeración, lo que causa que al momento de su disposición cargue consigo contaminantes como aceites que terminan contaminando los cuerpos de agua.

También es importante resaltar que debido a que se usa chatarra en la producción del acero, que alcanza valores de al menos un 25% de acero reciclado en la producción de acero nuevo, es posible reducir notablemente sus impactos

ambientales y se tienen cifras que indican que por cada tonelada de chatarra usada para la producción de acero, se están conservando 1.13 toneladas de mineral de hierro, 0.64 toneladas de carbón y aproximadamente 55 kilogramos de Cal, además del ahorro de unas 11 millones de BTU (Unidades Británicas de Temperatura) en energía.

### **6.3 LADRILLO DE ARCILLA**

El ladrillo ha sido el material de construcción por excelencia, usado desde hace miles de años por civilizaciones antiguas como Mesopotamia y Palestina. El proceso de fabricación del ladrillo consiste en la extracción de la materia prima (arcilla), luego se somete el material a un tratamiento de trituración y reposo, se extraen cualquier tipo de impurezas que pueda traer el material y se procede a hacer la humectación para facilitar el moldeado de ladrillo. Una vez obtenida la forma deseada, se procede con el proceso de secado mediante aire caliente insuflado a temperaturas entre 70 y 80 °C, para controlar las fisuras y extraer de manera controlada el exceso de humedad, que se incorporo durante el proceso de moldeado. El tratamiento final de los ladrillos, es el proceso de cocción que se realiza en hornos de túnel, donde la temperatura oscila entre los 800 y 1000 °C.

De acuerdo con estudios realizados de análisis del ciclo de vida del ladrillo, se ha determinado que los principales impactos ambientales de este material, se dan durante su producción y están asociados al consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, dióxido de azufre y al consumo de materias primas. Los altos consumos de energéticos, se dan especialmente durante los procesos de secado y cocción. También se generan impactos ambientales durante el transporte y la colocación, asociados principalmente al consumo de combustibles fósiles para su distribución, pero estos no son tan representativos si se compara con el impacto generado

durante la producción. Otros impactos asociados a la producción de ladrillo, son los cambios en el ecosistema que se producen durante el proceso de extracción de las materias primas y que pueden generar cambios en el nivel freático, aumentar los riesgos de inundaciones, desaparición de la fauna y flora, contaminación de aguas superficiales, erosión, generación de material particulado, entre otros.

Las medidas que pueden tomarse para minimizar algunos de los impactos negativos que tiene la producción de ladrillos, es optar por alternativas en los insumos que se usan para generar calor en los hornos en los que generalmente utiliza carbón pulverizado, el cual es altamente contaminante. Esta medida esta siendo aplicada en algunas ladrilleras del país, en las que se usa un 50% de carbón y un 50% de aserrín con lo que se logra la reducción de hasta un 50% de las emisiones de dióxido de carbono y 30% de las de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y óxido de azufre, como es el caso de la ladrillera Los Mochuelos en la ciudad de Bogotá (Periódico ADN, 29/07/12).

## 7 MATERIALES SOSTENIBLES

Desde hace millones de años, el hombre ha utilizado los recursos que tiene a su alcance para construir un refugio que lo proteja del clima y los peligros del mundo exterior, pero con el pasar del tiempo ha tomado conciencia de que está demandando más de la naturaleza de lo que ella puede proveer. Es por esto, que se ha creado una necesidad por encontrar materiales amigables con el medio ambiente, cultivados o producidos de manera controlada, materiales reciclados y reciclables, más durables, seguros y resistentes.

El desarrollo de estos nuevos productos es absolutamente necesario, pues se sabe que las reservas de combustibles fósiles se están agotando, y la capacidad de la tierra de asimilar los tóxicos materiales que se producen ya no está garantizada y más importante aún, estos productos tienen gran cantidad de químicos que están deteriorando la salud y calidad de vida de las personas.

Estos materiales deben ser medidos bajo los siguientes criterios:

- Materiales que garantizan la calidad del aire en interiores, ya que no liberan compuestos orgánicos volátiles o fibras tóxicas que pueden ser cancerígenas para los trabajadores que los fabrican y para los ocupantes de las edificaciones.
- Materiales que garantizan la calidad del aire exterior pues no incrementan la contaminación, no dañan el medio ambiente, no agotan los recursos naturales escasos, no generan sub-productos peligrosos o desperdicios excesivos durante su producción y no perjudican la salud de las personas que extraen los recursos usados durante su fabricación.

- Ayudan a minimizar el uso de energía de las edificaciones previniendo la pérdida o ganancia de calor, reduciendo el consumo de electricidad y simplificando el mantenimiento.
- Tienen un bajo consumo de energía durante su fabricación. Materiales que contienen componentes reciclados pueden cumplir este criterio siempre y cuando no se requiera el uso de gran cantidad de energía durante su producción.
- Son durables, reutilizables, reciclables y/o biodegradables. Aquellos materiales que no necesitaran ser reemplazados rápidamente para convertirse en basura o peor aun, en residuos peligrosos.
- Son obtenidos y producidos localmente para así apoyar la economía de la zona, además reducir los costos de transporte y el consumo de energía asociado a este.

## **7.1 MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DE UNA EDIFICACIÓN**

**7.1.1 Construcciones en tierra.** La tierra ha sido un material de construcción muy usado por la humanidad a lo largo de su historia y aún en la actualidad, un alto porcentaje de la población mundial aún vive en estructuras construidas con tierra. Entre los beneficios de la construcción en tierra, se puede considerar su facilidad constructiva pues no requiere mano de obra altamente calificada, economía pues las materias primas se consiguen en el mismo sitio de la construcción, beneficios bioclimáticos pues es considerada un aislante térmico y acústico de alto desempeño y la producción con muy bajos niveles de consumo de energía, lo que beneficia enormemente al medio ambiente.

A continuación se describen algunas de las técnicas de construcción con tierra más usadas a nivel mundial y que cumplen con todos los principios de la construcción sostenible:

**7.1.1.1 Bloques de tierra comprimida (BTC).** Los bloques de tierra comprimida (BTC) son una variante del tradicional adobe, altamente usado en las construcciones antiguas. El adobe es una mezcla de arcilla, arena y paja, que es moldeada en forma de paralelepípedo y secada al sol. La diferencia entre el adobe y el BTC, radica básicamente en la presión que se le aplica en el proceso de moldeado y que lo hace más resistente a la compresión, la erosión y de cierta manera, menos permeable. Esta técnica de fabricación de mampuestos, está muy lejos de ser un invento reciente, pues se tiene evidencia de que su uso data de finales del siglo 18, pero es solo hasta finales del siglo 19, que empieza a usarse masivamente en todo el mundo con la invención de la máquina CINVA-RAM por parte del ingeniero colombiano Raúl Ramírez, la cual es considerada una de las tecnologías latinoamericanas mas difundidas en el mundo. Desde ese momento, la técnica del bloque de tierra comprimida ha ido evolucionando para mostrar las ventajas económicas y ambientales que tiene en la construcción de edificaciones de diversos tipos.

Esta técnica provee beneficios económicos, sociales y medioambientales pues puede usar en muchos casos el suelo producto de las excavaciones del lugar, ya que casi el 65% del suelo es apto para para la producción de BTC. De esta manera, se evitan emisiones causadas por el transporte de los materiales a los sitios de construcción y como los bloques no necesitan cocción debido a la presión aplicada, se evita el consumo de combustibles fósiles y electricidad que normalmente se usaría en la producción de los ladrillos tradicionales. En cuanto a la salud y el confort humano, estos mampuestos no generan emisiones nocivas, pues están hechos casi en su totalidad con materiales naturales, que además, debido a sus propiedades térmicas, tienen la capacidad de conservar el calor en climas fríos y mantener el ambiente fresco en zonas más calientes.

Figura 1. Restaurante Andrés carne de res, Chía, Cundinamarca.



Fuente: Sitio web de la empresa TierraTEC:

### **Características del suelo**

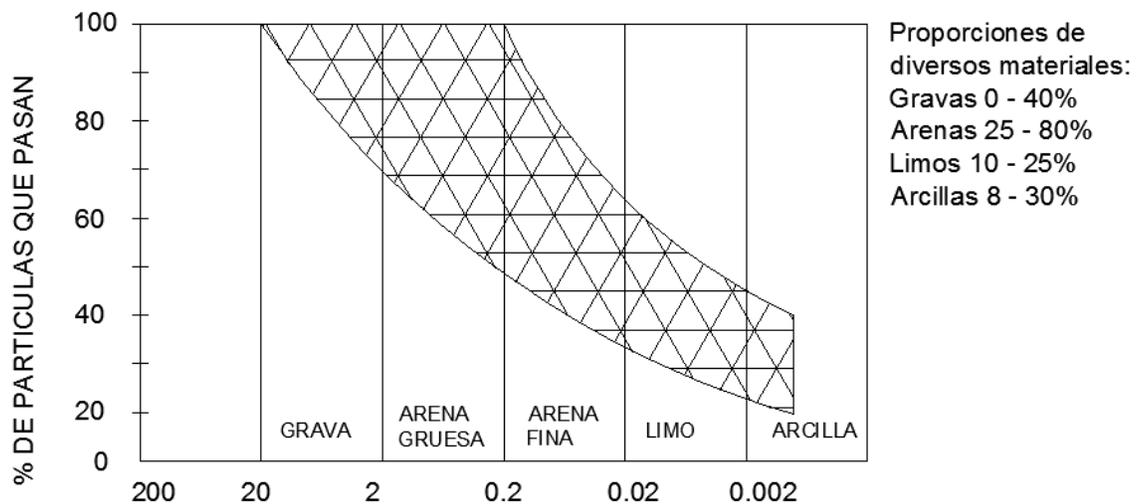
Para la producción de BTC sin estabilizar, se requiere un suelo con un contenido de arcilla de entre 12 y 15%. Suelos más arcillosos pueden usarse, pero se requiere la adición de arena o suelo arenoso para obtener una mezcla óptima con la que se debe tener especial cuidado, pues mucha arcilla hará que el bloque se fisure y mucha arena producirá un efecto de desmoronamiento. Una vez verificadas las condiciones anteriores del suelo a usar en la fabricación de BTCs, se procede a hacer un tamizado del material haciendo que pase por el tamiz de 1/4" a 3/8". Al material crudo puede agregarse un estabilizante como cal o cemento en un porcentaje determinado por el tipo de suelo, si se desean producir bloques de tierra estabilizados.

Para una muestra de suelo determinado, la relación humedad/densidad puede ser fácilmente obtenida por medio de un ensayo Proctor normal. Por medio de este ensayo, se determina un rango de humedad a la cual el suelo puede alcanzar las densidades deseadas, sabiendo que la resistencia a la compresión del bloque depende de estas densidades. La resistencia del suelo a la compresión puede ser

incrementada si se le adicionan estabilizantes como se mencionó anteriormente, aunque esto puede incrementar los costos unitarios de los bloques y también su impacto ambiental.

A continuación se muestra una curva granulométrica donde se especifican los diferentes componentes del suelo (grava, arena, limo y arcilla) recomendados en la producción de bloques de tierra comprimida.

Figura 2. Curva granulométrica recomendada para la producción de BTC.



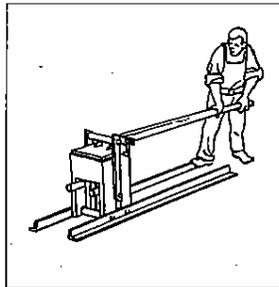
Fuente: Compressed earth block, production equipment. Houben, Rigassi, & Garnier, Página 35, 1994

### Prensas usadas

Las prensas que se usan en la elaboración de los BTC han ido evolucionando desde la invención de la CINVA-RAM y en la actualidad existen de diversos tipos, capaces de imprimir una presión aproximada de 2260 PSI, la cual debe ser ajustada de acuerdo al tipo de suelo que se tiene para garantizar su correcta densificación y resistencia a la compresión.

Prensas manuales: Son prensas operadas manualmente y se encargan únicamente de la compresión de un solo bloque a la vez. La producción de bloque por día se encuentra alrededor de 300 unidades. Entre esta categoría se encuentra la ya mencionada anteriormente CINVA-RAM que se muestra en la figura 3.

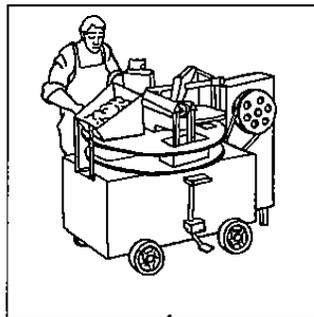
Figura 3. Prensa manual



Fuente: Compressed earth block, production equipment. Houben, Rigassi, & Garnier, Página 52, 1994

Prensas motorizadas: Las prensas de este tipo alcanzan una productividad más alta que las anteriores pues están en capacidad de producir aproximadamente 800 unidades por día.

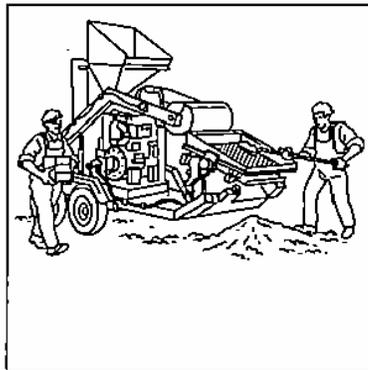
Figura 4. Prensa motorizada



Fuente: Compressed earth block, production equipment. Houben, Rigassi, & Garnier, Página 52, 1994

Maquinas ponedoras de bloque: Estas máquinas hacen el trabajo de comprimir y producir el bloque como las anteriores, pero además pueden cargar material crudo de un lugar a otro y dejar a su paso los bloques en el lugar de la construcción que se necesite, con una capacidad de elaborar 6 ladrillos por vez, los cuales van siendo depositados en la plataforma nivelada a medida que la máquina avanza. Se hacen muy útiles, pues eliminan la labor de transporte del bloque, lo que optimiza los procesos constructivos además de minimizar el riesgo de desperdicios y daños del material.

Figura 5. Prensa ponedora de bloque



Fuente: Compressed earth block, production equipment. Houben, Rigassi, & Garnier, Página 52, 1994

### **Formas producidas**

Se pueden lograr diversas formas y tamaños de bloque que varían sus dimensiones para lograr un peso de entre 6 y 8 Kg por bloque, los cuales permiten la construcción de muros de 15, 30 o 45cm de espesor. Se pueden obtener bloques macizos, aptos para la construcción de muros cargueros y divisorios, bloques perforados que permiten la inclusión del refuerzo para el sistema de

mampostería estructural y bloques machihembrados que no requieren el uso de morteros para su colocación debido a su forma.

### **Materiales estabilizantes**

*Cemento:* Es el aditivo mas usado para la producción de bloques de tierra estabilizados pero se debe tener cuidado en su aplicación en suelos con un contenido de arcilla superior al 30%, pues puede ser perjudicial para el comportamiento del bloque. En términos generales el porcentaje de adición de cemento esta entre el 5 y 6% para lograr resultados satisfactorios.

*Cal:* Los mejores resultados con este estabilizante, se obtienen en suelos arcillosos, en los que la cal actúa disminuyendo la plasticidad del suelo y permitiendo la fragmentación de los grumos que este pueda tener. Es importante anotar que la cantidad de cal a utilizar, varía dependiendo del tipo de suelo pero generalmente se encuentra entre un 8 y un 12%

### **Normatividad aplicable**

En Colombia, la norma que rige la producción y construcción de estructuras con bloques de tierra comprimida estabilizados con cemento (bloque de suelo-cemento), es la NTC 5324, que es una traducción de la norma francesa AFNOR XP P 13-901:2001.

**7.1.1.2 Tapia.** La tapia es una técnica de construcción muy antigua que consiste en la compactación dinámica de varias capas de suelo entre formaletas móviles para conformar muros de tierra que sean durables y resistentes. Estos muros son autoportantes y tiene espesores aproximados de entre 30 a 60 cm. Esta técnica utiliza tierra con menores niveles de humedad comparada con otros sistemas y ofrece ventajas sobre materiales como el adobe pues las construcciones son monolíticas y por ende más durables.

Entre los beneficios de esta técnica de construcción, se encuentran las bajas emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a las construcciones en tapia, los bajos costos de mantenimiento, durabilidad, resistencia al fuego, excelente aislamiento térmico y acústico, eficiencia en costos y rapidez en el proceso constructivo (MANIATIDIS, Vasilios y WALKER, Peter. Una Mirada a la construcción en tapia).

Figura 6. Capilla de San Bartolomé, Rincón, California.



Fuente: Sitio web de CALIFORNIA'S EARTHBUILDING AUTHORITY

### **Características del suelo**

En condiciones ideales, la fuente de material para la construcción en tapia puede ser el suelo proveniente de las excavaciones de vigas de fundación en el sitio de la construcción y otros trabajos de movimiento de tierras, pero este material debe cumplir ciertas características y ser homogéneo por motivos de estabilidad y apariencia del producto acabado. Una vez seleccionado el material a usar, debe ser procesado para obtener una humedad óptima y para eliminar grumos que pueda traer el material natural y que puedan interferir en el proceso de densificación del suelo a la hora de confinarlo entre las formaletas.

El suelo apto para la construcción en tapia, consiste en una mezcla balanceada de grava, arena, limo y arcilla, de los cuales los últimos dos, hacen el trabajo del

material aglutinante. De acuerdo con los autores Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S. y Vitoux, F. del grupo CRAterre, en el texto Construir con tierra, un estimado de la composición de la tierra apta para este tipo de construcción es: grava (0 a 15%), arena (40 a 50%), limo (20 a 35%) y arcilla (15 a 25%). Las partículas de grava no deben exceder los 15 mm pues se pueden generar problemas de protuberancias en el acabado final y vacíos en las esquinas de las formaletas.

### **Formaletas**

La formaleta en el sistema de tapia pisada es usada como estructura de soporte mientras las capas de suelo son compactadas y debe tener una resistencia suficiente para soportar las cargas que se generan durante la colocación y compactación del suelo. El material mas usado para la fabricación de estas formaletas es la madera aunque en la actualidad empiezan a usar los sistemas de formaletas metálicas, muy conocidos en la construcción con concreto.

Figura 7. Trabajo australiano moderno de formaletería para el sistema de tapia



Fuente: A review of rammed earth construction. Página 52 Vasiliou Maniatidis & Peter Walker, 2003

**7.1.2 Elementos de mampostería ecológicos.** Teniendo en cuenta que los sistemas constructivos que involucran la utilización de mampuestos son muy comunes en el mundo, ya sea para la construcción de muros estructurales o simplemente de cerramientos, se han venido desarrollando diversas metodologías que buscan eliminar en gran medida la utilización de materiales como el cemento en la fabricación de los mismos, que de acuerdo a lo planteado anteriormente, es un material que contribuye enormemente, a fenómenos como el calentamiento global, debido a las grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que se emiten durante todo su ciclo de vida. También se busca eliminar o minimizar, el proceso de secado y cocción que es indispensable para la fabricación de los ladrillos de arcilla tradicionales pues es el responsable del consumo en grandes cantidades de energía y combustibles fósiles.

Son muchos los desarrollos que se han logrado en este campo e innumerables las investigaciones en universidades de todo el mundo sobre el tema, en las cuales se experimenta con diversos tipos de materiales tanto orgánicos como inorgánicos, que permitan lograr las características físicas y resistencias que exige la normatividad de construcción y materiales en cada país.

**7.1.2.1 Ladrillos PET.** El PET (Polietileno Tereftalato) es un tipo de plástico utilizado en la producción de fibras para la industria textil, empaques de todo tipo de productos y en la producción de películas fotográficas, rayos X y de audio. Este producto es altamente utilizado en el mundo debido a sus características de resistencia ante los ataques químicos, desgaste y sobretodo por su economía en el proceso de producción.

Debido a su alto consumo a nivel mundial, especialmente en empaques, la cantidad de residuos de materiales de este tipo también es bastante considerable. Es por esto que muchas industrias están viendo el reciclaje de desechos PET

como una oportunidad de negocio para la fabricación de diversos productos, como lo son los ladrillos fabricados con este material reciclado.

### **Proceso de elaboración del producto**

El primer paso de la cadena de producción de los ladrillos PET consiste en la trituración del material en una máquina con motor trifásico blindado de 1400rpm. Este proceso se realiza en dos etapas para lograr el tamaño deseado, que es aproximadamente equivalente al de una arena gruesa. Una vez triturado el plástico, se procede a mezclarlo con cemento Portland en una concretadora para luego añadir agua y aditivos especiales que garantizan la plasticidad de la mezcla. Este proceso es similar a la fabricación de concreto pero en lugar de los agregados se usa el plástico triturado.

Una vez se tiene una mezcla uniforme, se procede a moldearlos de forma manual o con la ayuda de maquinaria especializada para este fin. Los bloques deben dejarse reposar por 24 horas para luego ser curados durante 7 días y pueden ser usados en la obra una vez transcurridos 28 días desde su fabricación.

### **Características generales de los ladrillos PET**

Color y textura: Los ladrillos PET poseen un color gris y su textura es rugosa, lo que facilita la adherencia del revoque.

Figura 8. Ladrillos PET



Fuente: Manual de producción y aplicación del ladrillo PET, Baretta, Horacio, Pagina 34, 2006.

Peso: El peso de un ladrillo PET es aproximadamente 1.6 Kg, considerablemente mas liviano que un ladrillo de arcilla cuyo peso es del orden de 2.1 Kg.

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de los ladrillos PET esta alrededor de los 2 MPa de acuerdo con pruebas de laboratorio realizadas por el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica en Argentina) mientras que los ladrillos tradicionales de arcilla de perforación horizontal resisten en promedio 3 MPa.

**7.1.2.2 Ladrillos a partir de residuos sólidos de diversos tipos.** La producción de materiales de construcción a partir de residuos sólidos del tipo industrial o de escombros, es una práctica que además de ser beneficiosa para el medio ambiente trae consigo beneficios económicos y sociales. En cuanto al medio ambiente, la reutilización de los desechos implica una reducción del material que debe ser llevado a los sitios de disposición final, lo que a su vez conlleva a menores consumos en combustibles para el transporte de los mismos y un menor uso de la tierra para estos fines. Los beneficios económicos para los productores de este tipo de materiales, consisten en un menor costo de producción pues la materia prima es adquirida a muy bajo precio, lo que a su vez se traduce en menores costos de construcción y por ende menores costos para el cliente final del inmueble, en algunos casos.

Entre los tipos de residuos con los cuales se han hecho investigaciones en nuestro país, están los escombros de la construcción, los desechos industriales de la combustión del carbón “Fly Ash” y “Bottom ash”, escoria siderúrgica y de cobre, cenizas del bagazo de la caña de azúcar y cascarilla de arroz e incluso los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Muchas de estas investigaciones han sido realizadas en la ciudad de Cali por una empresa llamada

Ecoingeniería S.A.S, en cabeza del señor Alejandro Salazar, Ingeniero químico de la Universidad del Valle, quien enuncia los siguientes como beneficios de la utilización de estas técnicas de producción de materiales de construcción:

- Obtención de mampuestos con dimensiones estables, resistencias que cumplen con la normatividad de construcción vigente en el país, además de poseer una textura y color uniformes que dan como resultado un muro de excelente calidad que no requiere de un acabado superficial, lo que disminuye los costos de construcción.
- Desarrollo de una cultura para el uso de residuos sólidos industriales y escombros de construcción en la producción de materiales de alta calidad y bajo costo.
- Generación de empleo y creación de nuevas empresas para la elaboración de materiales y clasificación de los residuos.
- Creación de materiales económicos para proveer soluciones de vivienda a las poblaciones más necesitadas pues se reduce el consumo de cemento de los mismos. Tradicionalmente de un saco de cemento se pueden producir alrededor de 32 bloques, lo que implica que para la producción de cada uno se requieren 1428 gramos de cemento mientras que con la inclusión de residuos como los antes mencionados, se pueden producir bloques con un contenido de cemento de alrededor de 450 gramos y se logra una disminución considerable de los costos de producción.

### **Descripción del proceso de producción**

El proceso de producción de los ladrillos, se inicia con la selección de los residuos, pues se debe identificar cuales son los tipos de residuos mas adecuados para trabajar como agregados o material de relleno y cuales como material cementante. Para esto, se estudia la composición química de los residuos para determinar si son materiales con base en oxido de calcio o silicio, los cuales son adecuados como material cementante. En cuanto a los

materiales de relleno o agregados, se estudian factores como el tamaño de partícula y la distribución granulométrica de los mismos, lo que ayuda a encontrar la dosificación mas adecuada de acuerdo al tipo de residuo que se quiera trabajar.

Luego se procede con el proceso de adecuación de las materias primas, que incluye la trituración, clasificación y molienda de los materiales, tanto los cementantes como los agregados. Posterior a esto, se determina la dosificación, bien sea por peso o por volumen y se procede con la elaboración de la mezcla.

Debido a que en el proceso de producción de estos materiales, se busca eliminar al máximo su energía incorporada, se elimina la cocción de los mismos y en lugar de esto, se aplica el principio de conglomeración en frio mediante el uso de una prensa que logra la aplicación de una presión de aproximadamente 180 Kg/cm<sup>2</sup> que permite la densificación del material. Una vez moldeado el bloque, se inicia la etapa de curado hidrotérmico en un invernadero, donde la temperatura media es de 45 °C y la humedad relativa es mayor del 95%. En la etapa de curado el elemento permanece entre 48 y 100 horas, dependiendo del tipo de material empleado como cementante.

Figura 9. Ladrillos que contienen ceniza de carbón, escoria siderúrgica, escoria de cobre.



Fuente: Abordando el tema de los ecomateriales desde la ciencia y la tecnología, Salazar, Alejandro, Pagina 5.

Figura 10. Ladrillos con base en escoria de cobre, ceniza de carbón, residuos de porcelana eléctrica.



Fuente: Abordando el tema de los ecomateriales desde la ciencia y la tecnología, Salazar, Alejandro, Pagina 6.

**7.1.3 Concreto verde.** Al igual que en la fabricación de ladrillos, los residuos de diversos tipos también pueden ser empleados en la producción de concreto, con el único fin de disminuir la cantidad de cemento. Estas adiciones de materiales tanto orgánicos como inorgánicos potencian las propiedades de aislante térmico del material, lo que se traduce en ahorros energéticos durante la etapa de operación del edificio. En el mundo hay varios tipos de concreto verde, fabricados con adiciones de materiales como escoria metálica, vidrio reciclado, geo polímeros, etc.

En Colombia, mas específicamente en el Valle del Cauca, la empresa Ecoingeniería S.A.S. antes mencionada, se dedica a la producción de materiales de construcción “verdes”, entre los que se destaca la producción de concreto, grouting, morteros y pavimentos, utilizando adiciones de diversos residuos y geo polímeros para minimizar el consumo de cemento. A continuación se presentan ejemplo de aplicación de los proyectos realizados por esta compañía:

Figura 11. Casa modelo Urbanización Casa Grande, Constructora Prethely González. Utilización de eco-bloques, eco-morteros, eco-grouting y eco-concretos para estructura y losas de cimentación. 2002



Fuente: Tecnologías desarrolladas y aplicadas, Salazar, Alejandro.

En la figura 12, se puede apreciar un pavimento en el municipio de Vijes, Valle del Cauca, vaciado en el año 2003, con una producción de concreto en obra de 1678 m<sup>3</sup> implementando la técnica de eco concreto desarrollada por Alejandro Salazar mediante la inclusión de geo polímeros y residuos. En esta obra se lograron ahorros de \$63.000.000 frente a los métodos tradicionales, logrando una calidad del producto final satisfactoria que no presentó fisuras pese a las condiciones climáticas.

Figura 12. Vaciado de un pavimento rígido, municipio Vijes, Valle del Cauca



Fuente: Tecnologías desarrolladas y aplicadas, Salazar, Alejandro.

Estos proyectos se realizan con dosificaciones basadas en la inclusión de “ecomateriales”, los cuales no son mas que diversos tipos residuos, ya sea de demolición, industria, agricultura o incluso se ha trabajado con lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, todo esto bajo la dirección experta del ingeniero Alejandro Salazar para la realización de pruebas de laboratorio de cada residuo para determinar la idoneidad de su uso. En tabla 2 se puede apreciar las dosificaciones que se usan para la producción de los diferentes materiales de construcción.

Tabla 2. Dosificaciones para la producción de diferentes materiales de construcción por Ecoingeniería S.A.S

<b>MATERIAL</b>	<b>% ECOMATERIAL</b>	<b>% CEMENTO PORTLAND</b>	<b>% ADITIVO</b>
<i>Eco-grouting</i>	49.7	49.7	0.6
<i>Eco-mortero ladrillo</i>	58.8	40.8	0.4
<i>Eco-ladrillo</i>	99.6	0.0	0.4
<i>Eco-mortero bloque</i>	64.3	35.2	0.5
<i>Eco-bloque</i>	59.6	40.0	0.4
<i>Eco-concreto 17.5 Mpa.</i>	50.0	50.0	
<i>Eco-concreto 21 Mpa.</i>	40.0	60.0	
<i>Estucos</i>	99.4	0.0	0.6

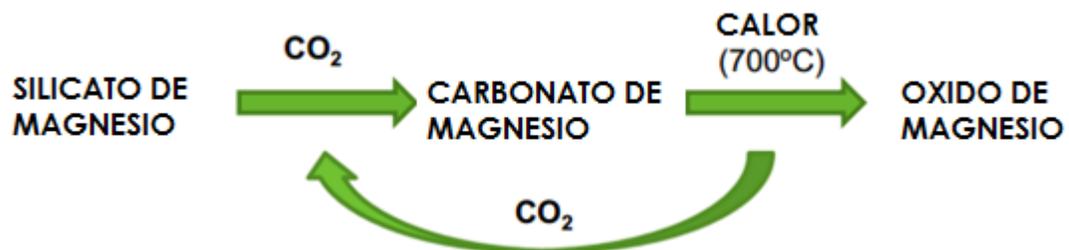
Fuente: Tecnologías desarrolladas y aplicadas, Salazar, Alejandro.

Además de los anteriores, existen otro tipo de desarrollos que buscan eliminar el uso de cemento portland totalmente para la fabricación del concreto. Este es el caso de producto NOVACEM, desarrollado por un equipo británico bajo el liderazgo del científico Dr. Nikolaos Vlasopoulos. Este material no utiliza piedra caliza en su fabricación y además es capaz de captar CO<sub>2</sub> durante su proceso de producción, lo que lo hace un material aún más atractivo.

Existen grandes diferencias en el proceso de producción del NOVACEM y el cemento Portland: para la fabricación del cemento tradicional se inicia con la extracción de materias primas (piedra caliza y carbonato de calcio), los cuales deben ser calentados a temperaturas que alcanzan los 2000°C para lograr la descomposición del carbonato, proceso mediante el cual se consume gran cantidad de combustible para lograr tan altas temperaturas. Para la fabricación de NOVACEM, se inicia con la extracción de los silicatos de magnesio, de los cuales se estima que la tierra tiene una reserva de 10.000 billones de toneladas. Este material, se somete a presiones y temperaturas (180°C/150bar) que mediante la

absorción de  $\text{CO}_2$ , lo convierten en carbonato de magnesio. Luego, es calentado a temperaturas muy inferiores a las requeridas para la fabricación del cemento Portland ( $700^\circ\text{C}$  aproximadamente) para la producción de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) que es el base del NOVACEM. Durante este proceso de calentamiento se produce  $\text{CO}_2$ , el cual es devuelto al ciclo de la producción del carbonato de magnesio donde es absorbido, lo que hace a este material “carbono negativo”, es decir, consume mas  $\text{CO}_2$  que el que emite.

Figura 13. Proceso de producción del cemento verde



Fuente: Novacem: Carbon Negative Cement and the Green Cement Bond, Stuart M. Evans & Nikolaos Vlasopoulos, Página 10, 2010.

De acuerdo con el grupo de investigadores de NOVACEM, mientras la producción de cemento tradicional emite 800 Kg de  $\text{CO}_2$  por cada tonelada producida, el NOVACEM varia entre el rango de -50 a 100 Kg de  $\text{CO}_2$  por tonelada, lo que es considerablemente inferior y es el motivo por el cual este material esta dando de que hablar en el mundo, tanto como para ser nombrado en la lista de los 10 mejores tecnologías emergentes a nivel mundial en el año 2010.

**7.1.4 Guadua.** La guadua es un material que se viene utilizando para la construcción en diversas zonas del país, especialmente en el eje cafetero y ha sido objeto de varias investigaciones en todo el mundo debido a sus características de resistencia, durabilidad y fácil manejo, las que la hacen un material ideal para brindar soluciones de construcción rápidas, económicas y seguras, ya sea para viviendas de interés social o para realizar estructuras de gran belleza y diseño arquitectónico como cualquiera de los proyectos del reconocido arquitecto colombiano Simón Vélez.

Este material tiene muchas bondades, entre las que se destaca su bajo peso, lo que permite reducir las cargas de las edificaciones haciéndolas más sismoresistentes. También se resalta el hecho de que la disposición de sus fibras superficiales, la hacen muy resistente para soportar cargas axiales, es por esto que también es conocida con el nombre de “acero vegetal”. Otro de sus beneficios, y tal vez el más importante, desde el punto de vista de la sostenibilidad, es su rápido crecimiento y la baja cantidad de energía que se requiere durante su proceso de cultivo y adecuación para ser usada como material de construcción.

Entre las construcciones en guadua en Colombia se destaca el Pabellón Zeri, diseñado y construido por el arquitecto Simón Vélez, que fue presentado en la feria Hannover 2000 en Alemania, donde los alemanes reconocieron las potenciales ventajas de la guadua como material de construcción y la posibilidad de ser exportado junto con las técnicas de curado de la misma usando residuos de café así como la experta mano de obra del eje cafetero.

Figura 14. Pabellón Zeri, Manizales, Colombia



A pesar de sus muchos beneficios, la utilización de la guadua en la construcción, también ha encontrado ciertas limitantes desde su estructura natural, como lo es su incapacidad de soportar cargas perpendiculares a sus fibras, su baja resistencia al fuego y su vulnerabilidad ante la humedad, los rayos de sol directos, y el ataque de hongos. Otra limitante para el uso de la guadua como material de construcción, es el especial cuidado que se debe tener al momento de cortarla, pues factores como la edad del espécimen, la época y altura del corte pueden afectar seriamente el cultivo. En la actualidad y desde hace varios años, se han venido realizando numerosas investigaciones, tanto en Colombia como a nivel mundial, para determinar métodos de cultivo eficientes y encontrar estrategias para mitigar las desventajas que presenta este material, pues no deja de ser considerado como una excelente opción para la construcción sostenible.

## **7.2 MATERIALES PARA ACABADOS, RECUBRIMIENTOS E INSTALACIONES**

**7.2.1 Pinturas, adhesivos y solventes.** La mayoría de las pinturas, adhesivos y solventes tradicionales, contienen gran cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles, mas conocidos como VOC por sus siglas en inglés. Estos compuestos son los gases que se perciben por el olfato al momento de la aplicación del producto y en ocasiones muchos días después. Los VOC son químicos orgánicos que se convierte en gas respirable a temperatura ambiente, entre estos se encuentran el benceno (usado en la fabricación de plásticos, resinas y lubricantes) y el etilenglicol (usado como solvente en la industria de pinturas y plástico).

Según la Agencia norteamericana de Protección del Medio Ambiente (EPA), la presencia de estos elementos es entre dos y cinco veces superior en el interior de los edificios que al aire libre. Productos como disolventes, pinturas, limpiadores, insecticidas, pegamentos, barnices, y en general, cualquiera de origen petroquímico, pueden originar estos compuestos en hogares y lugares de trabajo. Estos compuestos tienen consecuencias adversas tanto para el medio ambiente como para la salud humana. En el caso del medio ambiente, contribuyen al problema de la niebla tóxica a través de la formación de ozono troposférico cuando se combinan con otros gases contaminantes de la atmosfera como los óxidos de nitrógeno. En cuanto a la salud humana, los efectos nocivos varían según el compuesto, algunos son considerados cancerígenos como el benceno, el formaldehído y el percloroetileno. Otros compuestos menos agresivos pueden causar molestias menores como irritación de los ojos y las vías respiratorias.

En la actualidad, se pueden encontrar en el mercado productos con bajos contenidos o libres de VOC. Se recomienda elegir pinturas con un contenido de VOC no superior a 250 gramos por litro para pinturas a base de agua y 380 gramos por litro para pinturas a base de aceite.

**7.2.3 WPC (Wood plastic composite).** Es un producto de apariencia muy similar a la madera que esta siendo utilizado en el mundo hace varios años. Está fabricado a partir de plástico reciclado y fibras orgánicas como desechos de madera y/o cisco de arroz o café. Este compuesto es utilizado en la fabricación de decks, puertas, cercas, mobiliario urbano e incluso es usado como sistema constructivo de edificaciones pequeñas.

Este material es considerado como amigable con el medio ambiente debido a que incorpora materiales reciclados en su fabricación, es reciclable y minimiza el uso de productos nocivos para la salud y la naturaleza como los que son usados para la inmunización de la madera natural. Sus características físicas, lo hacen un material resistente y durable, por lo que se reducen los costos de mantenimiento si se compara con la madera. Además es de fácil instalación, resistente al fuego y puede ser trabajado en diversas texturas y colores para satisfacer las exigencias de cualquier diseño.

El WPC esta diseñado para remplazar a la madera en la construcción de elementos arquitectónicos, por lo que se reduce la cantidad de árboles que son talados para este fin, contribuyendo a la conservación de las coberturas boscosas que son las que protegen los suelos de la erosión y previenen desastres como los deslizamientos que ocurren en su mayoría en las épocas invernales. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en los últimos 20 años en Colombia, se han talado 6 millones 200 mil hectáreas de bosque, lo que corresponde al 10% de la cobertura boscosa nacional, hecho al que se le atribuyen en parte, las grandes tragedias por deslizamientos que han cobrado un alto numero de vidas y perdidas materiales en los últimos años.

En Colombia, ya empieza a popularizarse este versátil producto e incluso fue usado para la construcción de viviendas entregadas por Colombia Humanitaria para los damnificados de la temporada invernal que afectó al país en los años 2010 y 2011.

Figura 15. Viviendas fabricadas con el sistema WPC.



Fuente: Sitio web de la empresa Woodpecker S.A.S

**7.2.4 Techos fríos o reflectivos.** En la actualidad, a nivel mundial, se invierte gran cantidad de dinero y energía para crear un ambiente confortable para los habitantes de las edificaciones en las épocas de verano. Se estima que la sexta parte del total de la energía que consumen los edificios, esta destina a la actividad de enfriamiento de los mismos.

Los techos fríos, son sistemas de cubierta para cualquier tipo edificación, que pueden reducir la temperatura del techo en un valor cercano a los 37 grados Celsius y por consiguiente minimizar la carga de los equipos de enfriamiento tradicionales. Estos techos son fabricados en materiales especiales que reflejan la luz solar y la envían de vuelta al ambiente, contribuyendo también a disminuir el efecto isla de calor de las ciudades, que se sabe que son entre 1 y 6 grados Celsius más calientes que el campo, de acuerdo con las investigaciones del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de California.

Existen dos parámetros importantes que se miden a la hora de garantizar la eficiencia de un techo frío:

Reflexión solar: Es una medida de la fracción de energía solar que es reflejada por cualquier superficie. Esta medida es cuantificada por medio del Índice de Reflexión Solar, que toma como parámetros la reflexión solar de una superficie de color negro que es cero y la de una de color blanco que es 100. Como se sabe que una superficie negra puede absorber una temperatura de aproximadamente 50 grados Celsius, cuando está expuesta al sol, y una superficie blanca, alrededor de 8.1 grados, se hace una interpolación, conociendo la temperatura del material que se quiere analizar para obtener el Índice de reflexión solar (SRI).

Emisión térmica: Es la capacidad de un material de enviar el calor producido por el sol, de vuelta a la atmosfera. Un techo fabricado en un material con alta emisión térmica puede absorber y emitir el calor a la atmosfera más rápidamente que uno con una emisión térmica baja.

Existe una organización sin ánimo de lucro, creada en 1998, que se encarga de calificar los diferentes materiales para techos fríos de acuerdo a los parámetros tratados anteriormente y sirve como referencia a constructores y fabricantes de productos para techos. Esta organización es el *Cool Roofing Rating Council (CRRC)*.

Según el CRRC, los techos fríos tienen las siguientes ventajas:

- Ahorro de energía en la etapa de operación del proyecto:  
Debido a que los techos fríos, tienen la capacidad de absorber menos calor que los techos convencionales, se reduce significativamente la carga sobre los equipos de enfriamiento, causando así una reducción en el consumo de energía y por ende una menor emisión de CO<sub>2</sub>.

Según un estudio del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en conjunto con el Davis Energy Group de California, la instalación de techos fríos reduce la temperatura de los edificios y puede causar una reducción de hasta el 52% en el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado. Además se hizo una relación entre el área de los techos y el consumo de energía, llegando a la conclusión de que se podría generar un ahorro de entre 3.9 y 6.6 Watts/metro cuadrado, en las 16 diferentes zonas climáticas de California que se analizaron en este estudio.

A nivel nacional, en los Estados Unidos, este estudio concluyó que si todos los techos fueran fríos se podría llegar a un ahorro de cerca de un billón de dólares en los costos de energía.

- Reducción de la isla de calor en las ciudades, minimizando los niveles de polución del aire y la generación de smog, pues de acuerdo a estudios conducidos en Los Ángeles, por medio de mediciones y simulaciones, se ha demostrado que la reducción de la temperatura del ambiente también reduce los niveles de concentración de ozono (smog).

La reducción de la isla de calor en las ciudades también lleva a un aumento en la comodidad de los habitantes y se reduce la probabilidad de desarrollar enfermedades producidas por el calor.

- Reducción de los costos de mantenimiento de los techos, pues se ha demostrado que los techos fríos, por absorber en menor cantidad los rayos ultravioletas se deterioran menos, debido a su capacidad de mantener una temperatura más constante, lo que causa menos retracciones del material. Por lo tanto tienen una mayor vida útil y se disminuye así la generación de residuos que causa el reemplazo de los mismos.

Un caso de aplicación de los techos fríos en Colombia, es el centro técnico para clientes de la compañía 3M, localizado en la ciudad de Bogotá, en el que se

instaló una cubierta con un recubrimiento bituminoso claro para la conformación de un techo reflectivo, que contribuyó con la obtención de puntos en la categoría de sitios sostenibles en el camino para obtener la certificación LEED.

Figura 16. Centro técnico para clientes 3M, Bogotá, Colombia.



Fuente: Sitio web de la compañía 3M

**7.2.5 Cubiertas verdes.** Al igual que los paneles solares, son prácticamente un ícono de los edificios sostenibles y pueden encontrarse en varios lugares del mundo, tanto en climas fríos como extremadamente cálidos. El concepto de integrar la naturaleza a las ciudades no es algo nuevo, pues viene implementándose desde épocas muy antiguas con reconocidos ejemplos como los jardines colgantes de Babilonia, pero la inspiración de las cubiertas verdes contemporáneas viene de Islandia donde los techos cubiertos de césped, habían sido usados durante años como material tradicional de construcción junto con la piedra, práctica que se hizo popular en toda Escandinavia y posteriormente en el resto del mundo como se puede apreciar actualmente.

La construcción de cubiertas verdes requiere el estudio de diversos aspectos tales como la capacidad de la estructura para soportar el peso adicional aportado por el

material vegetal, las necesidades de sustrato y agua de las especies que se desean plantar, la resistencia del material impermeabilizante a la penetración de las raíces, la capacidad de las especies de soportar la carga de viento y las condiciones climáticas del lugar (GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES. Introducción a la tecnología de muros verdes, beneficios y diseño).

Existen dos tipos de cubiertas verdes: Las extensivas y las intensivas. Las cubiertas extensivas son aquellas con un espesor de sustrato no superior a los 15 centímetros, capaz de albergar especies pequeñas como plantas herbáceas, grama y especies de musgos. Este tipo de cubierta no representa una carga muy alta para la estructura, por lo que se considera ideal para estructuras existentes y para proyectos nuevos en los cuales la carga del material vegetal no se haya considerado dentro del diseño estructural desde un principio, pues su peso saturado oscila entre los 60 y 150 Kg por metro cuadrado. Por otro lado, las cubiertas verdes del tipo intensivo son aquellas que requieren un espesor de sustrato superior a los 15 centímetros pues su finalidad es albergar especies de mayor tamaño tales como arbustos de diversos tipos e incluso arboles frutales, con el fin de crear un jardín elevado. Para este tipo de cubiertas, se debe analizar e incluir el peso adicional del material vegetal dentro del diseño estructural pues pueden alcanzar valores de peso por metro cuadrado del orden de 600 Kg e incluso superiores dependiendo del tipo de vegetación.

Figura 17. Cubierta del edificio Novartis, Bogotá.



Fuente: Sitio web de la empresa BIOTECTONICA.

## **Beneficios**

- Las cubiertas verdes constituyen un tipo de drenaje sostenible, ya que tiene la capacidad de retener la humedad proveniente de las lluvias mediante el almacenamiento de la misma en el sustrato, la cual es consumida por las plantas o se evapora, reduciendo los volúmenes de agua que llegan finalmente al alcantarillado. Las cubiertas verdes también se consideran una especie de tratamiento para las aguas lluvias que no alcanzan a ser consumidas por las plantas pues el sustrato actúa como filtro, librando las aguas de cualquier contaminante que estas pueda contener.
- Regeneración de la biodiversidad mediante la creación de espacios verdes en las ciudades que pueden ser usados por diversas especies como lugares para anidar, conseguir alimento o refugiarse.

- Las cubiertas verdes se consideran una herramienta para el control del cambio climático pues las especies vegetales que allí se siembran consumen CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, además contribuyen con la evaporación de las aguas lluvias lo que devuelve humedad al ambiente para lograr reducir la isla de calor de las ciudades.
- La capa de sustrato de las cubiertas verdes, conforma un aislante térmico natural, por lo que se logran temperaturas interiores más confortables y se logran consumos de aire acondicionado más bajos.
- Los techos verdes ayudan a la protección de la estructura de cubierta de la edificación y de la membrana de impermeabilización, lo que conlleva a menores costos de mantenimiento a largo plazo para las estructuras que las poseen.

**7.2.6 Muros verdes.** El concepto de “muro verde” o “jardín vertical” hace referencia a cualquier tipo de superficie vertical vegetada, la cual puede ser generada de dos maneras diferentes: La primera es mediante la colocación de estructuras adheridas a la fachada que sirven como soporte para el crecimiento de especies vegetales del tipo enredaderas, que con el paso del tiempo logran cubrir la fachada completamente. La segunda manera para la generación de muros verdes, consisten en la ubicación de paneles sembrados previamente o estructuras con un sistema de bolsillo que sirven como una especie de materas para el crecimiento de las plantas. Esta modalidad generalmente requiere un mayor mantenimiento que el sistema de enredaderas debido a la densidad, cantidad y diversidad de las especies plantadas. También se requiere un sistema de riego dependiendo de la extensión del muro que puede incluir inyección

automática de nutrientes para suplir las necesidades de las diferentes especies (MINKE, Gernot. Muros y fachadas verdes, jardines verticales).

Los jardines verticales están siendo usados a nivel mundial, pues constituyen un atractivo en el diseño de espacios interiores y exteriores, además, de sus beneficios que son muy similares a los descritos anteriormente para el caso de las cubiertas verdes.

Figura 18. Muro verde estación del metro, Sabaneta.



Fuente propia

Figura 19. Muro verde en construcción en Budapest, Hungría.



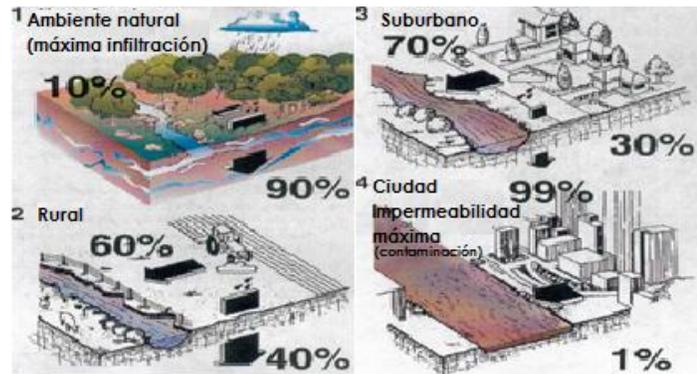
Fuente propia.

**7.2.7 Pavimentos y superficies drenantes.** El crecimiento acelerado de las áreas urbanas, en la cuales se estima que para el 2025 vivirá el 65% de la población mundial, esta causando grandes problemas medioambientales, entre los cuales se encuentra la impermeabilización de grandes superficies debido a las construcciones, parqueaderos y vías que se necesitan para soportar dicho crecimiento. Esta impermeabilización es la responsable de alterar el ciclo natural del agua, lo que conlleva a generar enormes volúmenes de escorrentía con altas velocidades de flujo capaces de arrastrar todo tipo de contaminantes, como hidrocarburos y metales asociados a la actividad urbana, a los cuerpos de agua donde finalmente se descargan las aguas provenientes de las lluvias, que en terreno natural se hubiesen infiltrado en el suelo para luego ser consumidas por la vegetación o evaporarse para cerrar el ciclo.

Este fenómeno también es el causante de inundaciones debido a que los cauces naturales permanecen en épocas de verano con niveles muy bajos de agua y en épocas de invierno, toda el agua que drena de la ciudad es descargada a los mismos, provocando un aumento en el nivel del agua en un corto periodo de tiempo, lo que finalmente causa las inundaciones que cobran vidas y generan grandes pérdidas materiales. (ATLANTIS, Sistemas de drenaje urbano sostenible. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)).

A continuación se muestra un esquema de los porcentajes de infiltración en diferentes escenarios:

Figura 20. Esquema de los porcentajes de infiltración en diferentes escenarios.



Fuente: Sitio web de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Como se puede apreciar en la figura 20, el coeficiente de infiltración de las grandes ciudades es preocupantemente bajo, por lo que se hace necesario desarrollar estrategias para mitigar el impacto de esta situación. Según la organización australiana WSUD (Water Sensitive Urban Design), se deben implementar técnicas, estructuras y materiales permeables y preferentemente vegetados que contribuyan a no alterar la hidrología previa al proceso de urbanización. La lluvia filtrada a través de las estructuras superficiales es captada y gestionada a través de celdas, canales y depósitos enterrados; Posteriormente el agua puede ser percolada al terreno para la recarga del acuífero o conducida hacia estanques o humedales, revalorizando el aspecto paisajístico y lúdico del entorno, reutilizada para riego y otros usos públicos o vertida directamente y en perfecto estado al medio receptor. Este tipo de estructuras deben ser diseñadas para adaptarse a las características del suelo, tipo de lluvia y demás condicionantes del lugar.

**7.2.7.1 Pavimentos permeables.** Los pavimentos permeables, son estructuras resistentes, aptas para el uso urbano que dejan pasar el agua a través de si, para propiciar la infiltración natural de las aguas lluvias en el terreno, mediante la utilización de materiales alternativos a los tradicionales, reduciendo la cantidad de agua de escorrentía que es descargada en los cauces con el fin de afectar lo menos posible la hidrología natural. Estas estructuras están en capacidad de filtrar el agua para remover algunos contaminantes mientras esta pasa por las diferentes capas del sistema y pueden ir acompañadas de colectores horizontales que capten y gestionen el agua para recargar acuíferos.

Los pavimentos permeables pueden ser construidos con diferentes técnicas y para diferentes fines como estacionamientos y vías de tráfico ligero, pero deben tener un mantenimiento regular que evite su colmatación y pérdida de permeabilidad. Estas estructuras, además de ofrecer los beneficios ambientales antes mencionados, proveen ahorros en la construcción pues pueden evitar gastos asociados a la construcción de tuberías de alcantarillado y sumideros.

### **Pavimentos permeables en hormigón**

Este tipo de pavimentos, esta construido usando las materias primas tradicionales para un pavimento en hormigón, pero se usa una mezcla de concreto especial de alta porosidad que se obtiene mediante un mayor numero de vacíos causados por la poca o no inclusión de materiales finos a la mezcla. Este tipo de pavimentos requieren una subbase con una granulometría que potencialice sus capacidades drenantes y un especial cuidado tanto en la compactación de la misma como del terreno natural para evitar eliminar su permeabilidad (FERNANDEZ, Bonifacio, RIVERA, Pedro y MONTT, José. Con bajo impacto hidrológico ambiental: Uso de pavimentos permeables. Chile, Revista BIT, 2003).

Figura 21. Pavimento permeable en hormigón.

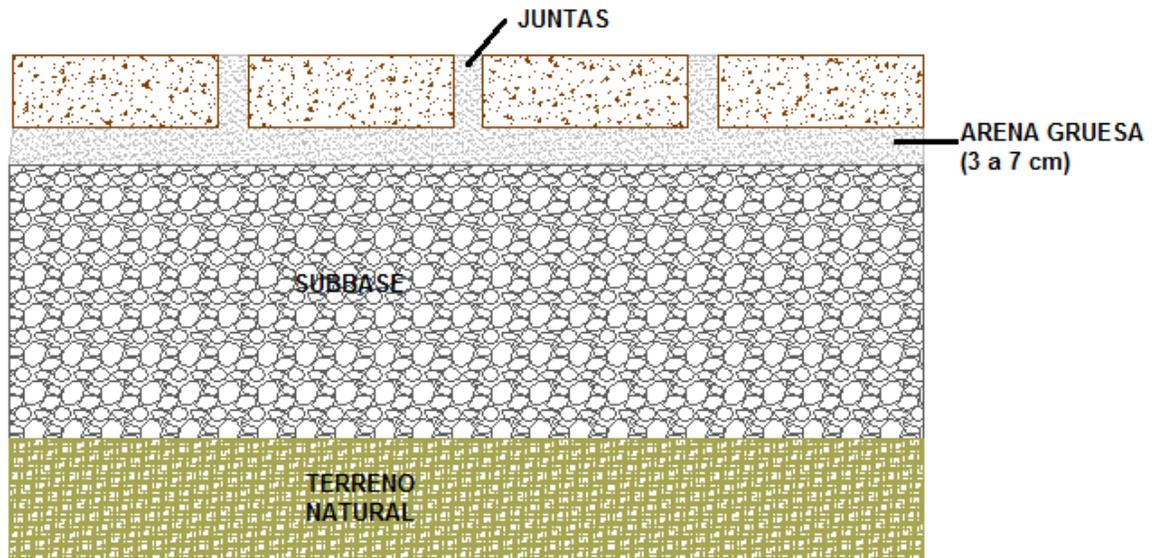


Fuente: Revista BIT, Chile, 2003

### **Pavimentos permeables en adoquines**

También pueden construirse pavimentos permeables utilizando adoquines que tienen una geometría especialmente diseñada para dejar pasar el agua a través de las juntas o recortes en los mismos adoquines, que son llenados con arena o gravilla fina. El porcentaje del área cubierta por la juntas o recortes en los adoquines es de alrededor de un 10% del área total para garantizar la efectividad del sistema. En la siguiente figura se muestra un esquema típico de un pavimento permeable en adoquines.

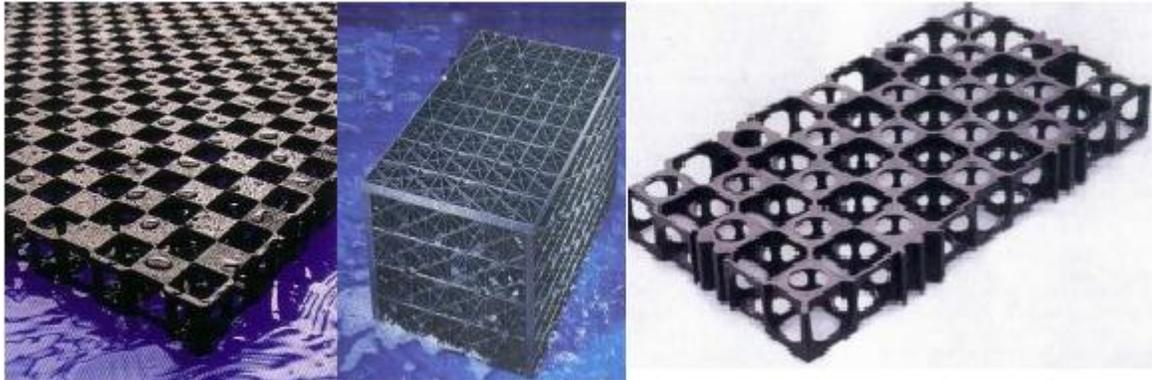
Figura 22. Estructura de un pavimento permeable en adoquines



### **Pavimentos permeables contruidos con estructuras especiales**

En la actualidad se esta implementando el uso de estructuras de polipropileno para el desarrollo de proyectos de urbanismo de bajo impacto ambiental. Estas estructuras están diseñadas para acompañar a los pavimentos permeables con el fin de actuar como filtros y conductores longitudinales de las aguas lluvias. Están compuestas por una o varias láminas de polipropileno perforadas para formar estructuras tridimensionales según sea la necesidad.

Figura 23. Estructuras subsuperficiales en polipropileno para la conducción de agua.



Fuente: Sitio web Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología, esta en la ciudad de La Coruña en España, donde se construyó un almacén Carrefour utilizando pavimentos permeables con conductores en polipropileno para las zonas de parqueo. También se instalaron medidores para monitorear la cantidad de agua que se infiltraba al terreno y la que sería vertida a los cuerpos de agua, con un resultado de un 100% de infiltración de las aguas provenientes de la lluvia, lo que comprueba la efectividad del sistema.

Figura 24. Proceso constructivo zona de parque permeable, La Coruña, España



Fuente: Sitio web Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible

## **8 ESTRATEGIAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

### **8.1 PLANEACION URBANA SOSTENIBLE**

El acelerado proceso de crecimiento de las ciudades a generando modelos de desarrollo poco sostenibles, que propician la exclusión social y causan inmensos daños al medio ambiente. De acuerdo con el autor Herbert Girardet, en su libro Ciudades: Alternativas para una vida urbana sostenible, las ciudades se clasifican en función de su metabolismo, donde se crean dos categorías: Ciudades lineales y ciudades de metabolismo circular. Las primeras ciudades, suplen los requerimientos básicos para su subsistencia de una zona extensa, lo que causa que se deban recorrer largas distancias y por ende se consuman grandes cantidades de energía. Los residuos que se generan, también están destinados a abandonar la ciudad y son depositados en zonas alejadas, que deben ser cambiadas permanentemente debido al volumen de residuos que la ciudad produce. Por otro lado, las ciudades de metabolismo circular, son aquellas que producen localmente la mayoría de lo que consumen y reutilizan gran parte de lo que desechan para cerrar el ciclo, lo que las hace ciudades mas limpias en términos de consumo energético y más amigables con el medio ambiente.

Las estrategias de desarrollo urbano sostenible van orientadas a hacer que las ciudades actuales, se asemejen cada vez mas a la segunda categoría de la clasificación descrita anteriormente, mediante políticas de planeación urbana que consideren variables como las ambientales y las sociales dentro de sus planteamientos. Estas estrategias son:

- Fortalecer la concepción de la ciudad compacta, lo que ayuda a disminuir consumos mediante el acortamiento de los desplazamientos que deben realizar los ciudadanos en su vida cotidiana, favoreciendo el uso de

transportes alternativos al automóvil como la bicicleta. También se deben ubicar los servicios públicos, comerciales y de entretenimiento estratégicamente, para fortalecer la idea de una comunidad autosuficiente.

- Favorecer la integración de diversos usos del suelo en las ciudades, como el residencial, el comercial y el industrial para minimizar el transporte de los productos y por ende el consumo energético. Esta integración debe ser planeada estratégicamente, de manera que no se generen molestias a los ciudadanos.
- Privilegiar la renovación urbana y la rehabilitación de las zonas marginadas, en lugar de destinar áreas para la construcción de nuevas viviendas, lo que permite fortalecer el concepto de ciudad compacta.
- Conservar las áreas naturales de las ciudades, como las riveras de los ríos, para que se conviertan en lugares de esparcimiento e incluso puedan llegar a ser atractivos turísticos, lo que genera beneficios ambientales y sociales. También es beneficioso, la creación de corredores y áreas verdes, que sirvan como refugio a la fauna urbana y que capturen el CO<sub>2</sub> que producen las mismas actividades propias de la ciudad.
- Promover el uso de transportes más amigables con el medio ambiente, como el transporte público, la bicicleta y caminar, mediante la creación de espacios donde las personas se sientan seguras para usarlos e incluso se incentive el uso de estos transportes con diversos beneficios.

Uno de los mejores ejemplos a nivel mundial, en materia de planeación urbana sostenible, es el barrio Hammarby Sjöstad, en la ciudad de Estocolmo, Suecia. Una de los principales aspectos a resaltar de este proyecto, es que fue construido en una zona de antiguos terrenos industriales abandonados, que mediante un proceso de descontaminación fueron adecuados para su construcción, dándole un nuevo aire a una zona abandonada y subutilizada en el pasado.

La planeación de la ciudad, se enfocó en conseguir un barrio compacto donde los habitantes tienen acceso a todos los servicios públicos sin necesidad de recorrer grandes distancias. Además, se restringen la cantidad de lugares de parqueo (0.7 por vivienda), para incentivar el car-pooling, que no es más que un sistema de transporte privado donde las personas comparten un carro y cada uno aporta para el sostenimiento del mismo, incluyendo el combustible, que en el caso de Hammarby es biogás o etanol. También se cuenta con un sistema de transporte público muy organizado compuesto por autobuses y un tranvía eléctrico.

El éxito del proyecto radica en que fue enfocado a la sostenibilidad desde su concepción, ya que los desarrolladores fijaron objetivos en materia de usos del suelo, transporte, uso adecuado de la energía y el agua, materiales de construcción sostenibles, manejo de residuos, además de la conservación y creación de zonas verdes para garantizar espacios públicos agradables.

Figura 25. Barrio Hammarby Sjöstad, Estocolmo



Fuente: FRÄNNE, Lars. Hammarby Sjöstad, un proyecto ambiental único en Estocolmo. Estocolmo

## 8.2 DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El principal objetivo del diseño bioclimático, es el de desarrollar estrategias que permitan el aprovechamiento de diversas condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la radiación solar, combinadas con parámetros propios del edificio, como su orientación, elementos de la edificación, número y actividades de sus ocupantes. Todo esto con el fin de lograr una disminución en los consumos de aire acondicionado, calefacción e iluminación artificial, además de garantizar la calidad de los espacios interiores para el bienestar de los ocupantes.

La arquitectura bioclimática se vale del uso de software especializado que contempla diversos parámetros en su análisis como el clima local, asoleamiento y ganancia térmica de la edificación, factores de confort térmico y visual de los ocupantes, entrada de iluminación natural, entre otros. El diseñador debe verificar cada uno de estos parámetros con el fin de determinar como interactúa la edificación con los factores medioambientales, lo que le permite determinar cual es la orientación ideal del edificio, donde deben ubicarse las ventanas y el tamaño de las mismas, además cuales materiales de construcción son óptimos para las condiciones particulares del proyecto, etc. (PANAYIOTOPOULOS, T., PROKOPIOU, A. y TSIPIRAS, K. Diseño arquitectónico bioclimático inteligente)

Cabe resaltar que incluso las estrategias mas simples de diseño bioclimático, puede generar ahorros considerables en los consumos de la edificación, como lo es la orientación del edificio dentro del lote, siempre y cuando no tenga restricciones por construcciones aledañas. Este análisis debe hacerse en la etapa de diseño del proyecto e implica la simulación de la edificación en el software y la variación de la ubicación de la misma en aproximadamente ocho direcciones, para determinar cual es la mas adecuada en términos de incidencia solar en las

fachadas, ganancia térmica, ganancia de iluminación y ventilación natural, entre otros factores que garantizan el mejor desempeño de la edificación en cuanto a eficiencia energética, confort térmico y visual para sus ocupantes.

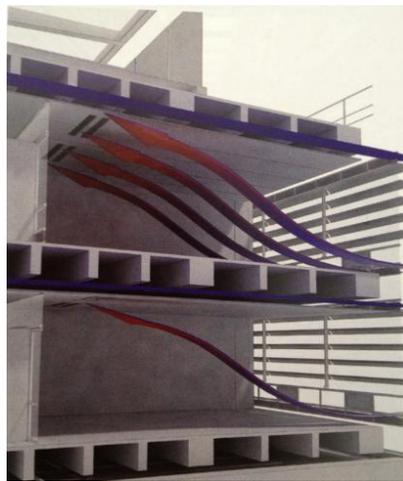
El diseño bioclimático también puede aplicarse a edificaciones existentes, aunque en estas no se puede cambiar su orientación por obvias razones, si se puede intervenir en determinados aspectos que modifiquen su patrón de consumo energético. Todo esto se logra mediante el modelado de la edificación en el programa especializado, el cual da un diagnóstico de los puntos de mayor consumo y determina el potencial de aprovechamiento de los factores medioambientales para mejorar la eficiencia de la edificación. Toda esta información, le proporciona herramientas al diseñador para desarrollar las intervenciones para el caso particular de cada proyecto, no sin antes realizar un estudio de factibilidad de las mismas.

Es importante destacar que la mayoría de los software especializados para el estudio bioclimático de los proyectos, han sido desarrollados Estados Unidos y algunos países Europeos, por lo que se debe tener cuidado con la interpretación de los resultados para proyectos que se desarrollan en países tropicales como Colombia, pues las condiciones son considerablemente diferentes a las de los países para los cuales se hicieron dichos programas de análisis bioclimático.

En Colombia, la arquitectura bioclimática ha empezado a implementarse de manera muy amplia debido a que se tiene la gran ventaja de estar ubicado en el trópico y se pueden lograr temperaturas agradables en las edificaciones sin necesidad de aparatos mecánicos, solo con simples estrategias de diseño bioclimático. Como ejemplo de aplicación, se muestra el edificio de ciencia y tecnología del campus de la universidad Nacional de Bogotá, el cual no cuenta con ningún elemento mecánico de ventilación, pues se hace uso de las corrientes de vientos predominantes de la zona que entran por los cortasoles de la fachada.

También se evaluó el diseño arquitectónico con programas de simulación térmica para ubicar de manera conveniente los espacios principales de la edificación, dimensionar correctamente las ventanas, seleccionar materiales de construcción, etc. (Revista Construcción Sostenible, Diciembre de 2009-Enero de 2010).

Figura 26. Esquema del flujo de vientos a través del edificio de ciencia y tecnología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá



Fuente: Revista Construcción Sostenible, Diciembre de 2009-Enero de 2010

### **8.3 MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS**

La generación de residuos sólidos de todas las actividades humanas, se ha convertido en un problema que trae consecuencias muy desfavorables para el medio ambiente y la salud de las personas. En su mayoría y en muchas ciudades del mundo, los desechos están destinados a acumularse en rellenos sanitarios que no son más que depresiones en el terreno, cubiertas por una membrana interior, dotados con un sistema de captación de lixiviados y un sistema de recolección de gases (GREENPEACE, Resumen de los impactos ambientales y

sobre la salud de los rellenos sanitarios). En la mayoría de los casos, el sistema de recolección de gases, si existe, no es capaz de gestionar adecuadamente las emisiones que allí se producen como benceno, metano, dióxido de carbono y cloruro de vinilo, los cuales contribuyen al efecto invernadero y algunas de estas sustancias son tóxicas y cancerígenas. Por otro lado, la membrana que protege al terreno natural del contacto con los residuos puede presentar filtraciones, lo que permite que los lixiviados se infiltren en el suelo y contaminen las aguas freáticas con plomo, cadmio, níquel, arsénico y otros metales altamente contaminantes. Es por esto, que se hace necesario buscar alternativas que minimicen la cantidad de residuos que deben ser depositados en rellenos sanitarios, para disminuir el impacto sobre el medio ambiente.

**8.3.1 Residuos sólidos urbanos.** Se estima que la producción de residuos en las grandes ciudades se encuentra en valores cercanos a los 2 Kg/Habitante/día, con una composición de residuos muy diversa en la que el componente orgánico representa cerca del 70%, lo cual conlleva a que cualquier material que pueda ser reciclado se contamine con la materia orgánica, dificultando o imposibilitando el proceso de aprovechamiento de los residuos.

Una de las alternativas que se plantea, es tener un programa adecuado de separación de los residuos, lo que permite clasificar el porcentaje de estos que puede ser reciclado e incluso aprovechado para la generación de energía, como es el caso de los residuos orgánicos a través de la biomasa.

En Europa, la empresa Sueca ENVAC, ha desarrollado una alternativa de recolección y separación de residuos, usando un sistema de tuberías que succionan los desechos y los transportan a los lugares de acopio, de donde son recogidos para ser transportados a las plantas de reciclaje o aprovechados de diversas maneras. Dentro de las ventajas de este sistema, esta la disminución del

consumo de combustibles fósiles, pues ya no se requieren los carros para la recolección de los residuos, también se eliminan los problemas de malos olores y proliferación de plagas que causa la basura expuesta. Este sistema también presenta la ventaja de estar disponible las 24 horas del día, lo que garantiza su eficiencia.

Figura 27. Receptores para la recolección de residuos Wembley City, Londres.



Fuente: Sitio web de la empresa Envac

Figura 28. Sistema de ductos para la clasificación de residuos, Wembley City, Londres.



Fuente: Sitio web de la empresa Envac

**8.3.2 Residuos de construcción y demolición.** Los residuos generados en los procesos constructivos o de demoliciones son un problema habitual en el sector y para el caso particular de la ciudad de Medellín, representan un porcentaje mayor que los residuos sólidos urbanos en la producción diaria de desechos de la ciudad (BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. Construcción sostenible para volver al camino). La enorme cantidad de este tipo de residuos que se produce diariamente, hace necesario un tratamiento especial para los mismos y generar una conciencia de clasificación para gestionarlos en las zonas próximas a la obra, disminuyendo la cantidad de estos que van a parar a las escombreras.

Para una correcta gestión, es necesario destinar espacios dentro de la obra, debidamente señalizados, que faciliten la clasificación de los residuos y estos deben estar ubicados convenientemente cerca de los lugares de trabajo para asegurar que se usen adecuadamente. Adicional a esto, se debe capacitar al personal de la obra, tanto trabajadores como subcontratistas, para garantizar la buena clasificación de los residuos y para llevar un control de dicha actividad.

Estas buenas prácticas en la obra, fomentan la reutilización de materiales para diversos usos dentro de la misma obra y facilitan la labor de empresas que se dedican a la producción de materiales de construcción a partir de residuos de demolición, concreto endurecido, cuscus de ladrillo, etc. Esta labor no solo es beneficiosa para el medio ambiente, sino que también puede generar un ingreso adicional o un ahorro a los constructores, pues pueden vender sus residuos clasificados o pueden ahorrar dinero en costos de transporte de desechos a las escombreras como se hace tradicionalmente.

En Medellín existe una empresa llamada SINESCO que se encarga de la recolección, transporte y disposición final de los residuos de construcción, ofreciendo una alternativa mas amigable con el medio ambiente para el manejo de los mismos. El sistema consiste en la ubicación de unos contenedores especiales en los lugares de construcción en los cuales se depositan residuos de concreto, acero, cerámica, ladrillos, entre otros. La efectividad del sistema esta directamente ligada a la responsabilidad de los constructores en la clasificación de los residuos

que se producen en cada obra, pues en muchas ocasiones se depositan en estos contenedores materiales como las bolsas de cemento o cartón que deberían seleccionarse para ser reciclados y no llevados a las escombreras.

Figura 29. Camión de la empresa SINESCO en maniobra de descargue del contenedor.



Fuente: Sitio web de la empresa SINESCO:

## **8.4 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA**

El recurso agua es fundamental para la subsistencia de la vida en la tierra y es por este motivo que se contemplan estrategias que contribuyan a disminuir su consumo cuando se habla de construcción sostenible. La posibilidad de que este recurso empiece a escasear esta latente y es lo que conlleva a racionalizar el uso del agua potable para actividades en las que no se requiere agua tratada, como el riego de jardines, labores de aseo y lavado de autos. También se plantean estrategias para la recolección de las aguas lluvias y la reutilización de las aguas grises.

**8.4.1 Recolección de aguas lluvias.** Las aguas lluvias presentan características muy valiosas, que la hacen apta para ser usada en muchas de las actividades en

las que normalmente se usa agua potable como el riego de jardines, el vaciado de sanitarios y las labores de aseo. El agua lluvia es agua limpia, gratuita y requiere una infraestructura sencilla para su captación, almacenamiento y distribución.

Previo a la instalación de un sistema de recolección de aguas lluvias, se deben tener en cuenta varios aspectos: Disponibilidad de espacio en la edificación para ubicar los tanques de almacenamiento, identificar las superficies colectoras que regularmente son los techos y evaluar las características pluviométricas de la zona. Esta información arrojará datos para determinar la cantidad de agua que se puede recolectar, para de esta manera analizar la viabilidad del sistema.

Los sistemas aguas lluvias están compuestos principalmente por cuatro elementos: La estructuras de captación, conducción, almacenamiento y distribución (bombas). También pueden tener componentes adicionales como interceptores de primeras aguas y sistemas de tratamiento, si el agua va a ser usada para consumo humano, lo que eleva los costos del sistema.

A continuación, se muestra un esquema de un sistema básico de recolección de aguas lluvias:

Figura 30. Esquema básico para la recolección de aguas lluvias:



Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.

**Captación:** La captación de las aguas lluvias se hace generalmente a través de los techos, lo cuales no deben tener una pendiente inferior al 5%. También se puede

captar aguas lluvias de campos abiertos, como campos deportivos o parques, si se adecuan estructuras subterráneas para la conducción de las aguas hasta los tanques de almacenamiento.

Conducción: Los sistemas de conducción cumplen la función de llevar el agua captada a los tanques de almacenamiento. Deben ser dimensionados de acuerdo a las condiciones de pluviosidad de la zona y a la dimensión de la superficie de captación, con el fin de evitar desbordamientos.

Interceptor de primeras aguas: La finalidad de este componente es la de almacenar un volumen de agua inicial, que se destino al lavado de la superficie de captación (Aproximadamente 1 litro por m<sup>2</sup>), con el fin de eliminar el polvo y otros contaminantes que esta pudo albergar, para que no sean transportados a los tanques de almacenamiento. Este interceptor puede ser ubicado en las zonas de jardines o de fácil acceso, para que pueda ser lavado regularmente y las aguas que este contenga, puedan ser aprovechadas para diversos fines.

Almacenamiento: Los tanques de almacenamiento pueden ser fabricados en materiales como concreto y fibra de vidrio. Se deben dimensionar de acuerdo a los volúmenes de agua que se espera captar según la pluviosidad de la zona y el tamaño de la superficie colectora. No deben tener más de dos metros de altura para evitar las sobrepresiones y deben tener un acceso para facilitar labores de mantenimiento y limpieza.

**8.4.2 Equipos eficientes.** La implementación de equipos que minimicen el consumo de agua es una práctica muy popular entre las construcciones sostenibles. Entre estos equipos, se destacan los sanitarios de bajo consumo, sanitarios con reutilización de aguas grises, orinales sin consumo de agua, grifería ahorradora y dispositivos inclusores de aire para grifería existente.

*Sanitarios de bajo consumo:* Los sanitarios antiguos consumen entre 13 y 18 litros de agua por descarga, lo que los hace extremadamente ineficientes. Es por esto que los fabricantes de sanitarios de todo el mundo, se esfuerzan por desarrollar productos que garanticen un menor consumo por descarga, sin sacrificar la capacidad de evacuación y limpieza de los equipos. Actualmente se pueden conseguir sanitarios con un consumo de 3 litros por descarga. También son muy comunes los sanitarios de doble descarga que consumen 4 litros para descarga de líquidos y 6 litros para descarga de sólidos. Con los equipos antes mencionados se pueden lograr significativos ahorros de agua, lo que hace viable la adquisición de estos equipos pues el retorno de la inversión se da en un corto periodo de tiempo.

*Sanitarios con reutilización de aguas grises:* Estos sanitarios constituyen una forma novedosa y eficiente de reutilizar las aguas grises. Existen varios modelos de diversos fabricantes alrededor del mundo, que se han esforzado por ofrecer un producto funcional y con alta calidad de diseño. Estos modelos funcionan con un sistema de filtros para remover los residuos de mayor tamaño y poder así reutilizar las aguas provenientes del lavamanos para la descarga del sanitario, logrando ahorros de hasta el 60% del consumo de agua, comparados con los sistemas tradicionales.

Figura 31. Modelo W+W (washbasin + watercloset) del fabricante Roca.



Figura 32. Eco-baño por el diseñador Jang Woo-seok



Orinales sin consumo de agua: Los orinales secos, son una alternativa muy eficiente para el ahorro de agua en instalaciones como edificios de oficinas, centros comerciales e instituciones educativas que tengan un tráfico de más de 100 usuarios por orinal diariamente. Se estima que el potencial de ahorro aproximado es de 150.000 litros de agua por cada equipo en un año y los costos asociados al mantenimiento y la instalación son menores comparados con los orinales tradicionales.

Estos orinales están equipados con una trampa de olores, que puede ser de diversos tipos, dependiendo del fabricante. Todos requieren un mantenimiento diario que impida los malos olores y la formación de cristales de urea en la tubería.

Grifería ahorradora: El ahorro de agua inicia principalmente por un cambio en el comportamiento del usuario pero también se puede ayudar mediante la implementación de dispositivos ahorradores. Para el caso de las duchas, que tradicionalmente consumen entre 3 y 7 galones por minuto, se puede hacer el reemplazo por duchas más eficientes que tiene un consumo de 2.5 galones por minuto y no afectan la comodidad del usuario, también existen duchas programables que se cierran después de haber consumido una determinada cantidad de agua o al haber transcurrido cierto tiempo.

En cuanto a las griferías de lavamanos y lavaplatos, que tradicionalmente consumen entre 3 y 5 galones por minuto, se puede encontrar alternativas para lavamanos de 0.5 gpm y de 2.5 gpm para lavaplatos, lo que representa un ahorro significativo en el consumo de agua.

**8.4.3 Casos de éxito.** La eficiencia en el uso del recurso agua es un tema de gran importancia cuando se habla de sostenibilidad. Es por eso que todos los proyectos sostenibles incluyen alguna estrategia para darle un adecuado manejo a este importante recurso.

Edificio de dirección general Bancolombia: Este edificio de 138101 m<sup>2</sup> construido, ubicado en la ciudad de Medellín, obtuvo la certificación LEED Gold para edificaciones existentes por reunir muchos parámetros que garantizan su compromiso con el medio ambiente y con la calidad de vida de sus trabajadores. Entre estos parámetros de sostenibilidad, se encuentra el buen manejo del recurso agua para lo que se instalaron sensores en lavamanos, orinales sin uso de agua y un sistema de recolección de aguas lluvias que abastece las torres de

enfriamiento del aire acondicionado para lograr ahorros considerables en el consumo.

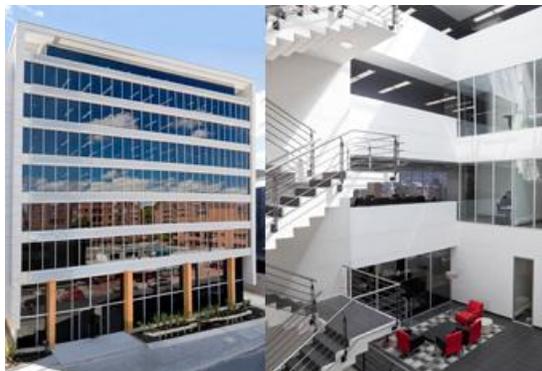
Figura 33. Edificio dirección general Bancolombia, Medellín



Fuente: Periódico el Espectador

Edificio Novartis, Bogotá: Este edificio de la sede farmacéutica Novartis con un área de 9700 m<sup>2</sup>, ubicado al norte de la ciudad de Bogotá, fue el primer proyecto en Colombia en recibir la certificación LEED. Este edificio cuenta con un tanque para la recolección de aguas lluvias de 15500 galones, las cuales son tratadas para su posterior consumo en el riego de jardines y descarga de sanitarios, con lo que se logran ahorros en el consumo de agua de aproximadamente 45% (periódico Portafolio, Agosto 19 de 2011)

Figura 34. Edificio sede farmacéutica Novartis, Bogotá.



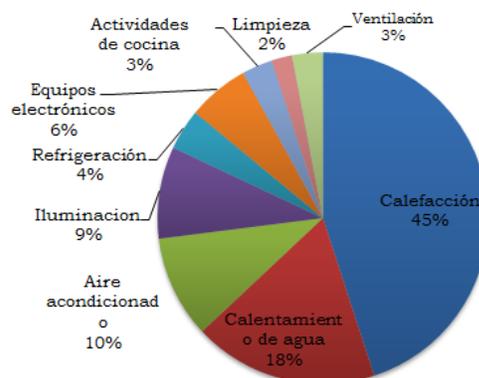
Fuente: Construdata

## 8.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA.

En el mundo, las energías fósiles y nucleares constituyen una de las principales formas de energía. Este tipo de energía necesita de un proceso de combustión en centrales térmicas o calderas, lo que produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, contribuyendo enormemente a fenómenos como el efecto invernadero y el calentamiento global (GARCÍA BELTRÁN, Sergio, KOCHOVA, Lucie y PUGLIESE, Giuseppe. Uso de la energía en los edificios). Estos efectos adversos, han llevado a la investigación para el uso de energías alternativas y estrategias que puedan disminuir los consumos en todas las actividades humanas, especialmente en las edificaciones que son uno de los grandes demandantes de energía en el planeta. Según el departamento de energía de los Estados Unidos, las edificaciones son las responsables del consumo del 41% de la energía en ese país y se ha evidenciado un incremento del consumo de un 50% en los últimos 30 años.

El consumo de energía en las edificaciones, se reparte entre las diferentes actividades y se consideran la calefacción, el calentamiento de aguas, el aire acondicionado y la iluminación como los principales responsables del consumo alcanzando un valor cercano al 70% del consumo total de la edificación.

Figura 35. Consumo energético en edificaciones residenciales en Estados Unidos.



Fuente: Sitio web del departamento de energía de los Estados Unidos (U.S. Department of Energy)

**8.5.1 Aislamiento térmico.** Debido a los altos consumos de energía en las actividades de climatización, se hace necesario estudiar los materiales que constituyen la envolvente de un edificio pues permiten la ganancia o pérdida de calor de la edificación de acuerdo con las condiciones exteriores por medio de un fenómeno llamado “Transferencia de calor”, que indica que el calor fluye desde los espacios calientes hacia los espacios mas fríos. Este fenómeno hace necesario que exista un buen aislamiento térmico, que permita una mayor conservación de la temperatura interior disminuyendo así la carga sobre los equipos de climatización.

Existen diversos materiales que sirven como aislantes térmicos, que pueden ser de origen vegetal (corcho, paja, fibra de madera), mineral (fibra de vidrio, lana mineral, vidrio espumoso) o sintéticos (poliestireno expandido, PVC). Cabe resaltar que para la selección de estos materiales aislantes es necesario identificar factores como su energía incorporada y su nivel de emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC) para determinar que tan compatibles son con una construcción sostenible. También se requiere verificar su valor R, para comprobar como el material puede soportar el flujo de calor y de frío a través de su estructura, lo que comprueba su efectividad como material aislante.

También debe tenerse en cuenta la situación climática de la región a la hora de seleccionar los materiales para una edificación. Un claro ejemplo, es que los edificios con una envolvente compuesta por vidrio, son altamente ineficientes en términos de energía en lugares calientes, ya que por cada 1% que aumente el coeficiente de acristalado de la envolvente del edificio, el consumo de energía aumenta en igual porcentaje. Lo que no ocurre en climas fríos, donde los edificios de este tipo son más eficientes energéticamente pues se genera una especie de efecto invernadero al interior y se reduce la necesidad de calefacción artificial.

**8.5.2 Estrategias de climatización eficientes.** En términos de equipos utilizados para la climatización artificial, son muchos los avances que se han logrado para hacerlos mas eficientes en cuanto al consumo de energía y para mitigar el daño que estos equipos causan en el medio ambiente.

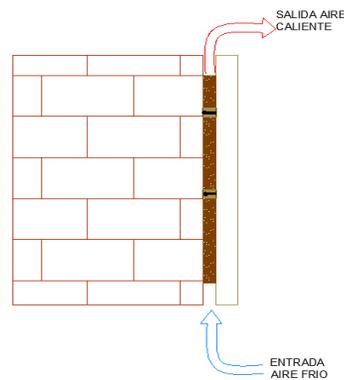
Cuando se habla de aire acondicionado, la gran preocupación es el uso de refrigerantes que causan daños a la capa de ozono, como es el caso de los clorofluorocarbonos (CFC), que son gases capaces de permanecer en la alta atmósfera durante décadas y que por cada molécula de estos gases, que escape de un sistema de aire acondicionado o refrigeración, se consumen miles de moléculas de ozono estratosférico, el cual es el responsable de absorber los malignos rayos ultravioletas del sol. El gas más común en aires acondicionados es el R-22. Para dar solución a este problema, se han investigado sobre nuevos gases refrigerantes, considerados ecológicos que disminuyen los efectos adversos sobre la capa de ozono y no contribuyen a fenómenos como el calentamiento global, como es el caso del R-407c que esta siendo utilizado como reemplazo de dañino R-22.

Existen diversas estrategias que pueden implementarse para reducir el trabajo de los equipos de climatización de una edificación, mediante el diseño bioclimático y la selección de materiales, entre las cuales se destacan:

- Identificar la correcta orientación del edificio, de manera tal que en invierno capte la radiación solar y en verano se proteja de ella, con lo que se pueden lograr ahorros cercanos al 10%.
- Lograr efectos de ventilación cruzada mediante el estudio de las condiciones de vientos del lugar, lo que permite una circulación de aire fresco a través de la estructura.
- Utilizar estructuras de protección solar sobre las fachadas como cortasoles, que impiden la incidencia directa de los rayos solares sobre la estructura, reduciendo la ganancia de calor de la misma.

- Sellar correctamente las uniones de puertas y ventanas para evitar la pérdida de la temperatura interior y reducir la carga sobre los equipos.
- Diseño de fachadas transventiladas que constituyen una segunda piel para el edificio logrando un excelente aislamiento térmico para la estructura mediante la creación de una cámara de aire entre la fachada y el elemento de revestimiento.

Figura 36. Esquema de una fachada transventilada.



- Manejo adecuado del paisaje alrededor del edificio, mediante la siembra de árboles que den sombra, inclusión de espejos de agua, etc., que logren refrescar el ambiente y así también reduzcan la temperatura interior de la edificación.
- Instalación de ventiladores de techo, cuando las condiciones climáticas no sean tan extremas para exigir un sistema de ventilación mecánico.

**8.5.3 Iluminación.** La iluminación artificial es responsable de un alto porcentaje del consumo de energía de las edificaciones y debido a esto, se crea la necesidad de pensar en alternativas que permitan disminuir la cantidad de energía que se consume para este fin.

Una de las estrategias claves, es el uso de la iluminación natural, lo que adicional al beneficio ambiental, también produce sensación de bienestar a los ocupantes. Existen diversas formas de potencializar el uso de la iluminación natural en los edificios, que se logran mediante el diseño arquitectónico, con la inclusión de tragaluces en la fachada y en la cubierta, aumento en el tamaño de las ventanas y el uso de dispositivos que captan la luz del exterior y la reflejan en el interior, como es el caso de los SUNOPTICS, que son dispositivos en forma de domo, que se colocan en la cubierta y están hechos de un material prismático que capta los rayos del sol, los maximiza y los distribuye uniformemente, sin ganancia térmica alguna. Estos dispositivos pueden generar un ahorro muy significativo en el consumo de energía pues en la mayoría de los casos no se requiere iluminación artificial en los lugares donde son instalados.

Figura 37. Ejemplo de la utilización de SunOptics en las Tiendas Wal-Mart en Estados Unidos.



Fuente: Sitio web de la empresa SunOptics

Otra estrategia que se emplea para la disminución de los consumos de energía por parte de la iluminación, es la inclusión de bombillas ahorradoras acompañadas de sistemas de automatización. Las tradicionales bombillas incandescentes, que fueron usadas ampliamente por mas de cien años en todo el mundo, fueron reemplazadas por otras mas eficientes y menos contaminantes para el medio

ambiente, como es el caso de la tecnología fluorescente y LED, siendo la tecnología LED la que garantiza una mayor eficiencia y tiene una menor energía incorporada durante su producción y reciclaje, pero su mayor desventaja frente a la fluorescente es su elevado costo. A continuación se presenta un comparativo entre estas dos tecnologías en cuanto a su consumo y vida útil:

Tabla 3. Comparativo entre los diferentes tipos de bombillas.

	<b>BOMBILLAS INCANDESCENTES</b>	<b>BOMBILLAS FLUORESCENTES</b>	<b>BOMBILLAS LED</b>
<i>EFICIENCIA ENERGÉTICA (Lumens/watt)</i>	10-17	50-70	60-92
<i>VIDA ÚTIL PROMEDIO (Horas)</i>	750-2500	10000	25000-50000

Fuente: Departamento de energía de los Estados Unidos (U.S. Department of Energy)

Independientemente del tipo de bombilla que se elija, se pueden incrementar los porcentajes de ahorro si se emplean sistemas de automatización. Entre los mas usados, se encuentran los sensores de presencia que se activan cuando detectan movimiento, encendiendo las luces para evitar el consumo cuando nadie esta en el espacio determinando y los sensores de luz natural, que dimerizan la iluminación artificial de acuerdo a la cantidad de luz natural disponible para mantener los niveles de iluminación requeridos.

**5.5.4 Energía solar.** El uso de la energía solar, que es la energía radiante del sol recibida en la tierra, se ha perfilado como una alternativa muy viable para remplazar las energías provenientes de combustibles fósiles y es considerada como una energía limpia pues no contamina durante su proceso de obtención, además es una energía gratuita e inagotable.

Este tipo de energía es usada principalmente en edificaciones para generar electricidad por medio de la energía solar fotovoltaica y para el calentamiento de agua por medio de la energía solar térmica. La energía fotovoltaica se logra mediante la ubicación de unas celdas especiales fabricadas de metales sensibles a la luz, que captan la energía solar y la transforman en energía eléctrica en forma de corriente continua, la cual es almacenada para ser usada en diversos fines. De otro lado, la energía solar térmica, es aquella que se usa para producir calor mediante el uso de paneles solares térmicos, los cuales son capaces de calentar fluidos como el agua a temperaturas que están entre los 40 y 50°, para su uso doméstico o industrial.

Figura 38. Paneles solares para el calentamiento de agua en el Fuerte de carabineros del parque Arví, Santa Helena.



Fuente: Hybrytec

El uso de la energía solar fotovoltaica para abastecer proyectos en un 100% encuentra limitantes debido al costo de los paneles y la cantidad de área requerida para la ubicación de los mismos, pero se pueden usar el sistema de paneles solares de manera interconectada con la red de energía, para que estos sirvan de apoyo y se puedan lograr disminuciones en los consumos. Este es el caso del sistema de paneles solares de 3kWp que esta instalado en el jardín botánico de la ciudad de Medellín, el cual según la empresa responsable de la instalación del sistema Hybrytec, es capaz de producir de manera autónoma, la energía necesaria para el funcionamiento de 15 computadores por día.

Figura 39. Sistema Fotovoltaico del Jardín Botánico, Medellín.



Fuente: Hybrytec

## 9 CONCLUSIONES

La construcción sostenible enfrenta muchos desafíos en la actualidad, entre los que se destaca principalmente la gran inercia que presentan los constructores ante cualquier alternativa diferente a lo que conocen o que represente una forma de trabajar que cambie el sistema que han venido implementando desde hace varias décadas. El cambio está en manos de las nuevas generaciones, las cuales deben ser orientadas desde la academia a pensar en la implementación y desarrollo de alternativas más amigables con el medio ambiente en el sector de la construcción. Todo esto se logra fortaleciendo la investigación mediante la destinación de recursos para este fin y la motivación de los estudiantes a orientarse por este camino.

En cuanto al costo de los proyectos que siguen los lineamientos de la construcción sostenible, que en la mayoría de los casos es inicialmente mayor que un proyecto tradicional, es necesario cambiar la mentalidad cortoplacista y evaluar los proyectos en el tiempo, incluyendo análisis de retorno de inversión por ahorros durante la operación y construcción del proyecto, además de evaluar el valor agregado en cuanto a bienestar y salud de los ocupantes de las edificaciones sostenibles.

La construcción sostenible es una opción para el control de factores como el cambio climático y el efecto invernadero. Además de ser una forma de contribuir a que la conservación de la vida en la tierra como se conoce actualmente.

Las estrategias y materiales de construcción sostenible mencionadas en este trabajo, son mas eficientes en la medida en la que se apliquen de manera conjunta en los proyectos. Es decir, la implementación aislada de alguna de ellas, produce por si beneficios para las personas, económicos y medioambientales pero se

logran mayores beneficios cuando todas estas hacen parte integral de los proyectos.

## 10 RECOMENDACIONES

Se hace importante desarrollar y fortalecer en Colombia una normatividad que obligue al sector de la construcción a eliminar de raíz las malas prácticas que causan problemas ambientales y a implementar los sistemas y materiales de construcción sostenible mencionados en este trabajo. Es necesario que sea una normatividad desarrollada en el país y no copiada de normas internacionales pues en muchos casos, estas no se ajustan a las condiciones climáticas, sociales, económicas y medioambientales del país.

Es imperante iniciar con las estrategias de construcción sostenible desde la concepción del proyecto para lograr todos los beneficios que esta ofrece, aunque también pueden implementarse algunas de las prácticas mencionadas en este trabajo durante la operación de un proyecto, lo que se conoce con el nombre de retrofit, el cual representa parte importante de la construcción sostenible pues deben adecuarse los edificios antiguos de las ciudades para ser mas eficientes y seguros, sin enfocarse solo en los nuevos desarrollos.

## 11 BIBLIOGRAFIA

ATLANTIS, Sistemas de drenaje urbano sostenible. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), España. 4 p.

BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. Construcción sostenible para volver al camino. Medellín, Colombia, Biblioteca jurídica Diké, 2011. 160 p.

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, Revista Construdata N1, Diciembre de 2009-Enero de 2010, páginas 10-16.

FERNANDEZ, Bonifacio, RIVERA, Pedro y MONTT, José. Con bajo impacto hidrológico ambiental: Uso de pavimentos permeables. Chile, Revista BIT, 2003

FRÄNNE, Lars. Hammarby Sjöstad, un proyecto ambiental único en Estocolmo. Estocolmo, GlashusEtt, 2007. 33 p.

GARCÍA BELTRÁN, Sergio, KOCHOVA, Lucie y PUGLIESE, Giuseppe. Uso de la energía en los edificios. Proyecto IUSES, 2010. 98 p.

GIRARDET, Herbert. Ciudades: Alternativas para una vida urbana sostenible. Celeste, Madrid, 1992.

GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES. Introducción a la tecnología de muros verdes, beneficios y diseño. 2008. 38 p.

GREENPEACE, Resumen de los impactos ambientales y sobre la salud de los rellenos sanitarios. Argentina, Campaña basura cero, 2004. 15 p.

Houben, Hugo, Rigassi, Vincent y Garnier, Philippe. Bloques de tierra comprimidos: Producción y equipo. Bruselas, Bélgica, Ediciones CRATerre-EAG, 1996. 155p.

Maniatidis, Vasilios y Walker, Peter. Una Mirada a la construcción en tapia. Bath, Inglaterra, University of Bath, 2003. 118 p.

Means, R.S. Construcción verde: Planeación del proyecto y presupuestos. Estados Unidos, 2006. 452 p.

Minke, Gernot. Muros y fachadas verdes, jardines verticales. Cali, Colombia, Primera edición en español, 2012. 88 p.

Organización Panamericana de la Salud. Guía de diseño para la captación del agua lluvia. Lima, Perú, CEPIS, 2004. 15 p.

Panayiotopoulos, T., Prokopiou, A. y Tsipiras, K. Diseño arquitectónico bioclimático inteligente. Atenas, Grecia, Universidad de Piraeus. 8 p.

Salazar, Alejandro. Producción de ecomateriales con base en residuos sólidos industriales y escombros de construcción. Cali, Colombia. 10 p.

———, Abordando el tema de los ecomateriales desde la ciencia y la tecnología. Cali, Colombia. 27 p.

———, Tecnologías desarrolladas y aplicadas. Cali, Colombia. 22 p.

Van Tijen, Michelle y Cohen, Rebecca. Verdades y beneficios de los techos fríos. Journal of green building, Volumen 2, 2008. 19 p.

VARES, Sirje y HÄKKINEN, Tarja. Cargas medioambientales de la producción de concreto y productos de cemento. Finlandia, Technical Research Centre of Finland. 15 p.

YUDELSON, Jerry. Construcción verde de la A a la Z. Canadá, New Society Publishers, 2007. 241 p.