

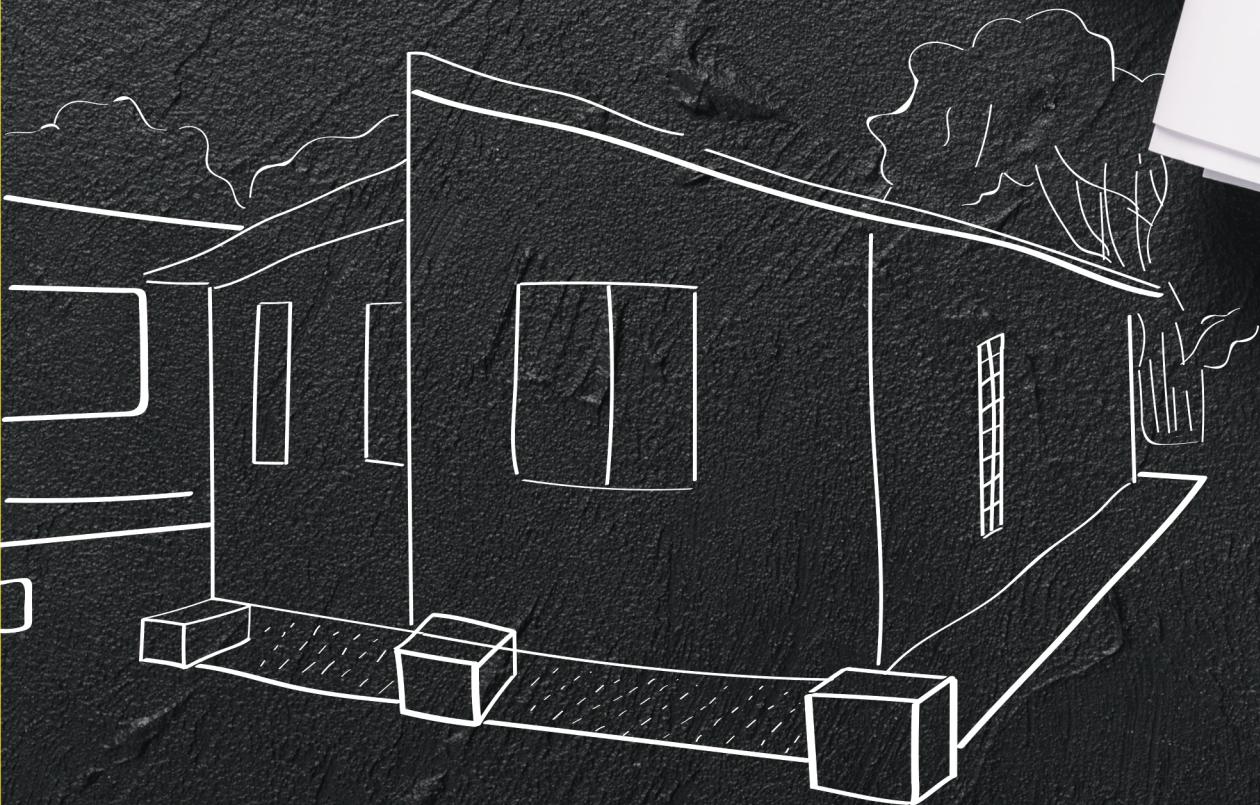


UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
CALI

Casa de carácter **sostenible**

Construcción de un prototipo
de vivienda de bajo costo

Ejercicio interdisciplinario de los programas
de Arquitectura e Ingeniería Electrónica.





Casa de carácter sostenible.
Construcción de un prototipo de vivienda de bajo costo.
Ejercicio interdisciplinario Programa de Arquitectura e Ingeniería Electrónica

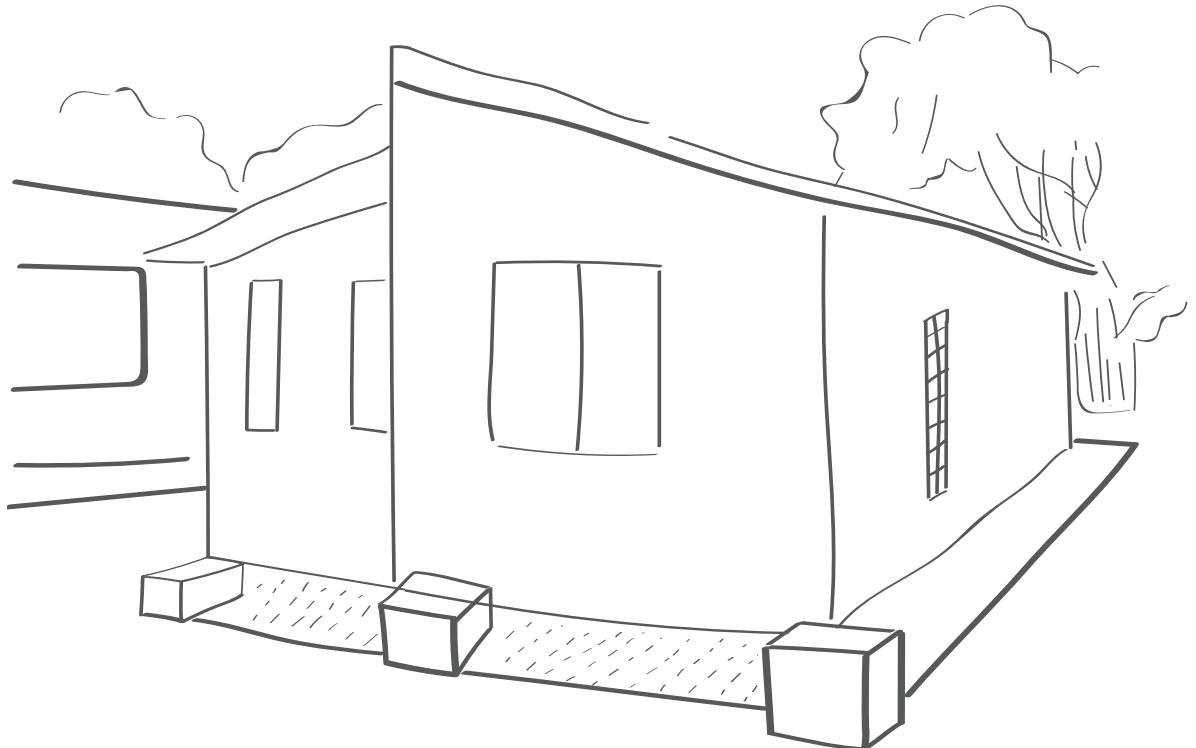


UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
CALI

Casa de carácter sostenible

Construcción de un prototipo
de vivienda de bajo costo

Ejercicio interdisciplinario de los programas
de Arquitectura e Ingeniería Electrónica.



Diego Fernando Gómez Etayo • Edward Fernando Toro Perea • Juan Carlos Cruz Ardila

2018

Gómez Etayo, Diego Fernando

Casa de carácter sostenible. Construcción de un prototipo de vivienda de bajo costo.
Ejercicio interdisciplinario de los programas de arquitectura e ingeniería electrónica / Diego Fernando Gómez Etayo, Edward Fernando Toro Perea, Juan Carlos Cruz Ardila. - Cali : Editorial Bonaventuriana, 2018

120 p.
ISBN: 978-958-5415-31-7

1. Casas sostenibles - Colombia 2. Arquitectura y medio ambiente 3. Arquitectura moderna - Siglo XXI 4. Arquitectura doméstica 5. Domótica en arquitectura 6. Arquitectura sostenible 7. Diseño sostenible 8. Arquitectura - Aspectos ambientales 9. Diseño arquitectónico I. Gómez Etayo, Diego Fernando II. Toro Perea, Edward Fernando III. Cruz Ardila, Juan Carlos IV. Tít.

728.047 (D 23)
G633

© Universidad de San Buenaventura Cali

 Editorial Bonaventuriana

Casa de carácter sostenible

Construcción de un prototipo de vivienda de bajo costo

**Ejercicio interdisciplinario de los programas de Arquitectura
e Ingeniería Electrónica**

© Autores: Diego Fernando Gómez Etayo, Edward Fernando Toro Perea,
Juan Carlos Cruz Ardila

© Editorial Bonaventuriana, 2018
Universidad de San Buenaventura
Dirección Editorial Cali
PBX: 57 (1) 520 02 99 - 57 (2) 318 22 00 - 488 22 22
e-mail: editorial.bonaventuriana@usb.edu.co
www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co
Colombia, Suramérica

Los autores son responsables del contenido de la presente obra.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio,
sin permiso escrito de los editores.

© Derechos reservados de la Universidad de San Buenaventura.

ISBN: 978-958-5415-31-7
Tiraje: 150 ejemplares

Cumplido el depósito legal (ley 44 de 1993, decreto 460 de 1995 y decreto 358 de 2000)
2018

Contenido

Agradecimientos	9
Introducción	11
Antecedentes	13
– El problema del déficit de vivienda	13
– La vivienda en el entorno local	16
– La arquitectura sostenible	18
– Estado del arte de la vivienda sostenible en Colombia	23
Formulación de la propuesta	27
– Interdisciplinariedad académica	27
– Condiciones del entorno	28
– Requerimientos socioeconómicos	29
– Requerimientos arquitectónicos	30
Materialidad del prototipo	33
– Bloque estructural	34
– Proceso de fabricación del bloque	34
– Producción del bloque con una vibrobloquera portable	35
– Resultados y análisis de la producción de bloque con escoria de aluminio con la vibrobloquera portable	36
– Teja de fibrocemento	37
– Procesos de producción de elementos laminares cementicios	37
– Concreto translúcido	43

Domótica en arquitectura	47
– La domótica	47
– Energía alternativa para la vivienda sostenible	53
– Aplicación electrónica para el ahorro de agua en una vivienda familiar	72
– Sistema electrónico para protección patrimonial	85
Determinantes arquitectónicos y constructivos	91
– Propuesta técnico-constructiva	91
– Propuesta arquitectónica y medioambiental.....	94
– Planos arquitectónicos y técnicos	95
– Presupuesto de la obra	97
Seguimiento fotográfico del proceso constructivo	99
Conclusiones y recomendaciones	105
Bibliografía	107

Agradecimientos

A las estudiantes Leidy Vanessa Monsalve Moreno, Isabel Helena Bolaños y Paola Fernanda López, pertenecientes al semillero de innovación de nuevos materiales.

Al estudiante Miguel Gómez Aristizábal, cuyo trabajo de grado: *Evaluación y solución de problemas térmicos y acústicos de una vivienda con modelo autosostenible*, fue de gran importancia para esta investigación.

Introducción

El diseño y construcción de una vivienda es, por antonomasia, el objetivo primordial de la arquitectura y usualmente se convierte en el principal ejercicio académico y profesional de quienes están involucrados en el tema constructivo. La vivienda es, además, una de las principales necesidades que se deben cubrir para garantizar la supervivencia de la especie humana, lo que ha llevado al hombre a buscar constantemente cómo mejorar las condiciones de confort que ella le debe proveer.

Con el antecedente de las labores humanitarias desarrolladas por la oficina de Pastoral Universitaria de la Universidad de San Buenaventura Cali, con el fin de solventar las necesidades básicas de una familia de bajos recursos, un grupo interdisciplinario de docentes de esta universidad se propuso hacer su aporte por medio de una investigación alrededor de la vivienda de bajo costo, en la cual desarrolló un ejercicio académico que permitiera aunar esfuerzos y conocimientos en torno a una propuesta de vivienda, la cual unida a la problemática actual sobre la sostenibilidad y economía en el consumo energético, contribuyera en la búsqueda de soluciones constructivas coherentes con la realidad social, económica y ambiental de la población colombiana de bajos recursos, que desde tiempo atrás reclama propuestas encaminadas a solventar con calidad esta necesidad básica.

Con el apoyo de la Dirección de Investigaciones de la Universidad de San Buenaventura Cali y las decanaturas de Arquitectura e Ingeniería, el presente documento reseña el desarrollo y resultado de la investigación interdisciplinaria *Construcción de un prototipo para una casa de carácter sostenible*, inscrita en los grupos de investigación Arquitectura, Urbanismo y Estética, Biotecnología y Laboratorio de Electrónica Aplicada, la cual se enmarca dentro del compro-

miso de la Universidad de San Buenaventura Cali con la proyección social, entendida como

[...] la relación permanente que la institución establece con la comunidad o medio externo para articularse con ella. Por medio de la investigación y la docencia influye en los procesos de transformación social y en las realidades de su propio desarrollo; se vincula a la búsqueda de soluciones e interpretaciones de los problemas sociales en las comunidades regionales y nacionales [...] (PEB, 2010, p. 68).

Derivados de las disciplinas involucradas en la investigación, tres aspectos forman parte integral de la propuesta:

1. El diseño arquitectónico bioclimático, encargado de proveer las relaciones espaciales requeridas por los usuarios de la vivienda bajo las condiciones de confort compatibles con el contexto climático general de la ciudad de Cali.
2. La utilización de materiales de carácter sostenible, específicamente el bloque de concreto para la ejecución de los muros, las tejas de fibrocemento de cubierta y el concreto translúcido para algunos accesorios de la casa, que utilizan como materia prima para su elaboración material de reciclaje y compuestos orgánicos y químicos amigables con el medioambiente.
3. El empleo de algunas aplicaciones electrónicas que enmarcadas en el concepto de domótica, optimizan procesos cotidianos de la vivienda, como el aprovechamiento de la energía solar en vez de la energía convencional mediante la implementación de celdas fotovoltaicas; el control de la recirculación y aprovechamiento de aguas grises, y la protección patrimonial por medio de sensores de aproximación.

El proyecto investigativo estuvo involucrado directamente con procesos académicos y en él participaron varios estudiantes en sus diferentes facetas y etapas, quienes recibieron los créditos correspondientes a sus aportes y se mencionan donde haya lugar.

Una vez culminado el proceso investigativo, se prevé que el prototipo continúe siendo utilizado académicamente por los programas involucrados, convirtiéndose de esta manera en un laboratorio de experimentación directa que permita implementar en el modelo diversos tópicos relacionados con el asunto de la vivienda.

Finalmente, los autores agradecen el decidido apoyo de las diversas instancias de la Universidad de San Buenaventura Cali, que en diferentes momentos aportaron para la culminación con éxito de este proceso.

Antecedentes

Como se ha mencionado, la investigación aporta a la solución del déficit de vivienda en nuestro país, con la propuesta de un proyecto de prototipo experimental que integre diversos aspectos de actualidad desde la perspectiva de la sostenibilidad, entendida como el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin crear problemas medioambientales ni comprometer la demanda de las generaciones futuras. El desarrollo de la propuesta involucra la ampliación del conocimiento en diversos aspectos, los cuales se describen a continuación.

El problema del déficit de vivienda

Según las Naciones Unidas, el déficit habitacional en el mundo para el mes de junio de 2006 era bastante elevado. Se estimaba que 1100 millones de personas vivían en tugurios¹ y la tendencia indica un incremento de esa cifra en 600 millones más para el 2020. Este problema afecta a países de todo el mundo y los mantiene en el atraso, la pobreza y la miseria social y económica. De nuestra parte, el déficit habitacional en América Latina y el Caribe está relacionado con una de las tasas de urbanización más altas del mundo y las Naciones Unidas prevé que para el 2020 el porcentaje de la población de este sector del mundo que habitará en zonas urbanas superará al de los países desarrollados,² convirtiéndose

-
1. Tercer Foro Urbano Mundial: "Volver a Vancouver: entre los compromisos pendientes y las nuevas ideas y prácticas sociales". Discurso de Enrique Ortiz Flores, presidente de la Coalición Internacional para el Hábitat (HIC), en la sesión plenaria inaugural. 19 de junio de 2006.
 2. <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-projects-2014.html>

así en una región urbanizada con casi el 80 % de sus 600 millones de habitantes viviendo en ciudades. De acuerdo con el informe del BID de mayo de 2012,

[...] una de cada tres familias de América Latina y el Caribe —un total de 59 millones de personas— habita en una vivienda inadecuada o construida con materiales precarios o es carente de servicios básicos. Casi dos millones de las tres millones de familias que se forman cada año en ciudades latinoamericanas se ven obligadas a instalarse en viviendas informales, como en las zonas marginales, a causa de una oferta insuficiente de viviendas adecuadas y asequibles, según el estudio *Un espacio para el desarrollo: los mercados de la vivienda en América Latina y el Caribe*.³

Según informe de Fedelonjas, a mayo del 2006 había en Colombia un déficit habitacional de cerca de 2,5 millones de viviendas, de las cuales el 70 % correspondía a vivienda de interés social. Cabe aclarar que estos datos no son completamente creíbles y certeros, pues en el pasado han errado en la estimación dada por distintas entidades. Un informe de Camacol de junio del 2001 que tomó como base el censo de 1993, proyectó para la misma fecha un déficit de vivienda de cerca de un millón cuatrocientas mil unidades en el país. Sin embargo, en el 2004 el presidente de Camacol de ese entonces, Eduardo Jaramillo Robledo, estimó que el déficit habitacional era de un millón quinientas mil unidades. Finalmente, de acuerdo con el informe citado del BID, el 37 % de las familias colombianas no cuenta con un techo para vivir o habitan en viviendas de mala calidad. Es posible que en términos generales las cifras no concuerden, pero es claro que nuestro país sufre este problema habitacional de manera permanente que se agudiza en las grandes ciudades no solo por su crecimiento interno, sino también por fenómenos como el desplazamiento.

Históricamente, los ritmos de construcción de vivienda en el país han sido insuficientes para atender la demanda y reducir el déficit habitacional, a pesar de que en respuesta a esta problemática los diferentes gobiernos han desarrollado diversos planes de vivienda. Estos ritmos históricos de producción de vivienda quedaron marcados por el punto de quiebre de finales de los años noventa que produjo la crisis del sector hipotecario y de la actividad edificadora. La gravedad de sus efectos replanteó tanto el modelo de producción a través del desarrollo de proyectos bajo el esquema de ventas sobre planos, como el modelo de financiación mediante la eliminación del UPAC. Adicionalmente, se introdujeron importantes cambios institucionales que lograron el fortalecimiento de la actividad.

3. <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2012-05-14/deficit-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe,9978.html>

En el 2000, la actividad edificadora de vivienda comenzó un periodo de ascenso que culminó en el 2007 en un nivel de producción anual tres veces mayor al de principios de la década, crecimiento fundamental para consolidar el desarrollo del sector en los años siguientes. Sin embargo, ante la creciente formación de hogares, la continua migración del campo a la ciudad y un déficit habitacional permanente, los niveles de producción alcanzados no han permitido reducir la brecha existente entre la oferta y la demanda de vivienda en el país, a pesar de los importantes avances en la política de vivienda de los últimos años y de la gestión llevada a cabo por gobiernos recientes en materia habitacional. No obstante, el desarrollo de nuevas estrategias para aumentar la producción de vivienda ha tenido un impacto positivo sobre el desempeño del sector, con su efecto multiplicador sobre los demás renglones de la industria.

Hasta mediados de la década de los noventa, el crecimiento del sector estuvo acompañado de un *boom* en los precios de la finca raíz y de un crecimiento sostenido de la cartera hipotecaria. Sin embargo, en la fase descendente del ciclo caracterizada por agudos niveles de desempleo y altas tasas de interés, emergieron las debilidades de los modelos de construcción y financiación existentes. Es así como el número de viviendas construidas anualmente pasó de 137 000 unidades en 1993 a menos de 30 000 en 1999.⁴

Transcurrido el año 2000, la actividad registró tasas de crecimiento anuales promedio de 61 % hasta el año 2003 cuando el sector presentó una leve disminución de 11 500 unidades en el nivel anual de producción. Posteriormente, la producción de vivienda creció a tasas anuales cercanas al 15 % entre 2005 y 2007, año en el cual se alcanzó la construcción de 163 000 unidades, 50 % de las cuales fueron viviendas de interés social (VIS).

En los últimos años, la actividad ha mostrado un decrecimiento debido a factores como la crisis internacional, la cual trajo efectos negativos sobre la economía. Sin embargo, el nivel del último año es todavía superior al promedio registrado en la última década (95 000). Hoy en día, el déficit se mantiene y la oferta de vivienda para diferentes estratos socioeconómicos –en especial los más bajos– sigue siendo una preocupación permanente del Estado y de los intereses particulares y asunto de continuo debate en lo concerniente a los aspectos que marcan el crecimiento del país.

Por su parte, la Constitución Política de 1991 establece, en el artículo 51, lo siguiente:

4. La vivienda 2011-2014: El gran salto en la producción habitacional. Informe económico Camacol. No. 23. Agosto de 2010.

Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda.

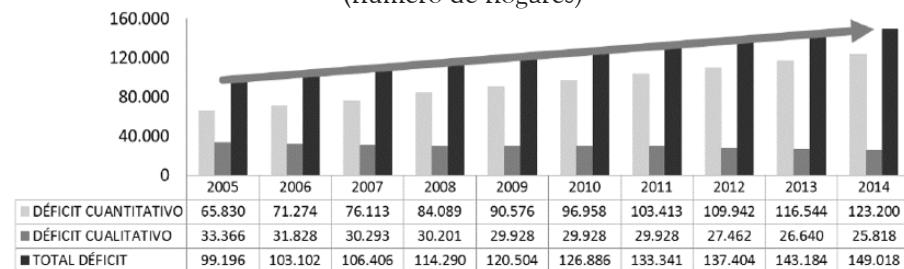
Para dar alcance a este mandato y tras el señalamiento de la vivienda como una de las “cinco locomotoras” del crecimiento económico, la administración Santos propuso la construcción de un millón de viviendas durante su mandato, de las cuales cerca del 70 % estarían orientadas a atender la demanda de las familias de menores ingresos. Camacol ha denominado esta propuesta “El gran salto”, pero el cumplimiento de esta expectativa está lejos de lo esperado. La última iniciativa estatal, denominada “Mi casa ya”⁵ (marzo de 2015), dirigida a familias que ganan entre dos y cuatro SMLV, forma parte de la propuesta global del actual gobierno Santos y pretende aportar en esta problemática con inyecciones crediticias importantes.

En conclusión, el esfuerzo que significa llevar a cabo este proyecto desde una entidad privada como la Universidad de San Buenaventura Cali, hace eco a la preocupación estatal sobre el asunto y desde este punto de vista es naturalmente justificable que nos interesemos en aportar soluciones a un problema acuciante en nuestro país.

La vivienda en el entorno local

El Gráfico 1, tomado del informe Cali, cómo vamos de 2014, enseña la perspectiva negativa respecto del déficit de vivienda creciente en nuestra ciudad y genera por sí mismo una respuesta a la pregunta de por qué esta cuestión resulta de vital interés para la comunidad.

Gráfico 1
Proyección déficit de viviendas
(número de hogares)



Fuente: Secretaría de Vivienda Social. Datos proyectados del plan estratégico de vivienda 2010 de la Alcaldía de Cali y Camacol.

5. <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/0428%20-%202015.pdf>

A pesar de estas cifras, en general no hay un consenso que indique datos exactos con respecto al déficit habitacional en materia de vivienda social en nuestra ciudad, pues otras fuentes mencionan cifras distintas, pero puede concluirse que cualquiera que ella sea siempre será preocupante. Durante la alcaldía de Ospina se propuso ejecutar, de acuerdo con el Plan de Desarrollo 2008-2011, un programa de 12 752 viviendas; sin embargo, este ni siquiera alcanza a cubrir el derivado del solo crecimiento vegetativo de la ciudad, que es del 2,03 % anual para los 554 918 hogares, lo cual requeriría una oferta de 11 264 viviendas cada año. Hacia finales del 2008, la potencial oferta de vivienda de interés social y de interés prioritario en la ciudad de Cali y su área de influencia (Jamundí, Palmira, candelaria y Yumbo) derivada de la secretaría de vivienda, las cajas de compensación y otros constructores privados, alcanzaría la cifra de 6888 soluciones, a todas luces por debajo de las requeridas de acuerdo con las cifras antes mencionadas.

En la actualidad, se han desarrollado en Cali diversos proyectos de vivienda social de carácter tanto estatal como privado, entre los cuales se destacan Potrero Grande, con problemas de orden público en asuntos como invasión de propiedad ajena y violencia ciudadana, y Altos de Santa Helena, apartamentos que tuvieron gran acogida por parte de los interesados, que superan las 8000 familias inscritas para una oferta de alrededor de 4000 soluciones, lo que habla claramente de la continuidad del déficit habitacional mencionado.

Por su parte, la administración de Rodrigo Guerrero formuló para nuestra ciudad programas fundamentales que apuntan a la búsqueda de soluciones de vivienda, los cuales deberían ser desarrollados en adelante: el plan Jarillón de Cali, que busca reubicar 1800 familias que hoy día ocupan la franja de protección del río Cauca en proyectos de vivienda como Llano Verde, Potrero Grande, Ramalí y Río Cauca; el proyecto de la ciudadela CaliDA, bastión principal de su propuesta de desarrollo urbano para las clases menos favorecidas, y el Plan Estratégico de Vivienda y Hábitat 2015-2027, acuerdo de cooperación internacional denominado Plan e Vita, firmado a mediados de año entre la alcaldía de Cali y la Organización de las Naciones Unidas, el cual pretende desarrollar en Cali planes de vivienda integral que “[...] vayan más allá de la entrega física de una casa, de modo que incluyan componentes sociales, económicos y ambientales para mejorar la calidad de vida de las familias que las habiten”.⁶

Al igual que en el panorama nacional, es claro que la situación de carencia de vivienda en nuestra ciudad debe llevar a una reflexión colectiva entre los actores relacionados con esta necesidad prioritaria y desde este punto de vista el proyecto propuesto por la Universidad de San Buenaventura Cali aporta a la solución

6. http://www.cali.gov.co/publicaciones/plan_estrategico_de_vivienda_y_habitat_pub

que la comunidad espera de los profesionales con mayor conocimiento en estos asuntos, generando con ello una alternativa económica viable y novedosa en lo referente a la conjunción de aspectos arquitectónicos, técnicos y ecológicos.

La arquitectura sostenible

Para definir el concepto de arquitectura sostenible debemos tener en cuenta la noción de sostenibilidad, la cual se refiere al desarrollo que satisface las necesidades presentes sin crear problemas medioambientales ni comprometer la demanda de recursos de las generaciones futuras.

A pesar de su amplia publicidad y difusión, persiste una generalizada falta de conocimiento y cultura alrededor de la cuestión ambiental, lo cual conlleva consecuencias que se manifiestan en catástrofes naturales como inundaciones, cambio climático y calentamiento global, entre otras, daños en buena parte causados por la mano del hombre y afectan no solo regiones consideradas tradicionalmente de alto impacto, sino nuestro entorno cercano. La construcción de arquitectura masiva reflejada en la ejecución de programas de vivienda popular, es un factor decisivo frente a estas secuelas ambientales en virtud a los recursos naturales que deben movilizarse para ello –en especial las materias primas– razón por la cual es a partir del diseño apropiado de los pequeños detalles que se logran soluciones y propuestas sostenibles.

La arquitectura sostenible involucra los efectos ambientales de los procesos implicados en una vivienda, que van desde los materiales de fabricación cuya obtención no produzca desechos tóxicos, hasta la no explotación excesiva de la naturaleza, el bajo consumo de energía, el uso de técnicas que impliquen un mínimo deterioro ambiental, el uso apropiado del agua, el bajo consumo de energía en el funcionamiento de la vivienda y el reciclaje de los materiales cuando la casa ha cumplido su función y se demuele. Todo lo anterior forma parte de los aspectos que deben ser resueltos.

Expertos en el tema concluyen que la arquitectura sostenible se basa en cinco pilares básicos:

1. El estudio y respeto del ecosistema sobre el que se asienta.
2. El uso de sistemas energéticos que fomenten el ahorro
3. La construcción con materiales amigables con el medioambiente
4. El reciclaje y la reutilización de los residuos de la construcción

5. La movilidad reducida de los recursos requeridos para la construcción

Es claro, entonces, que cuando nos referimos a una edificación ecológica y sostenible no solo se alude al ahorro energético, sino que también se incluyen los procesos de fabricación, a saber, la elaboración de los materiales, su transporte, la puesta en marcha de la obra, la utilización del edificio o su demolición y la recuperación de materiales.

El concepto de arquitectura sostenible engloba a su vez la arquitectura bioclimática, cuyo objetivo es la reducción de los efectos del consumo energético de la vivienda mediante una adecuada solución para sus habitantes en relación con las condiciones del medio externo. En este sentido, el diseño bioclimático es solo una forma de denominar el diseño arquitectónico y urbano que optimiza las relaciones entre las personas que usan los espacios y el clima exterior, evitando con ello la utilización de métodos artificiales de adecuación climática (calefacción o enfriamiento), que consumen energía adicional en mayor o menor grado.

Por supuesto, la adecuación de las soluciones arquitectónicas y urbanas a las condiciones climáticas del medio debe aportar no solo beneficios en cuanto al ahorro en el consumo energético de las edificaciones por causa del uso de medios de climatización artificial, sino también, y de manera principal al bienestar térmico de las personas en los espacios interiores. A este último aspecto se le concede a veces menor importancia en países en desarrollo, usualmente ubicados en zonas donde lo benigno del clima hace pensar que no es requerida ninguna consideración ni diseño especial, ya que se puede prescindir de los sistemas de climatización artificial y por tanto el diseño bioclimático no se revierte en un beneficio económico directo, tal como sucede en buena parte de nuestro territorio nacional, que cuenta con condiciones climáticas externas apacibles, como no sucede en países de otras latitudes.

Sin embargo, está demostrado que la exposición sistemática de las personas a condiciones climáticas incómodas (en el caso de Cali usualmente referido a calor excesivo), aun cuando no reporten consecuencias trágicas sí producen efectos en la capacidad de trabajo mental y físico, para descansar y dormir e incluso aumenta la ocurrencia de ciertas enfermedades que implican consecuencias económicas indirectas.

Los primeros en emplear la noción de arquitectura bioclimática fueron los hermanos Olgay (Olgay, 1998), quienes por primera vez dieron un enfoque científico al diseño arquitectónico como respuesta a las condiciones del clima circundante, además de exemplificar sus teorías con ciudades colombianas.

Otros autores, entre los que se destacan Givony, Szokolay, Koenigsberger, Serra, Martin Evans, Fanger, Puppo y los latinoamericanos Rivero y Aroztegui, inten-

taron descifrar las sensaciones percibidas por los seres humanos ante diferentes combinaciones de parámetros climáticos, así como el papel de la arquitectura y los elementos de diseño en la modulación del ambiente térmico en los espacios interiores. Múltiples han sido los diagramas de confort propuestos a partir de la carta bioclimática de Olgay y los métodos (inicialmente analíticos y gráficos y hoy automatizados) desarrollados para evaluar la influencia de las soluciones de diseño en el confort térmico humano.

Otro concepto relacionado con el diseño bioclimático indistintamente empleado por diferentes autores es arquitectura solar, surgido y desarrollado en países con climas templados y fríos, donde el principio fundamental de la adecuación de la arquitectura al medioambiente consiste en el aprovechamiento directo de la radiación solar para lograr un ambiente térmico adecuado en los espacios interiores y reducir el consumo energético convencional. Sin embargo, el arquitecto griego Alexander Tombazis hace la acertada observación de que por asentarse en la superficie del planeta, toda arquitectura es solar pues está expuesta al sol.

El aprovechamiento de la energía solar (captación, almacenaje y utilización) se produce de dos formas: pasiva y activa. Aunque en la definición de estos términos por diversos autores se presentan contradicciones, en general el primero se utiliza cuando la captación y el almacenaje se producen mediante la propia arquitectura y sus elementos de diseño (paredes, cubiertas u otros espacios diseñados para estos fines, como los invernaderos) forman parte integral de la propia edificación. Por el contrario, se denominan activos los sistemas que emplean elementos tecnológicos para el aprovechamiento de la energía solar, los cuales se adicionan a la construcción (colectores solares de diversos tipos). En ocasiones también se usa esta noción para aquellos sistemas de circulación forzada que utilizan una fuente de energía adicional (bombas o extractores, entre otros).

Otros autores incorporaron hace algunas décadas otras clasificaciones, como la arquitectura solarizada, referida a aquellos casos en los que los elementos del sistema han sido superpuestos a la envoltura arquitectónica, sin una adecuación formal coherente.

Podrían citarse otros conceptos enunciados por diversos autores, pero más importante que eso es reconocer que el concepto de arquitectura solar se refiere solamente a un aspecto parcial del problema general y que tal como está planteado es válido para determinados tipos de climas en los que la energía solar no puede ser captada de forma directa para el acondicionamiento ambiental de los espacios interiores, sino que, por el contrario, la edificación debe protegerse de ella y a la vez aprovecharla para otros usos energéticos, como sucede en nuestras ciudades tropicales.

A partir de la crisis ecológica de finales del siglo XX, el significado de arquitectura bioclimática comenzó a resultar estrecho toda vez que se refería solo a una parte del medioambiente, a saber, el clima. Surgieron así nuevos conceptos, como arquitectura bioecológica, ecoarquitectura, ecotécnica, ecodiseño, arquitectura verde y arquitectura sostenible, que no solo consideraban su relación con el clima y el uso de las fuentes renovables de energía, sino que también incorporaban el aprovechamiento de otros recursos renovables, los análisis del ciclo de vida, el reúso y reciclaje de desechos, los materiales y técnicas de construcción y la producción de alimentos, entre otros. Se evidencia y establecen, entonces, cadenas y procesos de ciclo cerrado que propician su aprovechamiento y evitan la contaminación del medio (González, 2010).

A pesar de la incorporación de estas temáticas, la escala de la arquitectura también resultaba reducida ante problemas de dimensión regional y planetaria. Se impuso a la sazón la necesaria consideración de la arquitectura no como elemento aislado, sino inmersa en su contexto, el cual como consecuencia del proceso de urbanización de las últimas décadas llevado a cabo principalmente en el tercer mundo, se trata mayoritariamente de un contexto urbano.

De esta manera, cobró auge el estudio de la ciudad como fenómeno físico y en materia de diseño bioclimático surgieron investigaciones encaminadas a una mejor comprensión de la influencia del contexto urbano en las condiciones térmicas que rodean la vida del individuo urbano.

Así las cosas, los estudios del clima urbano se comprenden hoy día como requisito ineludible para las ciencias que se dedican al estudio de los asentamientos humanos como organismos vivos, con un enfoque sustentable. Los conceptos de ecosistema urbano y metabolismo urbano son parte de los nuevos conocimientos que operan hoy en la ecología urbana.

Bioarquitectura y bioconstrucción pueden parecer similares a los anteriores. Sin embargo, mientras la ecoarquitectura pone el énfasis en el medioambiente, la bioarquitectura se centra en el individuo. Así, tanto la bioarquitectura como la bioconstrucción estudian los efectos de los materiales y elementos de construcción sobre la salud de las personas. Se sabe, por ejemplo, que determinados materiales emiten radiaciones, gases o vapores dañinos tanto por su uso como por su proceso de producción. Desde este punto de vista, para la arquitectura sostenible serán preferibles los materiales naturales a los artificiales o sintéticos (González, 2010).

Como conclusión, algunas pautas para ser tenidas en cuenta en la formulación de la arquitectura sostenible son:

- Adoptar nuevas normativas urbanísticas con el objeto de lograr una construcción más amigable con el medioambiente (forma de los edificios, distancia de sombreado, orientación, dispositivos de gestión de residuos, etc.).
- Aumentar el aislamiento de las edificaciones, para permitir su “transpirabilidad”.
- Establecer ventilación cruzada en las edificaciones de manera que el aire circule naturalmente en la mayor parte de las estancias.
- Orientar las edificaciones con el fin de que según sus necesidades, aprovechen o se protejan del calor y la luminosidad naturales.
- Aumentar la inercia térmica de los edificios mediante el incremento de su masa (cubiertas, jardineras, muros). Favorecer la construcción con muros de carga en edificios de poca altura.
- Favorecer la recuperación, reutilización y reciclaje de los materiales de construcción utilizados.
- Patrocinar la prefabricación y la industrialización de los componentes del edificio.
- Disminuir al máximo los residuos generados en la construcción del edificio.
- Integrar diversas fuentes de energía alternativa en las edificaciones.
- Amparar la utilización de captadores solares térmicos para el agua caliente.
- Estimular la utilización de la biomasa generada a partir de los residuos orgánicos de las edificaciones.
- Integrar los captadores solares de forma adecuada, con el objeto de aumentar su eficacia.
- Favorecer la integración y complementación de diferentes energías: solar-eléctrica, solar-biomasa.
- Favorecer la utilización de energía solar por medio del correcto diseño bioclimático del edificio, sin necesidad de utilización de captores solares mecánicos.
- Diseñar el edificio de tal modo que se utilice la menor energía durante su construcción, con materiales fabricados con el menor gasto energético; buscando la mayor eficacia durante el proceso constructivo; evitando al máximo el transporte de personal y de materiales y estableciendo estrategias de prefabricación e industrialización.
- Diseñar el edificio de tal modo que consuma la menor energía posible durante su utilización (diseño bioclimático, correcta ventilación e iluminación

natural, facilidad de acceso, reducción de recorridos, fácil intercomunicación entre personas, etc.).

- Favorecer la participación en diseño y construcción de equipos multidisciplinares que reúnan no solo arquitectos e ingenieros, sino también profesionales de otras disciplinas, de acuerdo con el asunto que se va tratar.
- Tratar correctamente el exterior del edificio, enfatizando en el diseño adecuado de vanos y muros.
- Fomentar los sistemas de control y gestión para optimizar el uso de la energía.
- Hacer estudios para los sistemas de captación de luz natural particulares a cada edificación.
- Fomentar el reciclaje y la gestión racional del agua.
- Minimizar la posible contaminación electromagnética mediante la utilización de tipologías adaptadas a la zona.
- Fomentar el uso de barreras fónicas mediante por medio de aislantes naturales.
- Promover una construcción de excelente calidad, pero con el menor costo económico y social.

La propuesta formulada en la presente iniciativa pretende acoger los preceptos mencionados y si bien no se ocupa de todos, buena parte de ellos se discutieron para establecer su carácter y sus aportes.

Cabe mencionar que el programa de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura Cali ha desarrollado en sus últimos años experiencias académicas con el fin de que docentes y estudiantes reflexionen sobre estos importantes y cada vez más acuciantes problemas. Dentro de estas experiencias se encuentran el Diplomado en arquitectura y medioambiente y los talleres verticales y cursos del pregrado, cuyos contenidos resultan de interés para el desarrollo del proyecto.

Estado del arte de la vivienda sostenible en Colombia

Lamentablemente, el documento más importante en cuanto a legislación constructiva en el país, a saber, el *Reglamento colombiano de construcciones sismorresistentes NSR-10* no hace especial énfasis en el tipo de arquitectura que desarrolla esta investigación y se ocupa más de lo concerniente al reforzamiento estructural en viviendas unifamiliares de uno y dos pisos, en espacial el encaminado a la construcción sin requerimiento de la presencia de profesionales. Co respecto a la construcción sostenible, se manifiesta solo con el siguiente artículo:

A.1.3.13. Construcción responsable ambientalmente. Las construcciones que se adelanten en el territorio nacional deben cumplir con la legislación y reglamentación nacional, departamental y municipal o distrital respecto al uso responsable ambientalmente de materiales y procedimientos constructivos. Se deben utilizar adecuadamente los recursos naturales y tener en cuenta el medio ambiente sin producir deterioro en él y sin vulnerar la renovación o disponibilidad futura de estos materiales. Esta responsabilidad ambiental debe desarrollarse desde la etapa de diseño y aplicarse y verificarse en la etapa de construcción, por todos los profesionales y demás personas que intervengan en dichas etapas.⁷

Se tiene, sin embargo, una incipiente legislación ambiental emanada en principio de las propuestas e iniciativas llevadas a cabo por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, ente que de la mano con entidades locales como las corporaciones autónomas regionales, el Dagma y similares, sienta las bases legales y jurídicas para una construcción ambientalmente responsable en nuestro país. Se agrupan en el denominado Consejo Colombiano de la Construcción Sostenible (CCCS) o *Colombia Green Building Council*. Este organismo establecido en el 2008 es una red de personas, empresas y entidades con gran respaldo internacional cuya misión es fomentar la transformación de la industria de la construcción para lograr un entorno responsable con el ambiente y el bienestar de los colombianos.⁸

Las acciones del CCCS se concentran en tres áreas principales:

- Fortalecer el conocimiento sobre construcción sostenible y alternativas para un desarrollo urbano más sostenible.
- Apoyar sistemas de certificación y normalización de mercados verdes en la construcción.
- Respaldar las entidades en la formulación de políticas de producción y consumo responsable para el sector.

El CCCS promueve el uso de herramientas encaminadas a la certificación de proyectos sostenibles de reconocimiento internacional y trabaja para alcanzar el logro del sello ambiental colombiano para las edificaciones, como parte del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). Al cierre de esta investigación, se sabe que el *Reglamento Colombiano de la Construcción Sostenible* entrará en aplicación a partir de junio de 2016 y enfatizará sobre el ahorro de agua y energía, especialmente en las edificaciones nuevas.⁹ Amparados

7. Reglamento colombiano de construcciones sismorresistentes NSR-10. Asociación de ingeniería sísmica AIS.

8. <https://www.cccs.org.co/wp/>

9. <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/julio/colombia-puso-en-marcha-su-nueva-reglamentacion-de-construccion-sostenible>

en los avances internacionales y nacionales, hay en el país diversas propuestas de vivienda con la calificación de sostenibles, término que se utiliza con menor o mayor grado de certeza y de acuerdo con los diversos criterios que se destacan de dichas propuestas, ya que si bien cumplen con algunos propósitos generales presentan fallas en otros.

En cuanto a referencias académicas, se destacan los datos encontrados en la tesis de del arquitecto Armando Sánchez Prieto para la maestría en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Manizales (2011); el proyecto *Barrio Acuarela*, en el departamento de Santander, mencionado por el arquitecto e ingeniero alemán Gernot Minke en el marco del Encuentro Internacional del Hábitat Sostenible Cali (2008); el proyecto de investigación adelantado por Edwin Quiroz y David de los Ríos en la Universidad Tecnológica de Pereira (2007), en el cual se describe el desarrollo de la construcción de una vivienda ecológica de bajo costo, y las publicaciones del arquitecto Carlos Eduardo Rincón González de la Universidad Nacional de Colombia, en especial *Vivienda social sustentable con apropiación tecnológica*, entre otros trabajos. Estos documentos fueron consultados como parte de los insumos de la presente investigación.

De otro lado, en nuestro país se han desarrollado diversos eventos como el Primer Seminario Internacional de Arquitectura Sustentable, Sostenible y Bioclimática, efectuado en la ciudad de Montería en el año 2006, a partir del cual comienza una amplia programación sobre la materia, eventos que buscan ilustrar a arquitectos, ingenieros y a la comunidad en general sobre los beneficios de una cultura sostenible para la construcción. Los han seguido otros, como son las varias versiones del Congreso Colombiano de la Construcción, organizado por Camacol; Ekotectura, Expoconstrucción, Expodiseño y Construferia, entre otros.

Localmente, destacamos Biocasa, evento bienal liderado por Camacol-Valle, que para el año 2015 corre su décima versión y se convierte en la mayor vitrina de exposición de temas y proyectos enfocados en la construcción sostenible.

Formulación de la propuesta

Interdisciplinariedad académica

Habitar una vivienda en condiciones de confortabilidad es una aspiración inherente a cada ocupante y para que estas condiciones se generen es necesaria la coordinación de diferentes aspectos. Es de suponer que los arquitectos están capacitados para lograr la armonía requerida entre las partes que componen una edificación, como son su distribución espacial, su estructura, su materialidad y sus instalaciones hidráulicas y eléctricas, entre otras. Sin embargo, la complejidad de este tipo de asuntos hace que cada día se den profesionales especializados en su solución, razón por la cual el arquitecto, más que saber en profundidad sobre los problemas que comprende la construcción, debe ser un coordinador del equipo de profesionales que se requiere para el éxito de su propuesta.

En el caso del proyecto de casa sostenible se contó con un equipo de tres profesionales: un arquitecto e ingeniero civil, un ingeniero de materiales y un ingeniero electricista, que unieron su experiencia y conocimientos para la formulación de una propuesta habitacional que cumpliera con los aspectos más importantes que, de acuerdo con la introducción de esta reseña, implica una vivienda sostenible:

- Diseño bioclimático que genere confortabilidad y se adapte a las condiciones de la ciudad de Cali.
- Propuesta constructiva culturalmente aceptada en un medio socioeconómico de recursos limitados.
- Reducción del costo energético en la producción y ocupación de la vivienda.

- Cuidado del recurso agua.
- Utilización de materiales ecológicamente ventajosos.

El prototipo involucró la utilización de estrategias que fomentan el respeto por la naturaleza y sus procesos gracias a la baja huella ecológica de los materiales utilizados y al aprovechamiento ideal de los recursos renovables que se ofrecen para satisfacer los requerimientos para su funcionamiento y confort, como son la iluminación natural, el acondicionamiento natural de la temperatura interior, el aprovechamiento y gestión racional del agua lluvia y el uso racional de la energía eléctrica, entre otros. La exploración de materiales no convencionales y la intención de involucrar la tecnología electrónica e informática al servicio del ahorro energético de la vivienda, deberá contribuir a una mejor conciencia ecológica y al aporte de soluciones que puedan replicarse en desarrollos futuros.

Condiciones del entorno

Para el desarrollo del prototipo se contó con las condiciones generales de la ciudad de Cali, ubicada geográficamente a $3^{\circ}27'00''\text{N}$ – $76^{\circ}32'00''\text{O}$, en una zona netamente tropical con un clima templado y húmedo, correspondiente a sabana tropical. Es ventilada, especialmente en las tardes, por los frentes de aire húmedo del océano Pacífico, que alcanzan a superar la barrera que supone la cordillera Occidental, la cual tiene alrededor de 2000 m de altitud promedio en el norte de la ciudad, mientras que hacia el sur, en los denominados Farallones de Cali, alcanza los 4000 m, lo que hace que la zona suroccidental de la ciudad sea levemente más lluviosa que la noroccidental. La precipitación anual promedio va de 900 mm en las zonas secas, hasta 1800 mm en las zonas más lluviosas, con 1000 mm promedio sobre la mayor parte del área de la ciudad. No obstante el 79 % del tiempo en Cali el viento está en período de calma (Giraldo, 2013). La temperatura media de Cali es de $23,1^{\circ}\text{C}$, con un mínimo promedio de 15°C y un máximo promedio de 32°C , con un máximo absoluto de 36°C y mínimo absoluto de 13°C . Aunque es probable que las últimas condiciones climáticas mundiales hayan hecho ascender estos valores; en general, la sensación térmica de sus habitantes tiende al excesivo calor (Gamboa *et al.*, 2010).

En general, las estaciones secas van de diciembre a febrero y de julio a agosto, y las épocas de lluvias son de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.¹⁰

La queja general de inconformidad en Cali son las altas temperaturas en el interior de las viviendas, debido a soluciones poco confortables. También las causan islas de calor que se presentan en la ciudad que elevan la temperatura

10. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales

por encima del promedio y la ausencia de arborización y zonas verdes, que hace que este fenómeno se presente principalmente en el centro de la ciudad y en la zona centro-sur (Gamboa *et al.*, 2010).

Para evitar que el sol –factor que provee la máxima intensidad de calor; otra proviene de la reflexión e irradiación secundaria de otros cuerpos– afecte en exceso las edificaciones caleñas, se pretende por regla general que las fachadas principales estén en dirección norte-sur, de manera que en su recorrido el astro afecte las fachadas oriente-occidente. Como el sol de la tarde es el más intenso, para favorecer el confort térmico la fachada principal de la casa no debe ir de cara al occidente. Esta concepción debería afectar la disposición del planteamiento urbanístico de las edificaciones, de tal manera que los lotes y en general las viviendas ya sean casas o apartamentos, no ofrezcan la fachada a la puesta de sol. Lamentablemente, este elemental aspecto no es siempre tenido en cuenta y se observan en la ciudad proyectos mal diseñados desde este punto de vista, cuyos espacios y vanos principales dan cara al occidente y por tanto en horas de la tarde las altas temperaturas en su interior son insoportables. En atención a esta recomendación, el prototipo de la presente investigación escogió la orientación más conveniente, a saber, norte-sur, con la fachada principal dando cara al sur, si bien es cierto hay una ligera variación en el recorrido solar durante el transcurso del año. En términos generales, esta primera decisión deberá redundar en ventajas para el confort de los ocupantes de la edificación y es la recomendación para ser tenida en cuenta en proyectos de mayor envergadura.

De otro lado, la vivienda podría estar situada en un punto intermedio (medianero) de alguna manzana de Cali, por tanto tendrá vecinos a los costados. Esta condición trae como ventaja la protección que brindan las construcciones laterales, pero dificulta la ventilación cruzada, una búsqueda de la arquitectura climática.

Requerimientos socioeconómicos

La vivienda es un bien indispensable para la conformación de una familia en condiciones normales. Usualmente, es la inversión principal y el máspreciado patrimonio que un grupo familiar logra obtener y bajo este precepto se hace necesario velar por que cada familia pueda acceder a una vivienda digna, apropiada y confortable para su normal desarrollo y crecimiento. Es evidente que para el Estado es esta una de sus principales preocupaciones y responsabilidades. También es claro que la mayor parte de la población no está en capacidad de obtener este bien debido a los altos costos que su construcción implica y por ello son importantes los programas subsidiados que faciliten esta acción. En general, la idea es mantener los costos de la vivienda popular lo más bajo po-

sible, de manera que esté al alcance de los más necesitados. Habida cuenta de ello, se propone que la vivienda propuesta por esta investigación esté dirigida a estratos populares de Cali. No se quiso encasillar dentro de la categoría de vivienda de interés social sino simplemente de bajo costo, pues no se pretende tener límites estrictos de su valor. Además, es frecuente que dichas viviendas sean modificadas por sus propietarios, lo cual hace que dejen de ser estrictamente VIS. Esta clasificación implica otro tipo de decisiones, como por ejemplo, áreas reducidas, materiales resistentes, acabados austeros y en general, establecer una construcción ajustada en sus costos. La idea apunta a que la edificación real podría ubicarse en cualquier barrio de estrato popular, en especial aquellos destinados para vivienda de programas estatales de bajo costo.

Por efectos tanto presupuestales como de facilidad constructiva de la propuesta, se tomó la decisión de hacer un prototipo a escala real pero ajustando sus áreas, de tal manera que, como se explicará más adelante, el resultado es una construcción de medidas reducidas en cada uno de sus diferentes espacios.

Requerimientos arquitectónicos

El propósito de la investigación es resolver una vivienda “normal” de bajo costo y según los preceptos de la arquitectura sostenible, de tal manera que el prototipo corresponde a una vivienda usual en un lote tipo medianero, de medidas promedio de 6.00 m x 15.00 m que resuelve los requerimientos espaciales de una familia de cuatro miembros, en promedio. De acuerdo con los estándares normales de oferta de vivienda en nuestra ciudad, deberá contar con sala, comedor, cocina, zona de oficios, baño social y tres habitaciones, una de ellas con baño privado. Se propone desarrollar este programa en una vivienda de un piso de altura y aunque no se considera en la investigación cabe la posibilidad de que la familia lleve a cabo más adelante la construcción en un segundo piso, ya sea para ampliar la vivienda o para resolver una nueva unidad vivienda independiente.

En cumplimiento de los preceptos de la arquitectura sostenible, los espacios deberán contar con iluminación y ventilación natural suficientes, así como proveer a la vivienda de algún tipo de estética particular que la diferencie de las viviendas comunes y haga sentir a sus ocupantes que habitan un espacio más vinculado con la naturaleza.

Cada espacio es importante en la vivienda y la arquitectura deberá proveer las condiciones para desarrollar en ellos, de la manera más cómoda, las actividades a las que están destinados, haciendo con ello que sea un disfrute y no un desconsuelo ocuparlos, a pesar de las restricciones económicas ya mencionadas. No se pretende un desarrollo novedoso o extraño a las condiciones habituales de este tipo de edificaciones, sino que, por el contrario, poner en evidencia que

mejorando con pequeñas intervenciones las condiciones espaciales similares a las actuales y normales, se puede lograr una mejor calidad en el comportamiento sostenible de la vivienda.

La participación de otros profesionales es un factor clave en el cumplimiento de las expectativas planteadas, pues permitirá sumar esfuerzos derivados de distintas disciplinas y poner en un objeto común el fruto de ellas.

En conclusión, se pretende que el ejercicio de diseño y construcción objeto de esta investigación, ejecutado como una versión reducida de una vivienda real (de ahí el nombre dado de prototipo), cumpla con las promesas que la arquitectura sostenible puede aportar en este tipo de edificaciones en virtud de las diversas iniciativas que nacen de la interdisciplinariedad de los autores del proyecto.

Materialidad del prototipo

Son incontables los aportes que surgen día a día en avances técnicos sobre materiales alternativos para la construcción de viviendas sostenibles. La Universidad de San Buenaventura Cali, gracias a la apertura de la carrera de Ingeniería de Materiales, ha podido contribuir desde hace algunos semestres en esta iniciativa con la exploración de nuevas posibilidades, aportando de esta manera a la problemática mundial al respecto. Entre ellas, de común acuerdo con los participantes del proyecto, se escogieron tres que tuvieran un aporte significativo a la presente propuesta, como son el bloque de concreto, las tejas fibrorreforzadas y el concreto translúcido. Cada uno de estos materiales nace del interés particular de estudiantes y docentes del programa mencionado, a quienes agradecemos su aporte y dedicación en alimentar no solo esta iniciativa, sino también la oferta de materiales más amigables con el medio ambiente.

En general, el trabajo se basó en diferentes estudios de investigadores cuyos resultados invitan al uso de subproductos agroindustriales como materia prima en la construcción de vivienda, algunos de los cuales se mencionan a continuación. El investigador Fiorelli menciona que existe una baja manufactura tecnificada de los productos de construcción debido a la carencia de industrialización y a la escasez de las materias primas al ser no renovables (Fiorelli, 2015). Por otra parte, el Rebah (2007) justifica su propuesta en la falta de uso de subproductos industriales en razón a la pobre innovación tecnológica y cultural del uso de residuos en la construcción. Finalmente, Mtui, Monzalve y Tabasso deducen que los materiales y productos de la construcción convencionales son costosos, burdos, pesados y con un impacto negativo al medio ambiente (Mtui, 2009); (Monsalve, 2014); (Tabasso, 2015). Sobre la base de estas premisas, el propósito de la investigación se dirigió a la manufactura de productos de la construcción aprovechando recursos provenientes de subproductos industriales,

y hasta donde fuera posible, de recursos naturales renovables y amigables con el medioambiente.

A continuación se relaciona lo concerniente a cada uno de los materiales considerados.

Bloque estructural

El bloque de concreto –a veces mal llamado de cemento– está manufacturado con materias primas como cemento, agua, arena y grava o piedras. Su forma es prismática y puede ser fabricado en diversas resistencias, lo que permite su clasificación en estructurales y no estructurales (Borbón, 2010).

Gracias a sus características de fabricación, como su relativo bajo costo, producción con bajos requerimientos energéticos, materia prima fácil de obtener y posibilidades de fabricación por autoconstrucción, entre otras, el bloque de concreto resulta ser un material muy adecuado desde el punto de vista de la sostenibilidad, pues comparado con el ladrillo convencional o el bloque estructural de arcilla, no requiere hornos para su producción. De otro lado, su cámara de aire y su porosidad lo hacen apropiado para climas tropicales o cálidos. Finalmente, como elemento constructivo resulta excelente toda vez que puede servir como estructura y cerramiento al mismo tiempo, las instalaciones técnicas pueden ser resueltas a su interior sin necesidad de ranurar, puede ser usado tanto en muros interiores como exteriores y su colocación repetitiva y sistemática permite una construcción fácil y eficiente (Acosta, 2000).

Proceso de fabricación del bloque

En el proceso de producción de bloques de concreto, la mezcla es similar a la requerida para el concreto vibrado (la unión de cemento, agua, grava, arenas y aditivos). En este desarrollo, la pasta de cemento desempeña el papel de aglutinante, el relleno son los agregados y la modificación en estado fresco de dicha mezcla corresponde a los aditivos. Los agregados son el mayor porcentaje en la mezcla y deben cumplir granulometrías con los requerimientos para concretos convencionales. El cemento representa en promedio el 18 % en la mezcla de concreto, el aditivo se adiciona entre el 1 % y 2 % con respecto al cemento y tiene diferentes funciones, como reducir el agua, aumentar la resistencia e incrementar su manejo (Lamb., 2008).

La producción de bloques de concreto se efectúa en cinco etapas: dosificación, mezclado, conformado, curado y almacenado. La primera etapa dosifica por medio de una báscula que autorregula las materias primas; la segunda corresponde a la homogenización con ayuda de un mezclador vertical, para pasar luego a

la etapa del conformado del bloque en la cual se vierte la mezcla en un molde y se vibra en un promedio de 3500 rpm a 5000 rpm. Finalmente, los bloques crudos se transportan a las cámaras de curado donde adquieren las propiedades mecánicas apropiadas para pasar a la etapa final de almacenamiento. Una planta de producción de regular tamaño puede producir hasta 2500 o 3000 bloques por hora (Sukontasukkul, 2006; Knapton, 1979).

Producción del bloque con una vibrobloquera portable

No obstante lo anterior, es posible la producción artesanal del bloque, pues solo se requiere un molde adecuado en el cual pueda ser conformado. En el caso de la presente iniciativa, el equipo para fabricar los bloques requeridos para el proyecto está conformado por una pequeña vibradora con su respectivo molde metálico y motor de vibración (Figura 1). La conformación de bloque se da por el vertimiento de la mezcla de concreto seca en el molde y luego se somete el concreto a una serie de sacudidas y con una frecuencia elevada. Esta operación es denominada vibración y consiste en que la masa de concreto que está en estado suelto, entra a un proceso de acomodo y se asienta de manera uniforme y gradual reduciendo así notablemente el aire atrapado. La duración de la vibración influye determinadamente en la compacidad del elemento y en su resistencia final (Zhan, 2015; da Silva, 2015).

Figura 1

Vibrobloquera portable para la conformación de bloques de concreto



Los bloques de concreto convencionales se fabrican básicamente con los materiales ya mencionados. Sin embargo, continuamente se hacen exploraciones con adiciones de diferente tipo con el fin de mejorar sus propiedades, como por ejemplo, puzolanas para modificar sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

En esta investigación, a la mezcla del bloque se le adicionó polvillo de óxido de aluminio (POA), que si bien es un material de residuo industrial contribuye positivamente a las características del bloque.

Resultados y análisis de la producción de bloque con escoria de aluminio con la vibrobloquera portable

El propósito de la investigación consistió en medir el comportamiento mecánico y térmico de mezclas de concreto con cemento portland adicionado con polvillo de óxido de aluminio (POA), utilizado para la fabricación del bloque de concreto manufacturado con la vibrobloquera portable (Wu, 2015). El POA se genera en la fabricación de la refundición de la escoria de fundición de lingotes de aluminio, y se constituye como un material contaminante peligroso, que incluso al contacto con el agua segregó un fuerte olor a amoniaco. Su uso permitió aumentar la permeabilidad y disminuir la densidad sin modificar considerablemente las propiedades mecánicas (Ganjian, 2015); (Soutsos, 2011).

Los componentes se agregaron en una mezcladora, luego se vertió la mezcla en la máquina bloquera de vibrado para conformar bloques de 20 x15 x40 cm, para proceder a almacenarlos en una cámara de curado por veintiocho días.

Una vez terminado, se le hizo un inserto en sus celdas con bloque de pulpa de papel reciclado tratada con borato de sodio al 8 % y a una presión constante de 2 kg/cm² (Narayanan, 2012; Lintz, 2012). Se espera con ello mejorar las condiciones térmicas de los muros construidos con estos bloques y que las viviendas gocen de mejor calidad y confort. El factor estudiado fue la adición de POA (0,20 % y 30 %) y las variables respuesta fueron densidad aparente, resistencia a la compresión según NTC 4024, y conductividad térmica según ASTM E 1225-99.

Los resultados de la prueba a la compresión de la mezclas de mortero para el bloque fueron positivas, y se destaca la adición del 20 % de POA, lo que proporcionó una resistencia 16,9 MPa, aunque disminuya la densidad en un 12 % comparada con el patrón. Asimismo, la lámina de pulpa de diez centímetros m de espesor presentó una conductividad térmica de 0,041 W/(mK), mientras que el bloque con pulpa dio 0,79 W/(mK) y sin ella 0,19 W/(mK) (Yang, 2000; Xiao, 2010).

Finalmente, se dedujo que la adición de POA permitió reducir la densidad aparente, la resistencia a la compresión y la resistencia térmica de la mezclas de mortero para bloques (Poon, 2002; Ha, 2007).

Teja de fibrocemento

Los componentes fabricados con fibrocemento son usualmente elementos esbeltos de forma alargada y de bajo espesor, como por ejemplo, paneles, cielos-erasos, divisiones de paredes, recipientes (silos y tanques), tejas planas y onduladas para cubiertas de viviendas y piezas de ferrocemento. Los procesos más usados en la producción de asbesto-cemento han sido el Hatschek, el Mazza y el Magnani. Estos procesos han prevalecido en la industria en el último siglo gracias a ventajas como facilidad de procesamiento, materias primas económicas y excelentes propiedades finales. La investigación de la tecnología de los fibrocementos (MCLRF), ha evolucionado hacia la sustitución de los asbestos considerados de riesgo para la salud, la innovación de formulaciones para aumento de la productividad, la reducción del consumo de energía y los efectos sobre el medioambiente, así como hacia el estudio de las variables reológicas en las etapas del proceso de producción.

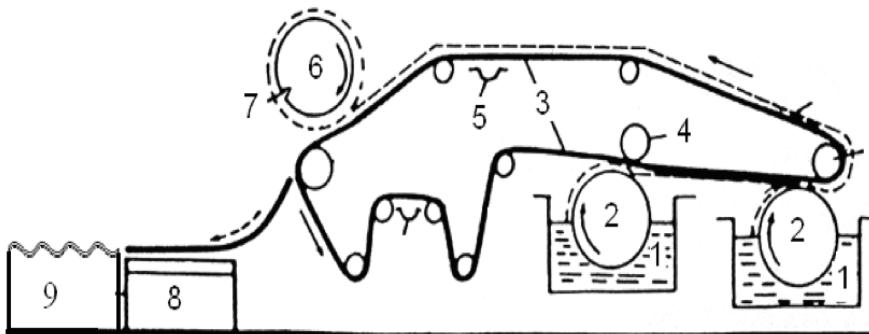
Procesos de producción de elementos laminares cementicios

Los procesos industrializados de producción de los MCLRF comprenden cuatro etapas: mezclado, laminado, drenado y moldeado. Estas operaciones son comunes a los diferentes tipos de procesos, desde los tradicionales (de orden empírico) hasta los industriales, aunque se diferencian en la productividad y la calidad del producto. Se pueden identificar, al menos, tres niveles tecnológicos de procesos de fabricación

Proceso industrial mecanizado

En los procesos industriales mecanizados se busca mejorar el desempeño de la fibra dentro de la matriz del compuesto para obtener un adecuado proceso de mezclado, transporte y moldeado. Entre los más utilizados para la producción de fibrocementos en escala comercial se tienen el proceso Mazza para tubos, el Magnani semiseco para láminas corrugadas y el Hatschek, utilizado para producir láminas de asbesto-cemento. Este último fue desarrollado por el investigador del mismo nombre en 1900. Su proceso se ilustra en la Figura 2:

Figura 2
Proceso industrial mecanizado



1. Mezclado del fibrocemento. El lodo cementicio debe poseer alta fluidez para una mejor dispersión de las fibras.
2. En tambores cilíndricos se fija y transporta el fibrocemento fluido a una banda trasportadora.
3. Transporte sobre la banda del fibrocemento en forma de lámina por las diferentes operaciones del proceso. Unos rodillos transfieren el movimiento de rotación hacia la banda trasportadora
4. El drenado de agua elimina el exceso de este líquido de la lámina hasta obtener el punto de consistencia plástica de su material. Luego se pasa a un cilindro de adelgazamiento.
5. En el cilindro de adelgazamiento se prensa el material, que luego es cortado por medio de un alambre.
6. Luego del corte, la lámina es recibida por una banda transportadora.
7. La banda transportadora conduce la placa al equipo moldeador.
8. El moldeador confiere a la placa la forma corrugada u ondulada.
9. El moldeador confiere a la placa la forma ondulada.

Proceso por contacto

Los métodos tradicionales de producción de MCLRF son descritos en la literatura como aquellos procesos de producción en los que se efectúa un mezclado con un equipo tradicional, un moldeo manual y un prensado por medio de vibrado. Aunque algunos investigadores consideran que estos procesos son inadecuados para la producción a escala industrial.

Proceso industrial semimecanizado

El proceso industrial semimecanizado es una combinación del mecánico con el de contacto. El mezclado es la primera etapa del proceso y en él se adicionan los componentes a un mezclador en un orden lógico para producir un lodo cementicio reforzado con fibras, que luego se vierte en una cámara de drenado. Esta tiene moldes recubiertos de una tela especial que evita que se escapen los finos de la mezcla y que la lámina moldeada se contraiga y se pliegue. Luego se extrae el agua por medio de un vacío de tres a cuatro bares durante un minuto. Una vez se termina el drenado, la lámina se moldea en forma ondulada y finalmente se lleva a curado.

Para el proyecto de investigación, el elemento laminar con que se trabajó es la teja ondulada, la cual requiere para su producción y comportamiento en servicio fluidez adecuada para un buen mezclado y vaciado, buena capacidad de moldeabilidad sin que se occasionen fisuras, estabilidad dimensional, baja densidad, elevado aislamiento térmico, permeabilidad reducida y resistencia a la flexión apropiada a su uso.

Adición de fibras vegetales

Los productos cementicios son materiales normalmente rígidos con numerosas fisuras. Una rápida propagación de estas por una tensión aplicada al material es consecuencia de una resistencia mecánica inapropiada. Frente a esta condición surge la idea de reforzar el producto mediante la inclusión de diversos tipos de fibras que absorvieran los esfuerzos de tracción generados en la masa y obstruyeran la propagación de microfisuras retardando así su inicio y aumentando la resistencia del material a la tracción. Los resultados de esta iniciativa demostraron que a pesar de que no siempre se obtiene un mejoramiento en las resistencias mecánicas si se compara con las correspondientes mezclas sin fibras, al reforzar con fibras se supera la fragilidad de un material.

Las fibras de origen mineral presentaron resultados muy favorables en el mejoramiento de las condiciones mecánicas del material y a nivel mundial se popularizó el uso del asbesto tipo amianto. Sin embargo, se ha demostrado que este tipo de adiciones trae consecuencias lamentables para la salud, pues estas fibras pueden depositarse en los conductos respiratorios convirtiéndose así en un agente carcinogénico. Es así como las investigaciones se volcaron a practicar con otro tipo de fibras de reforzamiento.

Las fibras vegetales han sido grandemente estudiadas principalmente como refuerzo de componentes para construcción de interés social, en virtud de su bajo costo, su utilización en la propia región de origen o como desperdicios de otras aplicaciones. Sin embargo, el desempeño de las fibras en estado natural

incluidas en matrices frágiles ha sido insatisfactorio. Se hace necesario aumentar la adherencia con la matriz y mejorar la durabilidad de la fibra natural en presencia de un medio alcalino y húmedo. La estructura de la interfase fibra-matriz desempeña un papel vital en el comportamiento mecánico óptimo. La retracción plástica ocurre en las primeras horas luego del moldeo como consecuencia de la evaporación diferenciada del agua impregnada en el producto. Los efectos de este tipo de contracción son más evidentes en los componentes esbeltos con áreas de exposición grandes. El refuerzo de matrices de base cementicia con fibras, disminuye la contracción plástica por secado (Savastano, *et al.*, 2003).

Las investigaciones en esta dirección han llevado a que los compuestos de fibrocemento presenten mejores energías específicas, ductilidad, capacidad de flexión y resistencia a la fractura, comparados con materiales sin refuerzos. A su vez, las fibras vegetales ofrecen numerosas ventajas –como no toxicidad– amén de ser renovables y de bajo costo comparadas con otras comercialmente disponibles. Los compuestos de fibrocemento con fibras vegetales pueden ser encontrados en productos comerciales, como tanques de agua y materiales de construcción no estructurales y productos en láminas delgadas como tejas de cubierta.

La durabilidad de los compuestos cementicios reforzados con fibras naturales ha sido ampliamente estudiada. En estas investigaciones se ha demostrado que la vida de estos materiales es corta dado el deterioro que sufre la fibra por ataques químicos del medio básico que se genera en la matriz. Sin embargo, modificaciones de la matriz tendientes a bajar su alcalinidad y los tratamientos a la fibra con el fin de impermeabilizarla, han sido probadas con buenos resultados. Para el fique se ha propuesto la digestión de la fibra por cinco minutos a temperatura de ebullición, con lo cual se busca reducir el ataque químico y prevenir el microbiológico. Sin embargo, se siguen buscando métodos más efectivos para prevenir la degradación de la fibra y darle mayor estabilidad hidrolítica.

Savastano (2003), confirma que las fibras vegetales como refuerzo en matrices frágiles son útiles para apuntalar los compuestos cementicios a partir del mejoramiento de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, módulo de rotura, tenacidad y ductilidad), así como de las características físicas.

Las fibras vegetales favorecen varias partes del proceso de producción, pues impiden la sedimentación de la suspensión acuosa de cemento y sus finas adiciones y ayudan a retener finos durante la etapa del drenado, evitando con ello el taponamiento de los filtros o telas. Asimismo, con un tratamiento superficial las fibras vegetales aumentan el desempeño mecánico y la durabilidad. Las fibras vegetales usadas en forma de pulpas celulósicas en el proceso Hatschek, han estado acompañadas de un proceso de refinamiento empleado por Tonoli. Este proceso consiste en un tratamiento mecánico que confiere a la fibra mayor

adherencia a la matriz cementicia. Los materiales compuestos cementicios poseen una interface entre la fibra y la matriz. Esta zona desarrolla una función importante en la transmisión de tensión entre las dos fases, en el aumento de la energía de fractura del compuesto y en el bloqueo de las fisuras. Las uniones fuertes generan compuestos frágiles con alta resistencia y las débiles una alta tenacidad con bajas resistencias.

Durabilidad

La degradación de la fibra celulósica en la matriz alcalina de cemento se considera el principal problema de durabilidad de estos compuestos y es objeto de varios estudios. Los métodos utilizados para evaluar la durabilidad de las tejas de fibrocemento implican someter las muestras al envejecimiento natural acelerado, el cual consiste en someter la teja a unas condiciones específicas de lluvia-calor en ciclos repetidos.

Investigaciones llevadas a cabo en Colombia

Delvasto (2010), del grupo de investigación Materiales Compuestos, de la Universidad del Valle, es pionero en la utilización de fibra de fique en Colombia. Investigó las tejas onduladas de cemento reforzadas con fibras de fique y obtuvo propiedades mecánicas interesantes –como un módulo de rotura a veintiocho días– comparables con la referencia sin fibras y en tenacidad superan en 118 % la mezcla de referencia.

El problema de la durabilidad de los compuestos lo ha conducido a dirigir nuevas investigaciones como modificación química de la superficie de la fibra de fique para su utilización en materiales compuesto fibrorreforzados con matrices cementicias y poliméricas (Botache, 2001) y *pull-out* en función de la relación agua-cemento de varios tipos de fibras en morteros de cemento Portland (Valdés, 2003).

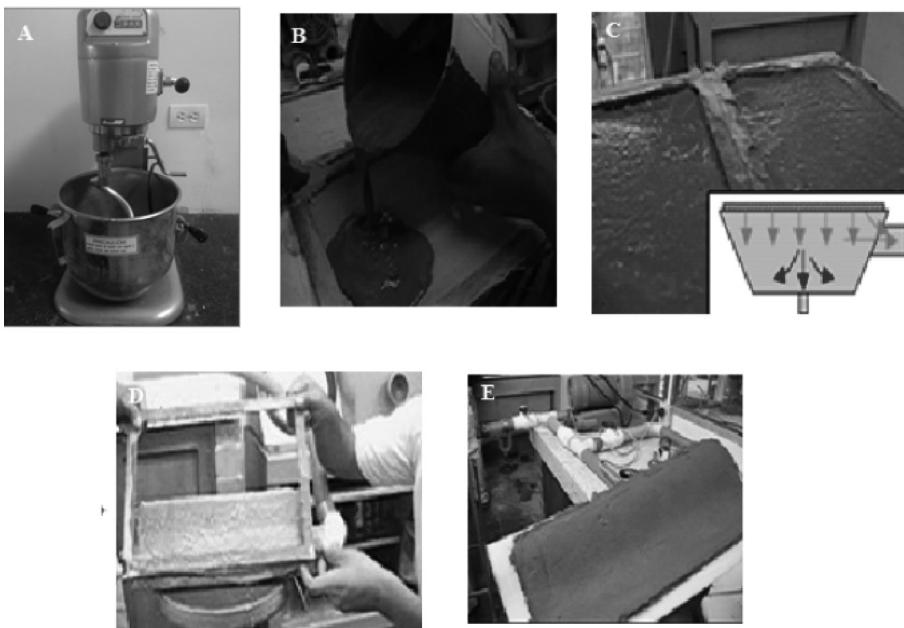
Botache investiga el tratamiento de las fibras con el silano A174, en una relación inicial silano-fibra al 1 % llevada hasta el 8 %, proceso denominado sulfonación que mejora el material al producir un módulo con mayor elasticidad respecto de los demás tratamientos, así como un esfuerzo último más alto. La investigación consultada indica que la fibra de fique mostró los mejores resultados, con una longitud embebida de un centímetro, aunque con una adherencia baja.

Proceso de fabricación de la teja de fibrocemento

De acuerdo con los lineamientos de producción antes mencionados, el procedimiento de fabricación de las tejas usadas para el prototipo en el cual se utilizó fibra de fique y agregado de escoria de aluminio, fue el siguiente (Figura 3):

Figura 3

Proceso de fabricación de la mezcla. (A) mezclado; (B) vaciado; (C) drenado; (D) moldeado, y (E) curado



Mezclado. El mezclado es la primera etapa del proceso. En ella se adicionan los componentes según un orden lógico y cronológico en el equipo mezclador. La relación agua/cemento se mantuvo fija en 0,9 con el objeto de obtener una adecuada fluidez y homogeneidad.

Vaciado. En esta etapa se vierte primero la mezcla en la campana o cámara de drenado sobre dos marcos de madera, luego se extiende sobre una tela especial que evita que se escapen los finos.

Drenado. Este proceso se llevó a cabo por medio de un equipo de drenado que consta de la cámara de succión, una bomba de vacío, moldes, filtro y un sistema de tuberías y válvulas. El equipo extrae el agua de la mezcla con un vacío de dos a cuatro bares durante un minuto aproximadamente. Una vez finaliza el proceso de drenado se retira la tela y se conforma.

Moldeado. Se conforma la lámina en probetas a flexión con las siguientes dimensiones: longitud 16 cm; ancho 4 cm, y espesor: 0,6 cm y así como una teja; finalmente se transporta las probetas a la cámara de fraguado.

Curado. El curado de las probetas a flexión se hace en una cámara de curado al 90 % de humedad durante veintiocho días para desarrollar unas óptimas propiedades mecánicas.

Normas técnicas colombianas vigentes para fabricación mampuestos y tejas

- Normas para productos de mampostería: NTC 4024, NTC 4026 y NTC 4076
- Normas para la selección de agregados: NTC 32, NTC 174, NTC 175, NTC 176 y NTC 237
- Normas para la selección de agua: NTC 3459
- Normas para la selección del cemento: NTC 121 y NTC 321
- Normas para la dosificación de los materiales: NTC 4027

Concreto translúcido

El concreto translúcido es la combinación de materiales convencionales como el cemento, agregados, agua y las fibras de vidrio. Fue creado con el propósito de brindar mejor apariencia frente a la luz sin descuidar propiedades fundamentales como la resistencia a la compresión. Aunque la diferencia de precio entre el hormigón translúcido y el convencional es enorme, el primero se destaca pese a su costo por tener alta resistencia y facultades estéticas únicas. Estas virtudes han hecho que sea de alta aceptación tanto en arquitectura como en construcción (Hoyos, 2014; Kumar, 2010).

En el 2005 los ingenieros civiles mexicanos Joel Sosa G. y Sergio Galván C. desarrollaron un material cementante revolucionario que tenía la capacidad de ser colado debajo del agua y era un 30 % más liviano que el concreto tradicional, además de ser más estético, lo cual permitía un ahorro en el acabado. Este producto patentado está compuesto de materiales cemento, agregados y aditivos que le otorgan propiedades térmicas comparadas con el vidrio, el metal y el concreto tradicional. En la Tabla 1 se observan algunas propiedades mecánicas de este concreto (Hoyos, 2014):

Tabla 1
Propiedades mecánicas del concreto translúcido

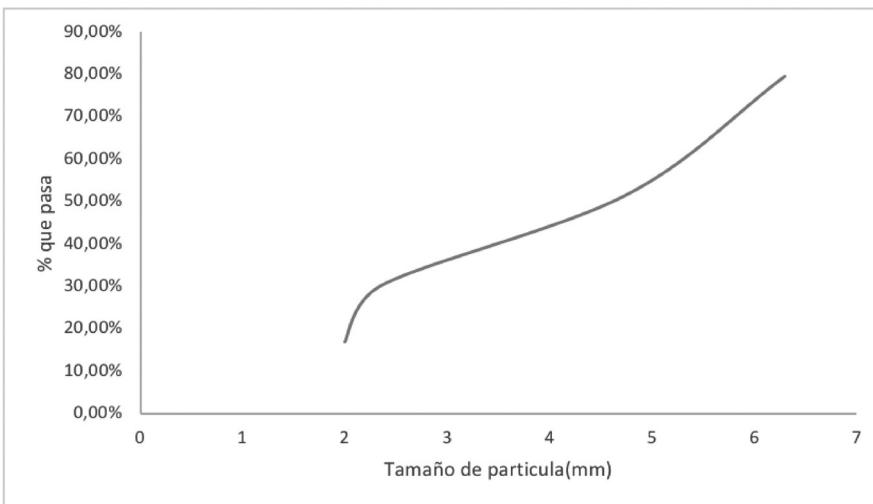
Resistencia a la compresión	>450 kg/cm ²
Módulo de elasticidad en compresión	24,320 kg/cm ²
Resistencia a la flexión	590 kg/cm ²
Módulo de elasticidad en flexión	2,050 kg/cm ²

Proceso de fabricación del concreto translúcido

Los materiales utilizados fueron resina poliéster 115A, catalizador y residuos de vidrio. La metodología implementada consistió en seleccionar y caracterizar los materiales mediante la trituración y granulometría utilizando resina poliéster 115A y partículas de vidrio de parabrisas triturado con una trituradora de mandíbulas, con el fin de obtener tres tamaños diferentes de partículas y lograr así

la gradación correcta. Luego de este procedimiento se llevó a cabo el análisis granulométrico (Gráfico 2).

Gáfico 2
Curva granulométrica del vidrio templado



Tendencias de los resultados y análisis del concreto translúcido

Para la investigación se elaboró un concreto translúcido basado en resina de poliéster y vidrio de parabrisas reciclado. El objetivo del proyecto fue evaluar la influencia del espesor (2, 3 y 4 cm) mediante la valoración de las propiedades mecánicas, físicas y ópticas. Los materiales empleados fueron resina poliéster 115A Polisuín y residuos de vidrio de los parabrisas de automóviles. Para el diseño de la mezcla se utilizó el método de volúmenes libres.

En el desarrollo se estableció el diseño del método de volúmenes libres, lo que permite una buena manejabilidad al vaciado y conformado del concreto luego de un proceso de reducción del tamaño de partículas de vidrio utilizando una trituradora de mandíbulas. Se determinó el tamaño óptimo de los residuos y la mezcla óptima fue del 60 % de residuos de vidrio y 40 % de resina poliéster. Se hizo el análisis granulométrico de las partículas adicionadas al material y se obtuvo un tamaño óptimo entre 2,36 y 6,3 mm (Jiménez y Fernández, 2014).

El aumento del espesor de la lámina disminuyó la traslucidez del concreto. Paralelamente se evaluaron diferentes tamaños de partículas y se encontró que a menor tamaño mayor opacidad. Al utilizar partículas mayores de 6,3 mm se aumenta la traslucidez, pero se disminuye la resistencia a la flexión. Se concluyó que el aumento del espesor del concreto polimérico influye en las características de traslucidez del concreto.

En la búsqueda de nuevos materiales que suplan nuestras necesidades, el concreto ha sido de vital importancia para el desarrollo de viviendas, edificaciones y construcciones en general, para lo cual es básico la exploración de elementos que mejoren sus propiedades mecánicas y su durabilidad y trabajabilidad, sean estos adiciones minerales o aditivos químicos. El concreto polimérico translúcido es un material plástico compuesto por resina poliéster y agregados de distintos tipos de granulometrías, lo que lo hace un compuesto sólido de alta resistencia a la compresión, impermeable, durable y resistente a los ataques químicos, además de ser un material aislante térmico y eléctrico.

El concreto polimérico translúcido a partir de residuos de vidrios de parabrisas triturados es una alternativa al problema medioambiental toda vez que su utilización en la fabricación de nuevos productos, se traduce en una reducción considerable de desechos que se depositan en las calles, basureros o vertederos. En la actualidad, los parabrisas de los automóviles chatarrizados son desechados y su reciclaje se dificulta por la lámina de seguridad que hace difícil su procesamiento. El concreto polimérico translúcido es un material que podría ser utilizado en acabados, separadores y paneles estructurales y decorativos. Este concreto goza de gran cohesividad entre sus partículas, alta resistencia, durabilidad y aspecto uniforme, lo cual permite su utilización en separadores, elementos para un acabado estético, claraboyas, muros y elementos decorativos, entre otros.

Para la evaluación de las propiedades ópticas de translucidez se utilizó un luminómetro que permitió contabilizar la cantidad de luz que pasaba en una aérea determinada. Esta evaluación se llevó a cabo midiendo la cantidad de luz emitida por una fuente determinada y posteriormente la cantidad de luz que transmitía nuestro concreto.

Para los resultados de este trabajo se elaboraron muestras con tamaños de partículas menores a 2,36 mm y se observó que estas se segregaron. Visualmente se notó la separación de las fases entre las partículas de vidrio y la resina poliéster. Por otro lado, se elaboraron muestras con tamaños de partículas mayores a 6,3 mm y se advirtieron partículas segregadas y una capa de resina, razón por la cual se empleó la gradación con diferentes tamaños de partículas que hizo posible su acomodación dentro de la matriz polimérica. En el ensayo de translucidez se observó que las partículas de menor tamaño opacaban la muestra así como el poco paso de la luz. Sin embargo, la muestra con las partículas de mayor tamaño mostró mayor paso de la luz, pero con menores propiedades mecánicas.

La evaluación de las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión del concreto polimérico se muestra en la Tabla 2. Se evaluaron muestras 100 % de resina poliéster (r) y 0 % de agregados de residuos de vidrio (av); muestras con 75 % (r) y 25 % (av); 50 % (R) y 50 % (av). La mezcla óptima que se estudió con mayor relevancia estaba conformada por un 40 % (r) y un 60 % (av).

Tabla 2

Resultados experimentales con variaciones del espesor y resultados de propiedades mecánicas y medidas de paso de luz

Diseño resina (r) y agregados de vidrio (av)	Espesor	Resistencia a la flexión (mpa)	Módulo de elasticidad a la flexión (mpa)	Deformación máxima (%)	Medida de paso de luz (kfc)
100/0	3	87	4,3	1,7	1,50
75/25		55	3,2	1,1	0,68
50/50		43	2,6	0,8	0,52
400/60	2	24	1,2	0,4	1,26
	3	34	1,7	0,5	0,49
	4	39	2,3	0,6	0,39

Para el ensayo de flexión se utilizaron vigas de (4 x 4 x 16) cm y se obtuvieron los datos de la Tabla 3. Para el ensayo de flexión se usó el dispositivo de la Figura 4.

Figura 4

Dispositivo para el ensayo de flexión

**Tabla 3**

Resultados experimentales de ensayo a compresión

Diseño agregados de vidrio	Resistencia a la compresión (MPa)
Agregados finos	15,51
Mezcla óptima	19,56
Agregados gruesos	7,44

Se concluye que las propiedades de traslucidez del concreto polimérico aumenta con la disminución del espesor, propiedad que se reduce con el aumento del tamaño de las partículas de vidrio. Conjuntamente, la adición de más del 50 % en peso de las partículas de vidrio en el concreto con matriz polimérica reduce en un 40 % las propiedades a la flexión. La buena gradación del vidrio aumenta las propiedades mecánicas de los paneles.

Domótica en arquitectura

La domótica

El término domótica proviene de la unión de las palabras *domus* (casa en latín) y robótica (*de robota*, esclavo, sirviente, en checo). Se entiende por domótica el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda y aportar servicios de comunicación, gestión energética, seguridad y bienestar, los cuales pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas, cuyo control goza de cierta ubicuidad desde dentro y fuera del hogar. Se podría definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto.

Lorente S., citado por Martín Domínguez y otros (2006), propone un acercamiento original e ingenioso al campo de la tecnología en la esfera doméstica por medio de del acrónimo domotica, compuesto de *domo* (casa o vivienda según su origen del latín) *tic* por tecnologías de la información y las comunicaciones y la “a” final que denota automatización. Sin embargo, se observa que esta descomposición no atiende al significado etimológico de la palabra domótica ya analizado previamente, sino a un juego de palabras y siglas.

El término TIC aparece a diario en la prensa, la televisión y demás medios, pese a lo cual protagoniza una mezcolanza de conceptos confusos. Inicialmente fue solo TI (tecnologías de la información) procedente de su homólogo inglés IT (*Information Technology*). Este concepto recogía el procesado y transporte de la información al igual que la palabra telemática —contracción de *telecomunicaciones e informática*— propuesta en castellano a finales de los años setenta por el ingeniero de telecomunicación Luis Arroyo y acuñada por los franceses Simon

Nora y Alain Minc. No obstante, en Europa se añadió la “c” de comunicaciones en referencia a los medios de comunicación social e interpersonales, a fin de resaltar la sinergia y la convergencia entre las tecnologías de la información y la industria de los contenidos (radio, televisión, prensa) (Europeas, 2001).

A parte la polémica lingüística, las TIC son unos modos humanos que se fundamentan en la tecnología electrofotónica. Su objetivo es, ante todo, captar, transportar, almacenar, procesar y difundir datos y en menor medida información y conocimiento para el diseño de aplicaciones (Martín y Sáez, 2006). Así las cosas, cabe preguntarse por el papel de las TIC en la vivienda, que resulta ser ciertamente prometedor. La “i” de informática constituye el órgano central, el cerebro del hogar tecnificado. La “c” distingue entre continente (las redes o infraestructuras de comunicaciones externas e internas de la casa) y contenido (servicios a distancia o teleservicios). La “a” de domótica, es automatización o robotización, tanto de la gestión de la vivienda (control, seguridad, vigilancia) como del procesamiento de los datos.

Aplicaciones

Los servicios que ofrece la domótica se pueden agrupar en cuatro ámbitos principales:

Ahorro energético. Orientado principalmente a disminuir el gasto del recurso energético el cual se ve reflejado en un aumento de los recursos monetarios. Se puede orientar principalmente a:

- Climatización: programación y zonificación.
- Gestión eléctrica: racionalización de cargas eléctricas; desconexión de equipos de uso no prioritario; reduce la potencia consumida. Gestión de tarifas que deriva en el funcionamiento de algunos aparatos a horas de tarifa reducida o poca demanda.
- Uso de energías renovables.

Nivel de confort. Permite generar espacios caracterizados por ambientes de comodidad que garantizan una permanencia confortable en el recinto. Se destacan sistemas orientados a:

- Iluminación: apagado general de todas las luces de la vivienda; automatización del apagado/encendido en cada punto de luz; regulación de la iluminación según el nivel de luminosidad ambiental; automatización de los distintos sistemas, instalaciones y equipos al dotarlos de un control eficiente y de fácil manejo.
- Integración del portero al teléfono o del videoportero al televisor.

- Control vía internet.
- Gestión multimedia y del ocio electrónico.
- Generación de macros y programas de forma sencilla para el usuario.

Protección patrimonial. Facilita la vigilancia del hogar en ausencia de las personas que lo habitan. Adicionalmente, permite supervisar aspectos relacionados con fugas en tuberías hídricas o de gas. Se destacan principalmente:

- Simulación de presencia.
- Detección de focos de incendio, fugas de gas, escapes de agua.
- Alerta médica; teleasistencia.
- Cerramiento de persianas.
- Acceso a cámaras IP.

Comunicaciones. Con el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y el internet, este aspecto ha cobrado un auge importante en la última década. Esta aplicación permite al usuario:

- Ubicuidad en el control del hogar tanto externo como interno.
- Transmisión de alarmas.
- Intercomunicaciones.
- Vigilancia veinticuatro horas desde sitios remotos.

Elementos del sistema

Son aquellos que participan en el proceso de captura de la variable física, la transmisión de la información, el procesamiento inteligente de los datos y de la energía para poner en funcionamiento otros dispositivos. Entre ellos se encuentran:

- Controladores
- Sensores
- Actuadores

Procesamiento digital de señales (DPS)

El procesamiento digital de señales (DSP por sus siglas en inglés), es la disciplina del área de las matemáticas que tiene por objeto operar o transformar las señales digitales con el fin de entender o destacar la información implícita o explícita que estas poseen. Con el avance de la tecnología, esta disciplina teórica comenzó a utilizar los circuitos electrónicos para comprender las diferentes señales que

provienen del mundo real (señales de radar, comunicaciones, música, voz, sonar, vibraciones, temperatura, imágenes de las sondas espaciales remotas, tensiones generadas por el corazón y el cerebro, vibraciones sísmicas, etc.). Abarca en profundidad y amplitud campos diversos con sus propios algoritmos, matemáticas y técnicas especializadas (*The Scientist and Engineer's guide to digital signal processing*, 1997).

Estrictamente hablando, el procesamiento digital de señales es aplicable a cualquier circuito integrado que trabaje con señales representadas de forma digital mediante secuencias de muestras. Cuando estas muestras se obtienen de señales físicas se utilizan transductores y conversores analógico-digitales. Después del procesado matemático, las señales digitales pueden volver a convertirse en señales físicas mediante conversores digital-analógicos, como puede observarse en la Figura 5.

Figura 5
Diagrama de bloques conceptual de un sistema digital con DSP



Fuente: Código Colombiano de Fontanería NTC 1500.

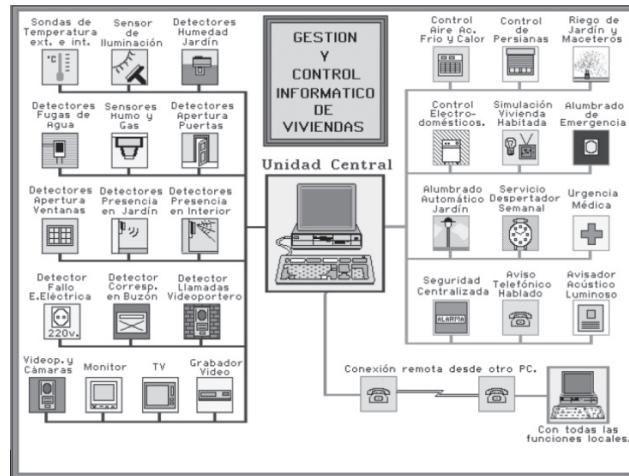
En la literatura y en la práctica de los diseñadores de *hardware*, se denominan DSP los procesadores digitales de señales. Por su parte, los desarrolladores de *software* lo utilizan para referirse a los algoritmos de procesamiento digital de señales.

Arquitectura

Orientada a la organización de cada elemento dispuesto para el control de las variables previamente seleccionadas. Se presentan tres tipos de organización:

1. Arquitectura centralizada. Un controlador centralizado recibe información de múltiples sensores, la cual una vez procesada, genera las órdenes oportunas para los actuadores (Figura 6).

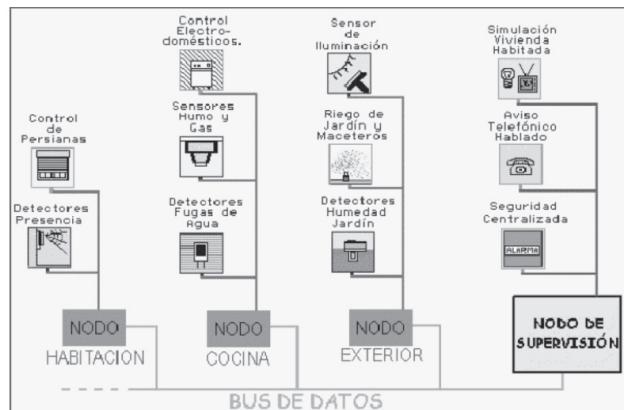
Figura 6
Arquitectura centralizada para automatización en el hogar



Los principales problemas tienen que ver con errores en el funcionamiento y la difícil modificación y ampliación de los elementos que la componen. Sin embargo, es atractiva por su fácil instalación y economía.

2. Arquitectura distribuida. La inteligencia del sistema está distribuida por todos los módulos, sean estos sensores o actuadores. Es típica de los sistemas de cableado en bus o de redes inalámbricas (Figura 7).

Figura 7
Arquitectura distribuida para automatización en el hogar



Esta topología presenta, sin embargo, un costo elevado y demanda un diseño complejo. Sus ventajas son una alta flexibilidad y elevada integración entre sus componentes.

3. Arquitectura mixta. Son sistemas con arquitectura descentralizada en cuanto disponen de pequeños dispositivos que adquieren y procesan información de múltiples sensores y la transmiten al resto de dispositivos distribuidos por la vivienda. Entre los medios de transmisión se pueden destacar dos grupos:

Metálico

- Corrientes portadores sobre la misma red eléctrica
- Cable de par trenzado
- Coaxial

Inalámbrico

- Radiofrecuencia (propenso a interferencias electromagnéticas)
- Infrarrojos: fotodiodo y fotorreceptor

Es importante tener en cuenta características como disponibilidad, privacidad, seguridad, costos de instalación y flexibilidad.

Tecnologías y estándares

Entre las principales tecnologías del mercado se tienen:

- X10: *EE. UU, finales de los setenta.* Es un protocolo de comunicaciones para el control remoto de dispositivos electrónicos. Utiliza la línea eléctrica (220V o 110V) para transmitir señales de control entre equipos de automatización del hogar en formato digital.
- EHS (*European Home System*): *1992, Unión Europea.* El protocolo tiene por objeto la comunicación y el control de los aparatos del hogar utilizando la línea de comunicación de energía (PLC). Desarrollado por la Asociación Europea de Sistemas de Hogar (EHS).
- EIB (*European Installation Bus*). Es un sistema de domótica basado en un bus de datos. A diferencia de X10 que utiliza la red eléctrica, el EIB utiliza su propio cableado, por lo cual se deben instalar las conducciones adecuadas en el hogar.
- BatiBUS. Es un protocolo de domótica totalmente abierto; es decir, lo puede implementar cualquier empresa interesada en introducirlo en su cartera de productos. Fue muy utilizado en los antiguos sistemas de control industrial franceses y debido a sus limitaciones quedó obsoleto. Entre los dispositivos de BatiBUS en el mercado está el Pyram de la empresa española Delta Dore.
- Konnex (EHS + EIB + BatiBUS). Desde 1999, la Konnex Association ha fusionado el sistema EIB con otros dos presentes en el mercado europeo

(BatiBUS y EHS), dando lugar de esta manera a KNX, que se establece como bus de estándar europeo.

- *Biodom*. Desarrollado en España, se basa en el estándar EHS. Consiste en un conjunto de módulos distribuidos por la instalación eléctrica del hogar que conecta los dispositivos que se desean controlar en la vivienda. Estos podrán consistir en sensores, los cuales proporcionan información al sistema, y en actuadores, a través de los cuales el sistema es capaz de accionar sobre su entorno. Los sensores y actuadores utilizados no tienen por qué ser específicos para el sistema *Biodom*, pues la mayoría de los disponibles en el mercado pueden ser utilizados.

Energía alternativa para la vivienda sostenible

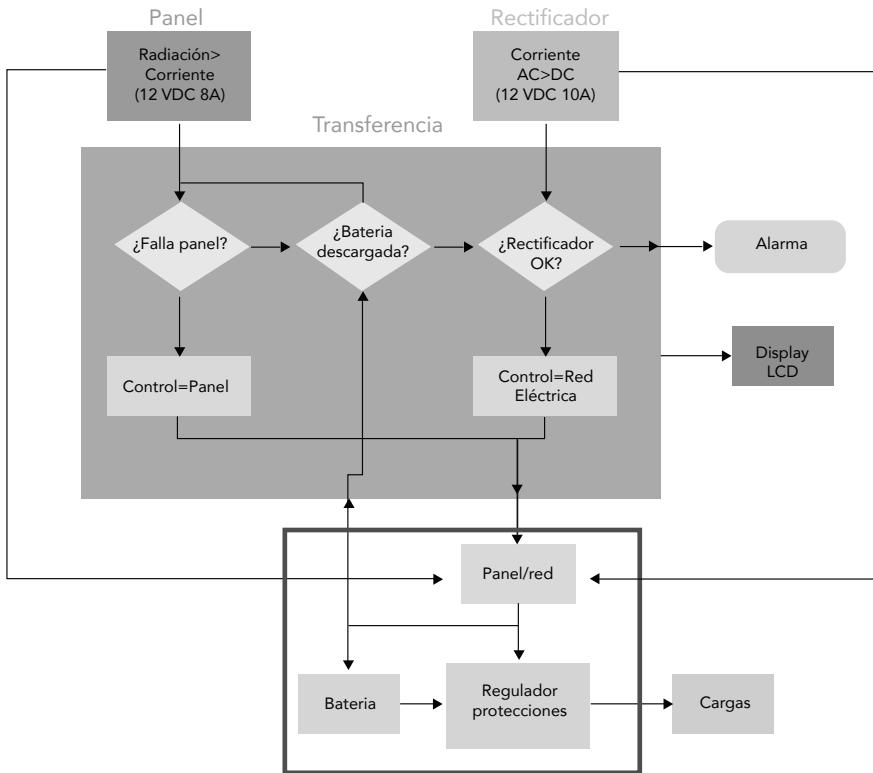
Descripción de la operación del sistema fotovoltaico

El sistema de alimentación eléctrica en corriente directa (SAED) está controlado por una transferencia electrónica que determina el sistema que cargará la batería (acumulador). La alimentación de energía proviene de un panel solar que suministra una tensión de 12 V y una corriente de 8A DC o un sistema que rectifica la corriente alterna. Las luminarias y demás dispositivos que se conecten como cargas estarán alimentados por la batería directamente.

Para cumplir con las normas sobre protecciones eléctricas, se cuenta con el regulador de carga que determina la conexión-desconexión automática tanto de las fuentes de alimentación como de la batería y las cargas.

Aunque el objetivo es independizar el sistema de iluminación de la red eléctrica, se decide conservar la opción de acceder a ella en caso de falla del sistema fotovoltaico. Para este fin, se diseña un circuito electrónico que efectúa una transferencia eléctrica para activar la alimentación de la red eléctrica externa cuando se presenten fallas en el panel solar o en la batería. Ello permite que el sistema de iluminación esté disponible todo el tiempo. Este dispositivo evalúa constantemente la corriente entregada por el panel y en caso de falla o de un nivel de tensión bajo en la batería, activa la entrada correspondiente a red eléctrica. También cuenta con una pantalla LCD para indicar el estado del sistema y el nivel de tensión de la batería (Figura 8).

Figura 8
Diagrama de bloques sistema fotovoltaico



Identificación de variables

Para la instalación, operación y evaluación del sistema fotovoltaico se deben considerar las variables que permitan evaluar el desempeño y la operación. A continuación estas variables y una breve explicación de ellas.

Tensión de panel

Es la tensión entregada por el panel, la cual, generalmente, en circuito abierto es de 12 VDC. Cuando se hace la conexión de una carga esta tensión cae si la corriente entregada por el panel no es suficiente. Su unidad de medida es el voltio (VDC).

Corriente de panel

Es la corriente entregada por el generador solar. Depende básicamente de la radiación captada por el panel y su unidad de medida es el amperio (A).

Tensión de la batería

Es la tensión entregada por la batería. Ordinariamente, una batería de 12 VDC a carga completa entrega 14 VDC; entrega una tensión de 11,5 VDC aproximadamente. Por tal razón, la tensión para carga de batería debe ser mayor a 14 VDC. Su unidad de medida es el voltio (VDC).

Corriente nominal de la batería

Es la capacidad de entrega de carga de la batería. Está determinada por la corriente de consumo de las cargas y el periodo necesario para mantenerlas alimentadas. Su unidad de medida es el amperio/hora (A/h).

Cargas

Constan de los dispositivos que deben ser alimentados eléctricamente por el sistema fotovoltaico (lámparas, televisores, computadores, etc.). Están determinados por su consumo, por lo cual su unidad de medida es el vatio/hora (W/h). El consumo de las cargas puede también expresarse en amperios/hora (A/h) cuando se requiere calcular la capacidad de la batería.

Caracterización del sistema fotovoltaico

Una de las principales limitantes al acceso a un sistema fotovoltaico convencional son sus altos costos de implementación, lo cual imposibilita a varios sectores el acceso a este tipo de tecnología.

Aunque gracias a los avances tecnológicos los equipos que conforman un sistema fotovoltaico han disminuido sus costos, en el desarrollo de este proyecto se evaluaron las alternativas para reducción de costos en la implementación de este tipo de sistemas.

Uno de los equipos más costosos de un sistema fotovoltaico es el inversor DC-AC, encargado de tomar la tensión de una corriente DC entregada por el panel y convertirla en una tensión (generalmente de 110 V) de corriente AC.

Sobre la base de que los bombillos ahorreadores comúnmente usados en Colombia en su principio de operación toman una tensión de 110 V AC e internamente con circuitería electrónica la convierten en una tensión de aproximadamente 50 V DC, se plantea desarrollar este proyecto en lo referente a la iluminación de una vivienda utilizando bombillos fluorescentes que operan a 12 V DC. Ello permite eliminar la etapa inversora del sistema fotovoltaico y disminuir los costos de su implementación.

Cabe mencionar que hoy en día los bombillos fluorescentes y equipos como refrigeradores, lámparas, ventiladores, cargadores, radios y televisores, se dise-

ñan para ser alimentados directamente con DC (Atmospher Ltda, 2013; Alta Ingeniería, 2012; Tuswitch, 2013).

Estimación de las cargas por alimentar

En la Tabla 4 se muestran los datos de las cargas que se van a alimentar por el sistema fotovoltaico. Se estima su potencia promedio, la potencia total demandada y el consumo eléctrico diario aproximado, calculado con base en una estimación de las horas de uso promedio de cada luminaria.

Tabla 4
Cargas del sistema fotovoltaico

Cantidad	Carga	W	W totales	Horas de uso por día	Consumo diario
8	Bombillos	7W	56W	6 h	336 Wh/día
1	Radio	20W	20W	4 h	80 Wh/día
				Total	416 Wh/día

Dimensionamiento de los componentes del sistema

Con base en que el consumo total para cubrir ocho luminarias de 7W y un radio u otro dispositivo con consumo aproximado de 20W es de 416 Wh/día, según las horas de uso diario indicadas en la Tabla 5, se procede a efectuar el cálculo de la corriente que se debe generar y la capacidad de almacenamiento apropiada.

Tabla 5
Cálculo de capacidad del generador y el acumulador

Cálculo de la corriente requerida		
A1	Carga total diaria	
A2	Tensión CD del sistema (generalmente 12 V o 24V)	
A3	Carga diaria corriente (A1/A2)	
A4	Multiplicar con el factor de seguridad 20 % (para compensar las pérdidas en las baterías y otros componentes)	
A5	Carga diaria corriente corregida (A4XA3)	
A6	Promedio de horas de sol por día	
A7	Amperaje que el sistema tendrá que producir (A5/A6)	
Cálculo del número de paneles		
B1	Amperaje máximo del módulo solar seleccionado (según especificaciones del fabricante)	8A
B2	Se divide la línea A7 entre la B1 para obtener el número de módulos necesario	1
B3	Redondee al número completo inmediato superior	1
Cálculo del número de baterías		
C1	Carga total diaria (A5)	42 Ah
C2	Días de reserva (tiempo que el sistema debe funcionar sin sol)	2

Cálculo de la corriente requerida		
Cálculo del número de baterías		
C3	Capacidad nominal del banco de baterías (C1XC2)	84Ah
C4	Factor de profundidad de descarga (generalmente 80 %. Significa que se deja un 20% de reserva en las baterías (C1XC2)	0.8
C5	Capacidad corregida del banco de baterías (C3/C4)	105A
C6	Capacidad nominal de batería (según especificaciones del fabricante)	110A
C7	Número de baterías (C5/C6)	1

Diseño del sistema de generación eléctrica fotovoltaico

Construcción del prototipo

Según los cálculos llevados a cabo en las anteriores tablas, los equipos deben cumplir con las características descritas en la Tabla 6.

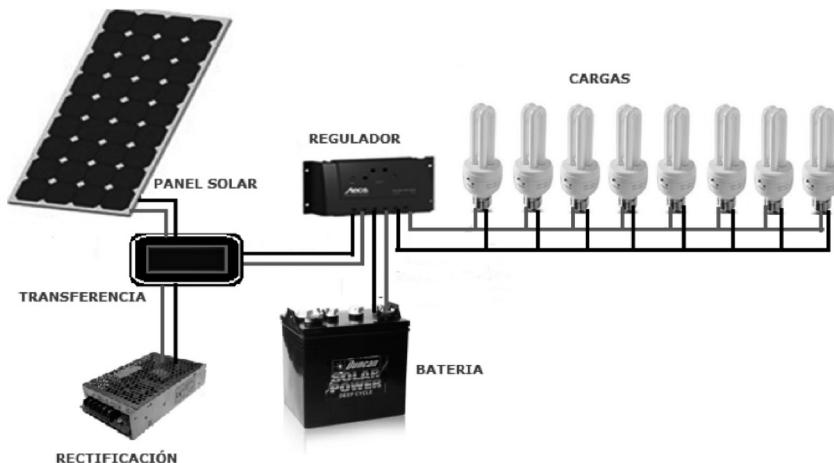
Tabla 6
Equipos del sistema fotovoltaico

Cantidad	Equipo	Características
1	Panel fotovoltaico	12V / 110W
1	Batería ciclo profundo	12V / 110 A
1	Regulador de carga	12V / 8 A
1	Sistema electrónico de trasferencia	Evaluación nivel de batería Suspensión de la corriente del panel Control/selección de la fuente Alerta/alarmas

Para cubrir las necesidades de este sistema y tomando como referencia los cálculos efectuados, se plantea la implementación de un sistema fotovoltaico con la siguiente topología (Figura 9):

- Un panel solar 12V 130W
- Un regulador de carga 10A
- Una batería 12V 110A
- Una transferencia eléctrica
- Una etapa de rectificación 110VAC-12VDC 8A
- Ocho bombillos fluorescentes 12V 7W

Figura 9
Sistema fotovoltaico desarrollado



Equipos del sistema fotovoltaico

Sistema de transferencia eléctrica

El sistema se desarrolló en un procesador Atmega 32, se utilizó una programación basada en una estructura de tareas y se corrió sobre un sistema operativo para sistemas embebidos FreeRTOS (figuras 10, 11 y 12).

El sistema verifica permanentemente el estado del panel solar (medición de corriente) por medio de una entrada analógica. En caso de presentarse fallas en este suministro por poca radiación solar o fallas en el panel, el sistema debe evaluar si la batería requiere ser cargada; si es así, debe habilitar la conexión de la red eléctrica y evaluar su estado. En caso de estar disponible, el sistema habilita la alimentación mediante la red eléctrica. Si la falla en el panel se genera y la batería aún se encuentra cargada en un nivel alto, el sistema genera una alerta.

La habilitación de la conexión de la red eléctrica consiste en activar un relé que mecánicamente hace la conexión de la etapa de rectificación. Esto evita consumos de la red eléctrica mientras no sea necesario el uso del sistema rectificador. Adicionalmente, el sistema evalúa la tensión en la batería mediante otro canal del ADC, para determinar su porcentaje de carga. Asimismo, un visualizador LCD informa al usuario la fuente de alimentación con la cual está trabajando el sistema eléctrico y el estado de carga de la batería.

En cuanto a las alarmas, el sistema genera una señal auditiva en caso de identificar que no hay suministro de corriente tanto del panel como de la red eléctrica.

Esto permitirá al usuario desconectar cargas o tomar otras acciones que den mayor tiempo de duración de carga de la batería.

Tanto para la señal de alerta como de alarma, se cuenta con un indicador visual (LED) y un indicador auditivo (zumbador). La señal auditiva puede ser identificada y silenciada mediante un pulsador, lo que permitirá suprimir el sonido de estas señales y mantener la indicación visual.

Figura 10
Diagrama de bloques del sistema de transferencia

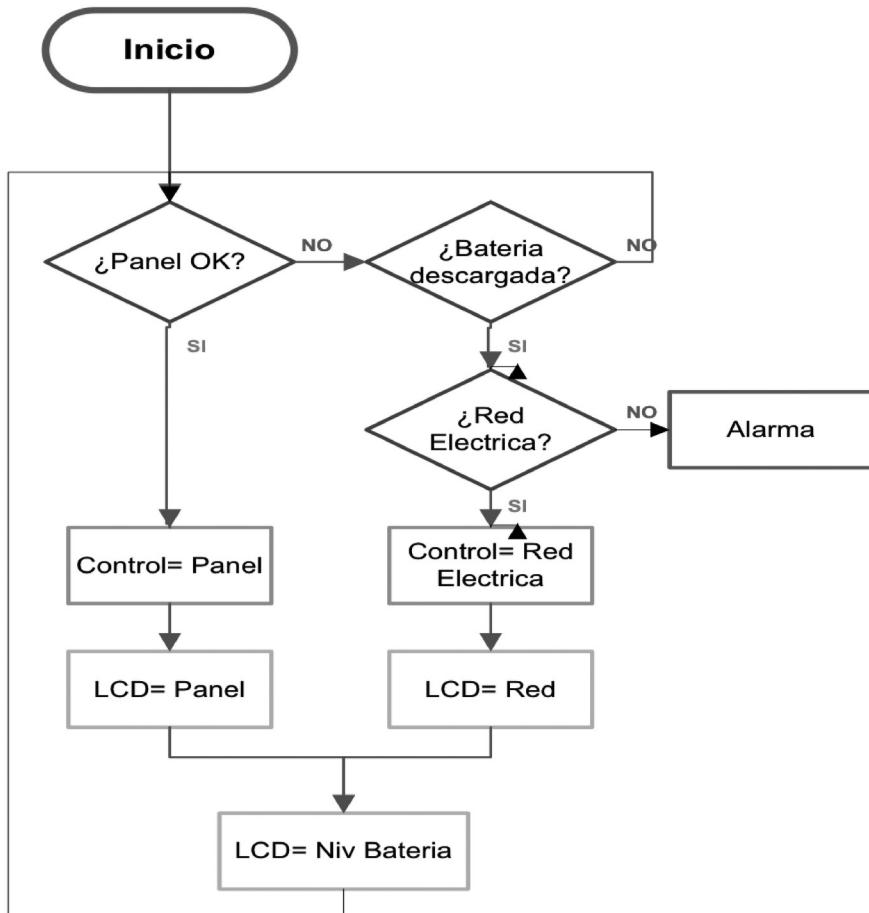


Figura 11
Círculo del sistema de transferencia

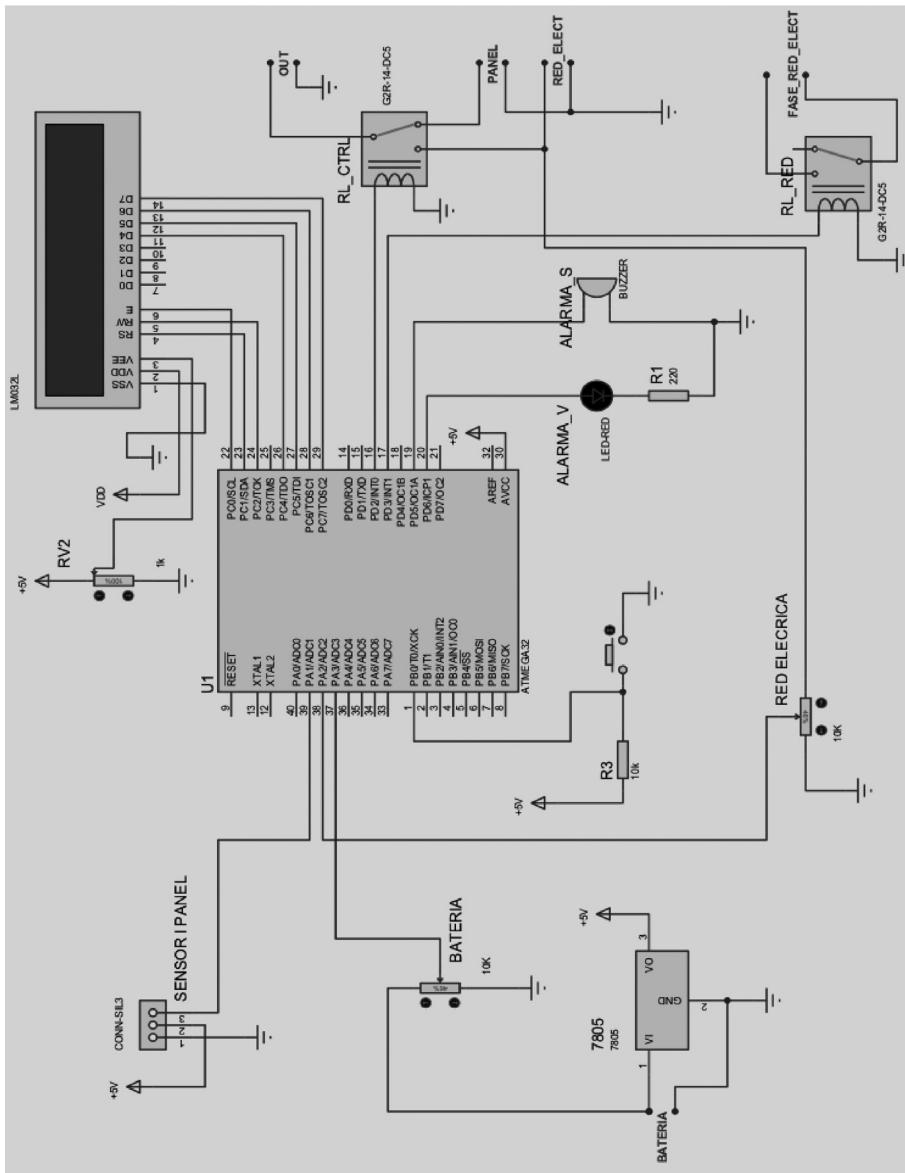
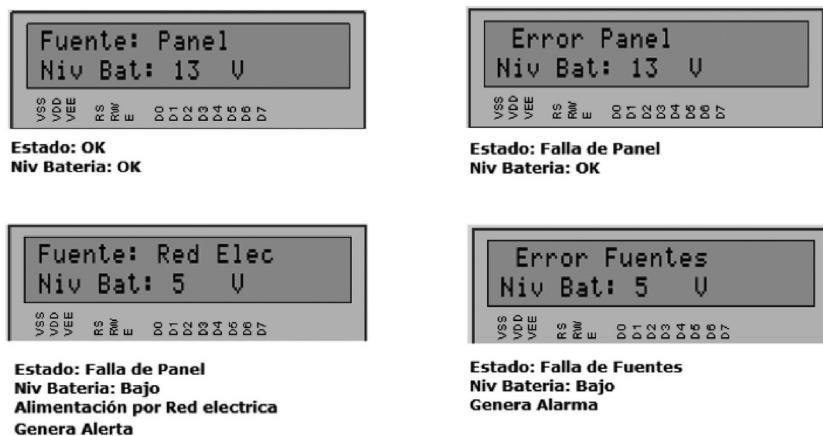


Figura 12
Estados del sistema de transferencia en display

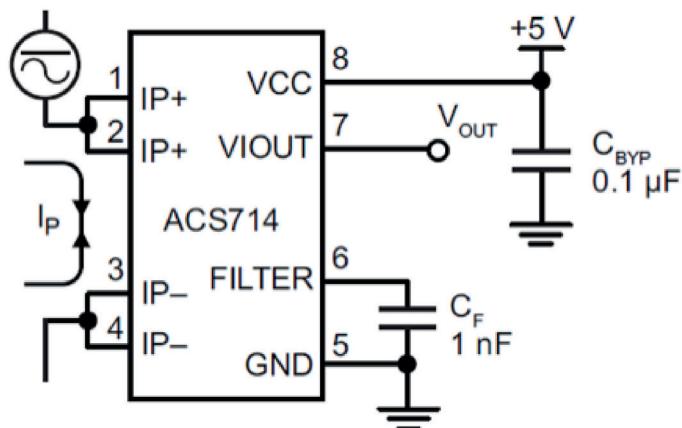


Elemento sensor

El dispositivo principal de este sistema es un sensor de corriente que permite determinar el estado del panel solar por medio de la medición de corriente que genera.

El sensor está ensamblado en una tarjeta electrónica junto con un juego de condensadores que forman un filtro y un oscilador. El circuito integrado es el ACS714ELECTR-20A, que permite medir corrientes entre -20 y 20 amperios y entrega una salida de tensión proporcional entre 0,5 y 4,5 VDC con VCC = 5V (figuras 13, 14 y 15).

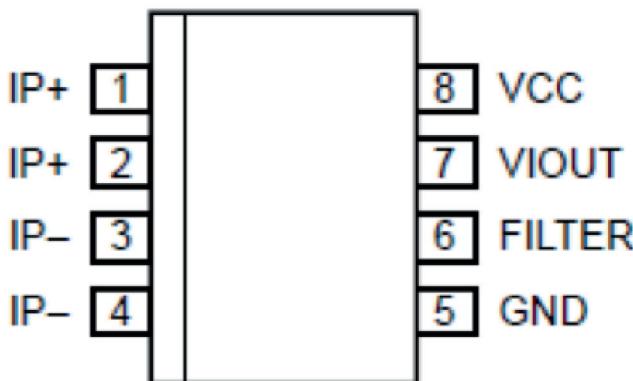
Figura 13
IC Sensor ACS714ELECTR-20A



Fuente: Allegro MicroSystems (s.f.)

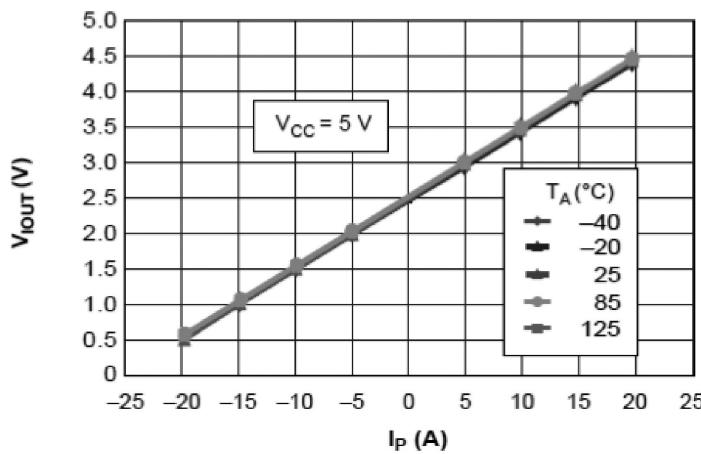
Figura 14
Pin Out ACS714ELECTR-20A

Diagrama Pin-Out



PIN	Nombre	Descripción
1-2	IP +	Terminal sensor de corriente; fusible interno
3-4	IP -	Terminal sensor de corriente; fusible interno
5	GND	Terminal de tierra
6	Filter	Terminal para capacitor externo que ajusta el ancho de banda
7	Viout	Señal de salida análoga
8	VCC	Terminal de alimentación +

Figura 15
Salida de voltaje frente a corriente sensada ACS714ELECTR-20A



Fuente: Allegro MicroSystems (s.f.)

Regulador de carga solar

Se evaluaron otras marcas de reguladores y se hicieron pruebas técnicas a uno de ellos, el PWM Solar Charge 10A, el cual no cumplió con las especificaciones de protección (regulación de tensión de salida y protección de conexión en polaridad invertida). Por esta razón, se decide trabajar con el regulador Steca Solsum 10F (Figura 16) dado el amplio tipo de protecciones que brinda de manera integrada, evitando así el diseño e inversión en etapas individuales de protección como las que ofrece este equipo para cada uno de los dispositivos conectados al sistema fotovoltaico (Colegio Humboldt Alemania, 2009) (Sunset, 2006).

Además de presentar una completa gama de protecciones integradas, es un dispositivo utilizado en grandes desarrollos fotovoltaicos a nivel internacional.

Figura 16
Regulador Solar Steca.
Serie: Solsum 10.10F



Fuente: Company News Steca Elektronik (s.f.)

El regulador Steca Solsum 10F cuenta con las siguientes funciones:

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Desconexión por sobretensión en la batería

A continuación, la Tabla 7 describe la ficha técnica de dicho regulador y la Tabla 7 las indicaciones LED.

Tabla 7
Ficha técnica del regulador Steca

Funcionamiento	
Tensión del sistema	12V (24V)
Consumo	<4 mA
Datos de entrada CC	
Tensión de circuito abierto del módulo solar	<47 V
Corriente del módulo	10A
Datos de salida CC	
Corriente de consumo	10A
Tensión final de carga	13,9 V (27,8V)
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8V)
Tensión de reconexión	12,4 V ... 12,7 V(24,8 V ... 25,4 V)
Protección contra descarga profunda	11,2 V ... 11,6 V(22,4 V ... 23,2 V)

Tabla 8
Indicaciones LED

Led	Estado	Significado
Info	Encendido en verde	Operación normal
	Parpadeo en rojo lento	Falla del sistema: demasiada corriente de carga (sobrecarga/cortocircuito); sobrecalentamiento. Junto con LED rojo: tensión de batería muy baja. Junto con LED verde: tensión de batería muy alta
Batería rojo	Parpadeo rápido	Batería vacía; preaviso de desconexión por baja tensión; cargas encendidas
	Parpadeo lento	Protección contra descarga profunda activada; cargas desconectadas
Batería amarillo	Encendido	Batería débil; cargas conectadas
	Parpadeo lento amarillo	Setpoint de reconexión por descarga profunda aún no alcanzado; cargas desconectadas
Batería verde	Encendido	Buen nivel de carga de batería
	Parpadeo lento verde	Batería <i>full</i> ; activa regulación de carga

Panel solar

Marca: Siemens

Tipo: monocristalino

Figura 17

Panel fotovoltaico Siemens



Características

- Cubierto por una superficie en vidrio, que permite una máxima transmisión de luz y una resistencia a golpes de hasta 5 pies/libra.
- Posee una caja de conexiones resistente a condiciones de humedad, con conectores eléctricos especiales para factores de climas húmedos.
- Dentro de la caja de conexiones incluye dos diodos de *bypass* para asegurar una operación confiable.
- Vida útil superior a treinta años. Conserva una potencia de salida hasta del 80 %.

Tabla 9
Ficha técnica panel solar ASM150P_12V

Modelo	ASM150P_12
Máxima potencia	150 Watt
Corriente de cortocircuito	8.9 Ah
Corriente nominal	8 Ah
Voltaje de cortocircuito	21,6 v
Voltaje nominal	17 v
Resistencia al fuego	Clase C
Serie de fusibles	15A

Batería de ciclo profundo

Marca: Duncan

Serie: Solar Power 160Ah

Se decide trabajar con la batería Duncan Power Solar por cumple con las características técnicas necesarias para aplicaciones de bancos de baterías para sistemas fotovoltaicos, además de ser una marca con buen respaldo y mercado en nuestro país (Figura 18; Tabla 10).

Figura 18
Batería Duncan Power Solar



Características

- Conectores tipo automotriz
- Sistema caja-tapa termosellado y fabricado en polipropileno de alto impacto
- Tapones con dispositivo antiflame
- Separadores de fibra de vidrio

Tabla 10
Ficha técnica batería Duncan

Voltaje	Capacidad nominal	Dimensiones			Peso
		Largo	Ancho	Alto	
12v	160 Ah	500 mm	220 mm	240 mm	51kg

Luminarias

Marca: Phocos

Serie: CLD 12 (7W)

Se utilizan bombillos fluorescentes a 12 V DC, que proporcionan unos altos niveles de iluminación con un bajo consumo de energía. Estos bombillos cuentan con una protección de sobrecalentamiento y están diseñados para socket estándar de iluminación E27.

Figura 19
Luminaria Phocos CLD12



Fuente: Phocos AG, s.f.

Tabla 11
Características técnicas luminaria Phocos CLD12

Referencia	Entrada	Salida
NES-100-12	110 VAC / 2,5 A	12 VDC / 8,5A
Ruido (máx.)		120m Vp-p
Protecciones	Cortocircuito; sobrecarga 110 % – 50 %. Sobretensión 14,2 16,2 V	
Tolerancia de voltaje		+/- 1%
Eficiencia		92 %

Dispositivo de rectificación

Se evaluaron las condiciones para el diseño y ejecución de un sistema de rectificación (Figura 20) para casos de falla en el panel y se halló que el costo es más alto que la compra de un equipo de iguales condiciones. Por tal motivo, se decide trabajar con una fuente regulada de una tensión de salida de 14 VDC y una corriente de 8,5A. Las especificaciones técnicas de este dispositivo se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12
Datos técnicos dispositivo de rectificación

Tipo	Cld 1207W
Rango de voltaje	11–15 V
Potencia nominal	7 W
Corriente nominal	560 mA
Intensidad de iluminación	380 lm
Vida útil	> 8000 horas

Figura 20
Dispositivo de rectificación



Fuente: Mean Well Enterprises Co (s.f.)

Validación del sistema fotovoltaico y pruebas técnicas de los dispositivos

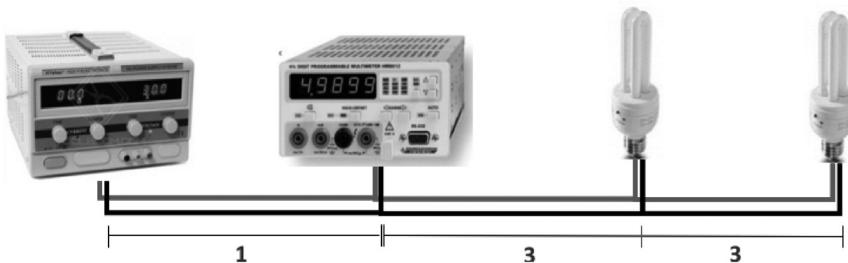
Determinación de pérdidas en los conductores

Al trabajar con cargas DC se deben considerar las pérdidas generadas por la resistencia del conductor, las cuales pueden ser significativas. Por tal razón, previo al desarrollo del proyecto se hizo un montaje (Figura 21) que permitiera llevar a cabo un estudio para determinar estas pérdidas. Los resultados se indican en la Tabla 13.

Tabla 13
Pérdidas en conductores con tensiones DC

Cable		Fuente		Vatímetro		Luminaria 1		Luminaria 2		Perdida
Calibre	Resistencia	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	
12	0,0083 Ω/mt	12 V	0,99 A	11,78 V	0,99 A	11,74 V	0,49 A	11,71 V	0,49 A	0,013 V/mt
14	0,0052 Ω/mt	12 V	1 A	11,86 V	1 A	11,84 V	0,5 A	11,82 V	0,5 A	0,006 V/mt

Figura 21
Conexiones evaluación de pérdidas en conductores



Como se observa, al utilizar un cable calibre 14 AWG, apropiado para instalaciones eléctricas a 12 VDC, se tiene una pérdida mínima de 0,006 V/mt que no afecta el suministro de tensión necesario para las cargas.

Operación del regulador Steca

Para la validación del sistema de regulación se llevaron a cabo diferentes pruebas en el laboratorio, entre ellas la revisión de los niveles de tensión de la batería, en relación con los cuales el regulador emite una señal visual (LED) y ejecuta su acción de control para protecciones (Tabla 14). También se hicieron las siguientes pruebas de respuesta a las protecciones:

- Conexión de polaridad invertida de la batería
- Niveles de sobretensión en la batería
- Niveles de sobretensión de alimentación
- Circulación de corriente inversa hacia el panel en estados de no generación
- Tiempos de carga y descarga de la batería

Tabla 14
Indicaciones LED Regulador Steca

LED	Nivel de tensión en batería	Estado LED	Indicación	Acción del controlador
Rojo	V < 11,9V	Flashea lento	Nivel de batería muy bajo	–Desactiva cargas –Activa alimentación
	11,9v <V<12,3V	Flashea rápido	Nivel de batería bajo	–Mantiene cargas –Activa alimentación
Naranja	12,3v <V< 12,9V	Encendido	Nivel de batería medio	–Mantiene cargas –Activa alimentación
Verde 1	13v <V< 13,5V	Encendido	Nivel de batería OK	–Mantiene cargas –Activa alimentación
Verde 2	13,5v <V	Encendido	Nivel de Batería llegando al maximo	–Mantiene cargas –Activa alimentación

Operación del sistema de transferencia eléctrica

Para la validación del sistema de transferencia se efectuaron pruebas de activación mediante simulación de los niveles de corriente del panel y niveles de tensión de batería y del circuito de rectificación. A continuación se detallan estas pruebas, las cuales arrojaron resultados satisfactorios.

- Se hizo el corte de alimentación del panel mientras la batería se encontraba cargada. Como resultado, el sistema indica mediante el *display* una falla de panel y activa una alerta auditiva y visual, reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.
- Se efectuó el corte de alimentación del panel mientras la batería se encontraba descargada. El resultado fue la activación del relé de habilitación del dispositivo de rectificación y la carga de la batería mediante este dispositivo. Adicionalmente, se genera una alerta auditiva y visual, reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.
- Se llevó a cabo la reconexión de alimentación mediante panel y del dispositivo de rectificación, mientras la batería permanecía descargada y el sistema hace la alimentación mediante panel e indica este estado en el *display*.

Se hizo el corte de alimentación del panel y del dispositivo de rectificación mientras la batería se encontraba descargada. El resultado fue una indicación mediante *display* de falla de fuentes y una alarma auditiva y visual, reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.

- Mientras la tensión de panel se encontraba conectada y con el nivel de suministro de corriente adecuado (superior a 5A), el *display* indica “Estado o. k” y el nivel de tensión de la batería.

En la Tabla 15 se pueden observar los estados de control del sistema de transferencia.

Tabla 15
Estados de control sistema de transferencia

Entrada panel (ADC1)	Entrada rectificador (ADC2)	Entrada batería (ADC3)	Relé control de alimentación		Tensión de salida	Relé habilitación rectificador	Señal de alarma
ADC1 > 5 A	–	ADC3 > 5 V	Panel On	Rectificador Off	Panel	Off	Off
ADC1 > 5 A	–	ADC3 < 5 V		On			
ADC1 < 5 A	–	ADC3 > 5 V	On	Off	Panel	Off	Alerta
ADC1 < 5 A	ADC2 > 5 V	ADC3 < 5 V	On	Off	Rectificador	On	Alerta
ADC1 < 5 A	ADC2 < 5 V	ADC3 < 5 V	On	Off	–	On	Alarma

Pruebas operacionales del sistema fotovoltaico

Como se mencionó anteriormente, se efectuaron pruebas a cada equipo que compone el sistema fotovoltaico con resultados satisfactorios. Posteriormente, se hicieron una serie de pruebas operacionales a todo el sistema fotovoltaico interconectado con el fin de determinar las condiciones de operación del prototipo desarrollado. Se evaluaron los tiempos de carga y descarga, la duración de la batería, el control del sistema de transferencia y protecciones, entre otras, lo cual permitió validar su correcto funcionamiento.

El sistema se interconecta y se pone en funcionamiento con ocho luminarias de las características técnicas descritas en el capítulo anterior. Se obtuvieron como resultado los siguientes tiempos de duración de la batería para alimentación de estas cargas (Tabla 16).

Tabla 16
Prueba operacional tiempo de descarga de batería

Luminarias encendidas	Consumo de corriente	Duración aproximada de la batería
8	4,72 Ah	30 horas
6	3,56 Ah	45 horas
4	2,35 Ah	58 horas

En la tabla se observa que la batería a carga completa tiene la capacidad de mantener encendida la iluminación completa (ocho luminarias) durante treinta horas aproximadamente, parcialmente (seis luminarias) por cuarenta horas o con carga mínima (cuatro luminarias) por cincuenta y ocho horas.

De lo anterior cabe concluir que en caso de presentarse fallas en los sistemas de carga (panel–red eléctrica) según las condiciones de diseño (ocho luminarias con usos de aproximadamente seis horas al día), el resultado en cuanto a la duración de la batería a carga completa es muy satisfactorio, ya que el sistema se mantendría en correcto funcionamiento durante cinco días aproximadamente.

En relación con los tiempos de carga de la batería utilizando el panel solar, se obtuvieron tiempos entre veintiocho y cincuenta y dos horas, con variaciones de corriente del panel de 5A–7,2A. Ello sobre la base de que la eficiencia de carga se reduce por las pérdidas generadas por variaciones en la intensidad de la radiación solar y los horarios de no radiación.

Durante la operación del sistema se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema regulador y del sistema de transferencia mediante conexiones con polaridad invertida, cortocircuitos, sobretensiones en el sistema de carga y supresiones de las fuentes de alimentación, las cuales generaron respuestas positivas de los sistemas de protección y regulación.

El sistema de transferencia diseñado presenta, además, un correcto funcionamiento en cuanto al control de selección de la fuente de alimentación y la indicación mediante su *display* de los estados del sistema y la indicación luminaria y sonora de los estados de falla y alarma.

Aplicación electrónica para el ahorro de agua en una vivienda familiar

Contextualización del problema

Las aguas grises son el resultado de procesos domésticos como el lavado de la ropa en lavadora o lavadero, la ducha de aseo personal, los lavamanos y en general aquellos que no involucran desechos cloacales (fecales y orina). En este trabajo se ha desechado el agua proveniente del lavaplatos por contener residuos orgánicos de remoción compleja. Adicionalmente, se puede agregar al sistema el agua lluvia, que no es exactamente un agua gris. Estas aguas pueden ser útiles para el desagüe del sanitario, el lavado de patios, el riego de jardines, el lavado de automóviles y aquellas actividades que requieran agua limpia pero no necesariamente potable.

El diseño de viviendas basadas en el ahorro o reúso de los recursos naturales, es un campo de múltiples estudios especialmente en Europa, puesto que el viejo continente sufre las consecuencias de la explotación descomunal de los recursos hídricos y la contaminación de fuentes no renovables. Es cierto que los países tropicales poseen una enorme riqueza de dichas fuentes y el problema

no ocasiona demasiada preocupación. Sin embargo, los costos generados por la producción, tratamiento y distribución del agua potable no pueden ser ignorados y si en este sentido muchas poblaciones menores poseen deficiencias en el abastecimiento del vital líquido, también en las ciudades de mayor importancia se dan momentos de crisis derivados de épocas de verano fuerte que llevan a tomar medidas para su mejor aprovechamiento.

El crecimiento de la población implica un aumento de la demanda de agua lo que ha llevado que hoy en día muchas zonas sufran su escasez. Por esta razón, en ocasiones se requiere la explotación de aguas subterráneas y se ha considerado como alternativa la desalinización del agua del mar. Sin embargo, estas nuevas fuentes conllevan un costo demasiado elevado de equipamiento, operación e implementación.

Dentro de las aplicaciones tecnológicas se tiene la desarrollada para un edificio ubicado en zona urbana de la ciudad de Madrid, España, donde las actividades diarias llevadas a cabo por los habitantes de la edificación generaba alrededor de cuarenta a sesenta litros/día de agua gris proveniente de lavados. A través del sistema construido, se estableció una implementación que permite tomar las aguas provenientes de duchas y lavamanos y llevarlas a una planta especial dedicada al tratamiento de aguas MBR (biorreactor de membrana, ubicado en la parte inferior de la edificación), dispositivo que representa la última generación en tecnologías compactas para el tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento es un sistema compuesto por dos partes integradas en una sola. Por un lado, se tiene el reactor biológico que ejecuta la depuración biológica. Por el otro, está la separación física de la biomasa y el agua mediante un sistema de filtración directa por medio de membranas. Una de las unidades interiores se encarga de la desinfección (cloro), toda vez que las aguas grises de las zonas urbanas contienen basuras y lodo. Una vez el agua es tratada, se bombea a la parte más alta de la edificación y se almacena en un tanque para que por gravedad abastezca los sanitarios (Friedler y Hadari, 2006).

Esta interesante y útil adecuación para la edificación es una herramienta a todas luces ventajosa como sistema de ahorro de agua potable. Sin embargo, al analizar sus desventajas se encuentra que en cuanto al costo de construcción, un biorreactor de membrana para limpieza y purificación de aguas grises tiene un precio elevado (aproximadamente \$6 000 000), a lo que se suma la adecuación de las tuberías del sistema y demás implementos para hacer posible su funcionamiento.

La Universidad de Santa Catarina, en Florianópolis, Brasil, desarrolló en el laboratorio de eficiencias energéticas una torre para la recolección de aguas lluvias, ideado para hogares ubicados en sectores rurales y de escasos ingresos

que presentan dificultad a la hora de obtener el recurso hídrico. El proyecto se concretó luego de un estudio de eficiencia energética en busca de soluciones tecnológicas que no implicaran costos elevados. Su diseño hace posible la recolección de aguas lluvias mediante canales especiales ubicados alrededor de la vivienda y por medio de tuberías especiales son conducidas a un tanque. Posteriormente, las aguas se calientan mediante un panel solar para eliminar agentes patógenos (Medeiros, 2011).

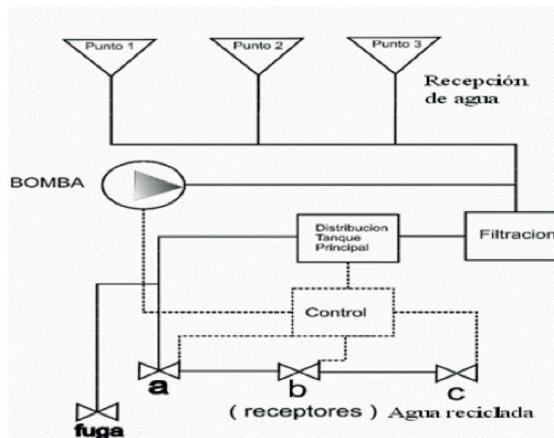
La Escuela de Tecnología de Quito, Ecuador llevó a cabo un estudio para una casa habitada por cuatro personas en promedio y encontró que el 60 % es de uso individual, el 30 % para el sanitario y el 10 % en tareas de limpieza en las cuales no es necesario el uso de agua potable. Este proyecto busca establecer condiciones en las que agua poco contaminada llegue a los sanitarios para su reutilización y en actividades en las cuales no influya su estado potable. Se emplea un sistema de bombeo que lleva el agua a través de filtros y la conduce hasta un tanque situado a la altura necesaria para que por gravedad llevar el agua filtrada a los tanques de los sanitarios. Mediante una bomba doméstica se hace el trabajo de distribución (Contreras, 2009).

En una casa promedio generalmente se encuentran dos baños, dos lavamanos, un lavaplatos y dos duchas. En la mayoría de los casos se encuentran ubicados a la altura del suelo, por lo cual fue necesario un mayor estudio para hallar la forma de distribución de las aguas. Fue indispensable para esta construcción que la tubería de succión no presente entradas por cavitación,¹¹ ya que pueden dañar la bomba. Al ser directa la succión, los tanques de poca capacidad ubicados en los puntos de recolección de las aguas grises ayudan a controlar problemas como el exceso de agua al ingreso.

Para este sistema se instaló un interruptor de nivel que permite el flujo de agua constante al ingreso de la bomba. En la etapa de filtración se utilizaron elementos según las características de la bomba y las condiciones del agua, para lo cual fue necesario hacer un análisis del nivel de contaminación de las aguas grises sin dejar a un lado el mantenimiento y la economía del mismo sistema. En la Figura 22 se muestra un diagrama de cuadros del sistema de reciclaje de aguas que plasma la aplicación desarrollada.

11. Cavitación: efecto hidrodinámico producido cuando el agua o cualquier fluido líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, lo que produce su descompresión.

Figura 22
Diagrama de cuadros del sistema de reciclaje de aguas



Fuente: Contreras, 2009.

De esta implementación se pueden destacar dos factores importantes para el desarrollo del prototipo: simplicidad del sistema y economía de construcción.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México, establece lineamientos acerca de la reutilización de aguas grises domiciliarias, dentro de las cuales menciona que las aguas grises representan entre un 50 % y un 80 % de las agua residuales de una vivienda. Su uso se vería reflejado en las siguientes ventajas, que igualmente aplicarían para nuestro país:

Menor consumo de agua potable. El agua gris puede reemplazar el agua potable fresca para muchos usos en el hogar. Esto les ahorra dinero a los municipios en costos de distribución, mantenimiento, tratamiento e infraestructura, además de aumentar el suministro efectivo en muchos casos.

Menores efectos sobre fuentes naturales de agua. Al reducir la demanda de agua, disminuye la extracción de los sistemas naturales y se evita la degradación ambiental.

Menor cantidad de aguas residuales que necesitan ser tratadas en los municipios o en los tanques sépticos. El uso de aguas grises aumenta el ciclo de vida y la capacidad de los tanques sépticos.

Ahorro de energía y químicos en el tratamiento. Si se aprovechan las aguas grises en el hogar se bombea menos agua. Es también un incentivo para reducir el uso de productos contaminantes como detergentes. Además, será menor la cantidad que necesita tratamiento tanto al entrar como al salir del hogar.

Aprovechamiento en el jardín y áreas verdes. Si se aprovecha el agua gris en el hogar, se puede mantener verde el jardín aunque se viva en regiones secas o se esté en temporada seca (Inecc, 2010).

Finalmente, en nuestro país la Ley 373 de 1997 establece el “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua”. Señala en su artículo 5:

Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socioeconómico y las normas de calidad ambiental.

De acuerdo con esta normativa, la aplicación que este proyecto desarrolla va de la mano con las políticas estatales en cuanto al cuidado del recurso natural y si bien el principal objetivo de esta política es el manejo de las aguas de uso agropecuario las cuales constituyen el mayor volumen, las de uso urbano y residencial forman parte de la problemática general.

Descripción del funcionamiento de la aplicación desarrollada

El sistema de control para la reutilización de aguas grises forma parte de un proyecto macro de los semilleros de investigación de las facultades de ingeniería electrónica, ingeniería de materiales y arquitectura, denominado “Casa eco-sostenible”, que busca la construcción de una vivienda con implementaciones amigables con el medioambiente y genere un ahorro de recursos en los diferentes servicios de agua, energía y seguridad patrimonial.

La implementación del sistema de reutilización de aguas grises, al igual que las demás novedades de la casa sostenible, requiere que el diseño arquitectónico –y en este caso, el de instalaciones hidrosanitarias– tenga en cuenta algunas consideraciones para su eficaz funcionamiento, tales como la cercanía de los aparatos domiciliarios involucrados, la instalación e identificación cuidadosa de los diferentes ductos y la concepción de los circuitos para identificar claramente las salidas de agua no potable, entre otros.

Desde el punto de vista técnico, el sistema propuesto comienza con la recolección de aguas grises dentro de la vivienda, provenientes de lavamanos, duchas, ciclos de lavadora y aguas lluvias. Estas son captadas mediante tuberías específicas independientes de las comúnmente usadas, las cuales conducen el agua hacia la entrada del sistema –que corresponde a la primera etapa de filtrado– a través de una trampa de grasas que se encarga de retener los contenidos grasos provenientes especialmente de jabones. Posteriormente, el líquido pasa a la segunda etapa de filtrado con grava y arena para retener los sólidos contenidos en el agua. Una vez culminan estas dos primeras etapas, las aguas se conducen

a un tanque de almacenamiento bajo (tanque 1) que impulsa con una bomba las aguas pretratadas hasta el almacenamiento superior (tanque 2), donde se recolectan para su posterior reutilización y se distribuyen por gravedad. El tanque 1 tiene un sensor de nivel (sensor 1) para proteger la bomba, que a su vez que permite que solo trabaje cuando el tanque cuente con suficiente líquido para ser impulsado al tanque 2 de distribución.

En el tanque 1 se operan dos estados de acuerdo con el sensor de nivel –alto o bajo– (sensor 1). El microprocesador, según la programación efectuada para el diseño, tomará la señal del sensor y en caso de detectar estado alto en el tanque permitirá el funcionamiento de la bomba. En caso contrario, cuando el tanque 1 se encuentre con un nivel bajo de agua el microprocesador apagará la bomba, impidiendo así que el equipo se queme.

El tanque 2 cuenta con un sensor de nivel para detectar bien un nivel alto o bajo, de tal manera que en el momento que el tanque presente un nivel alto el microprocesador apagará la bomba para que no se desperdicie agua recuperada y a través del sistema de desagüe por rebose con el que contará el tanque se evitarán derrames.

La electroválvula 2 estará ubicada en una de las entradas del tanque 2, correspondiente a la entrada de agua potable (acueducto). Esta electroválvula es normalmente abierta en caso de que la vivienda se quede sin fluido eléctrico y de alguna forma garantizar que siempre se tenga agua para descargas de sanitarios. Adicional a esto, la electroválvula 2 permitirá el paso con una orden dada desde el microprocesador en caso que el nivel del tanque 2 sea bajo y que el tanque 1 tampoco cuente con agua para abastecer la demanda del usuario.

Una tarea adicional que se lleva a cabo con la electroválvula 2 es permitir el paso de agua potable según lo establecido en la rutina de limpieza programada mediante el microprocesador. Esta rutina se ejecutará cuando un contador, que se iniciará con el último apagado de la bomba, complete una cuenta de 48 horas (dos días), tiempo mínimo que duran las aguas grises empozadas sin generar malos olores o agentes patógenos. La rutina se sincroniza con el apagado de la bomba dado que se debe garantizar que los usuarios cuenten con agua para el abastecimiento de los sanitarios en caso de tener alta demanda.

Si transcurridos dos días la bomba no se ha encendido, es debido a la no producción de aguas grises, consumo de agua en los sanitarios o labores de aseo al interior de la casa. Cuando se estas condiciones se presenten debe presumirse que los usuarios se ausentaron de la casa o salieron de vacaciones y en ese momento se activa la electroválvula 1 ubicada en la parte baja del tanque 2, con el fin de controlar su descarga. Una vez el tanque alcance un nivel bajo de agua detectado por el sensor 2, se cerrará la electroválvula 1 y se abrirá la electroválvula 2 para

lavar el tanque con agua limpia, la cual, además, se usará de la misma forma que las aguas grises tratadas para no desperdiciar el líquido. Una vez termine este proceso, el programa saldrá de la rutina de lavado y volverá a su estado normal de funcionamiento, de acuerdo con las condiciones de programación.

En las figuras 23 y 24, se muestra una distribución ejemplificada del sistema en una vivienda de tres pisos. En el tanque 1, la trampa de grasas y el filtro se encuentran ubicados en una cámara subterránea con una puerta de acceso para la limpieza y mantenimiento de la trampa de grasas y el cambio de arena en el filtro. En la terraza del tercer piso, está ubicado el tanque 2 encargado del almacenamiento de agua para su posterior distribución dentro de la casa.

La recolección de las aguas grises provenientes de la vivienda se visualiza en la tubería de color gris. La tubería de color morado conduce las aguas grises para su tratamiento con el filtro de arena y la trampa de grasas para su posterior almacenamiento dentro del tanque 1. Por la tubería azul circularán las aguas previamente tratadas impulsadas por la bomba hasta el tanque de almacenamiento y distribución (tanque 2). En la tubería de color fucsia se encuentra ubicada la electroválvula 2 que da paso al agua potable proveniente del servicio de acueducto. Se visualiza en la imagen la tubería de drenaje de color naranja, donde está la electroválvula de drenaje para la rutina de limpieza del tanque.

Figura 23

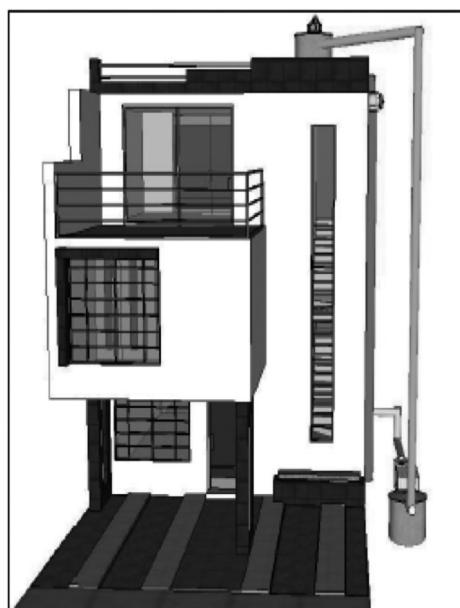
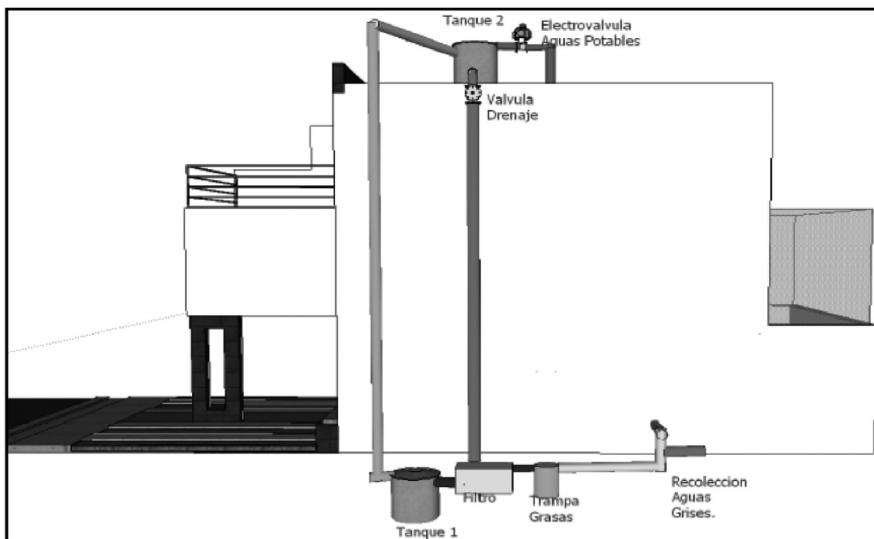


Figura 24
Vista lateral de la aplicación de aguas grises



Definición de variables para el sistema

Para una adecuada estrategia de control fue necesario identificar y definir las variables involucradas en el proceso de reutilización de las aguas grises, tanto entradas como salidas. En la Tabla 16 se muestra esta definición junto con una breve descripción de la tarea de cada elemento. Se agrega el nombre que tendrán dentro del programa dentro del microcontrolador para automatizar el sistema.

Estrategia de control

Se implementa un control de tipo secuencial con bucles sencillas de realimentación tipo *on–off*, las cuales permiten el cumplimiento de los requerimientos del sistema. El elemento final de control cuenta con dos posibilidades para ejercer una acción de control: encendido (100 %) y apagado (0 %).

El control mantiene la variable controlada (nivel) en los valores requeridos para garantizar un buen funcionamiento de los sanitarios de la vivienda. Si el nivel es mayor, entonces el actuador ejecutará la tarea que se requiera para corregir el incremento y si la variable nivel es menor, ejecutará la tarea indicada para aumentar nuevamente el nivel. Esta estrategia de control *on–off* brinda simplicidad al sistema, bajo costo de implementación y una fácil instalación y mantenimiento.

Tabla 17
Entradas y salidas del proceso de reutilización de aguas grises

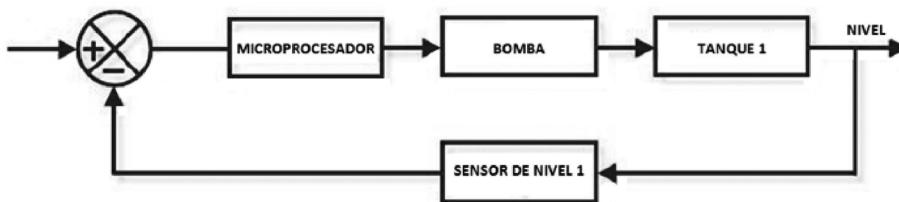
Elemento	I/O	Análoga/digital	Descripción y (nombre dentro del programa en el lenguaje C)
Electroválvula 1	OUT	Digital	Drenado del tanque 2 (Valdren)
Sensor de nivel 1	IN	Análoga	Medición de nivel en tanque 1 (Sensobro)
Bomba	OUT	Digital	Transporte de agua tratada desde tanque 1 hacia tanque 2 (BO)
Electroválvula 2	OUT	Digital	Entrada auxiliar de agua potable (Valpot)
Sensor de nivel 2	IN	Análoga	Medición de nivel en el tanque 2 (Sensorprin)
Led Bomba	OUT	Digital	Indicador apertura de la electroválvula 1 e inicio de la rutina de lavado (Ledbo)
Led electroválvula 1 y rutina de lavado	OUT	Digital	Indica apertura de la electroválvula 1 e inicio de la rutina de lavado (Ledvaldren)
Led electroválvula 2	OUT	Digital	Indica apertura de la electroválvula 2 (Ledvalpot)

Bloques de programación y control para el sistema

El diagrama de bloques de la Figura 25 inicia preguntando por la señal que entrega el sensor de nivel 1 a la entrada. El microprocesador ejercerá la acción de control sobre los elementos de acuerdo con las condiciones que se cumplan, para luego manipular la variable principal que se va a controlar, en este caso la variable “nivel”.

Figura 25

Diagrama de bloques control nivel tanque 1. Lazo cerrado



Se establece un *setpoint* fijo al momento de instalar el sensor de nivel para identificar nivel alto y bajo dentro del primer tanque de almacenamiento (tanque 1). Estos datos se direccionan al microprocesador. Cuando se alcanza el valor considerado alto, el microprocesador envía la señal de control a la bomba para que se encienda si el tanque 2 tiene un nivel bajo. De igual forma, esta información es útil en la rutina de limpieza, ya que si el tanque 1 se encuentra en

nivel alto debe seguir encendida la bomba para bombear el agua hasta que el tanque esté vacío.

En el segundo diagrama de bloques (Figura 26) la entrada al sistema es la señal de salida del primer bloque. En esta parte del control, si el nivel se detecta bajo, el microprocesador enviará la señal de control para apagar la bomba, evitando así que el equipo se queme por falta de agua dentro del tanque 1.

También es necesario hacer un control de nivel para el tanque 2, que almacena las aguas grises tratadas. Para este se establecen dos estados de nivel: alto y bajo, por medio de un segundo sensor de nivel (sensor 2). Una vez este sensor detecta un nivel alto, envía la señal al microprocesador el cual, según su programación, enviará la señal de control para apagar la bomba y así evitar el rebosamiento del tanque 2, y por ende el desperdicio de las aguas tratadas por los ciclos de filtración.

Figura 26

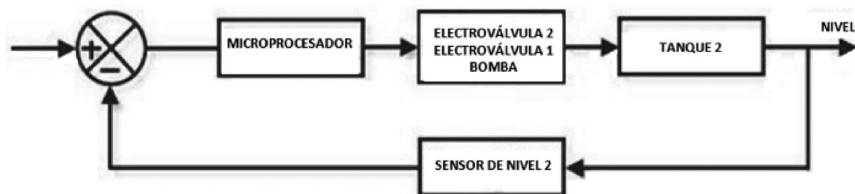
Diagrama de bloques para control sobre bomba. Lazo abierto



Si se detecta un nivel bajo del tanque 2, el microprocesador enviará la señal de control para el encendido de la bomba. En caso de que el tanque 1 también tenga nivel bajo, activará la apertura de la electroválvula 2, la cual está conectada al servicio de agua potable y de esta forma se mantendrá abastecido el tanque 2, garantizando con ello que siempre se disponga de agua para el abastecimiento de los sanitarios (Figura 27).

Figura 27

Proceso control de nivel tanque 2. Lazo cerrado



Programación en Lenguaje C

Se implementa la programación del sistema en Lenguaje C. Para ello, se inicia estudiando cada una de las posibilidades que se puedan generar en el sistema y con las cuales el microcontrolador deberá enviar una señal de acción:

- Sensor 1 nivel bajo y sensor 2 nivel bajo ($S1 = \text{LOW}$ y $S2 = \text{LOW}$).
- Sensor 1 nivel bajo y sensor 2 nivel alto ($S1 = \text{LOW}$ y $S2 = \text{HI}$).
- Sensor 1 nivel alto y sensor 2 nivel bajo ($S1 = \text{HI}$ y $S2 = \text{LOW}$).
- Sensor 1 nivel alto y sensor 2 nivel alto ($S1 = \text{HI}$ y $S2 = \text{HI}$).

Esta implementación, permite considerar las opciones que se pueden presentar en el sistema durante el proceso.

Resultados del prototipo

Con la construcción del prototipo (figuras 28a y 28 b) se hicieron las pruebas requeridas para verificar su funcionamiento. Se simularon todas las posibles condiciones en las que el sistema deberá responder y se comprobó que responderá ante las principales perturbaciones a las que se enfrentará una vez esté implementado en el interior de la vivienda.

Figura 28a
Circuito de potencia del prototipo

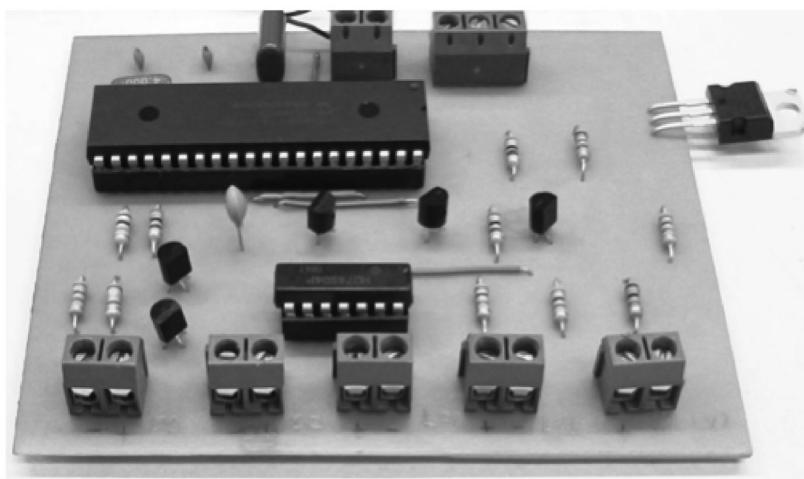
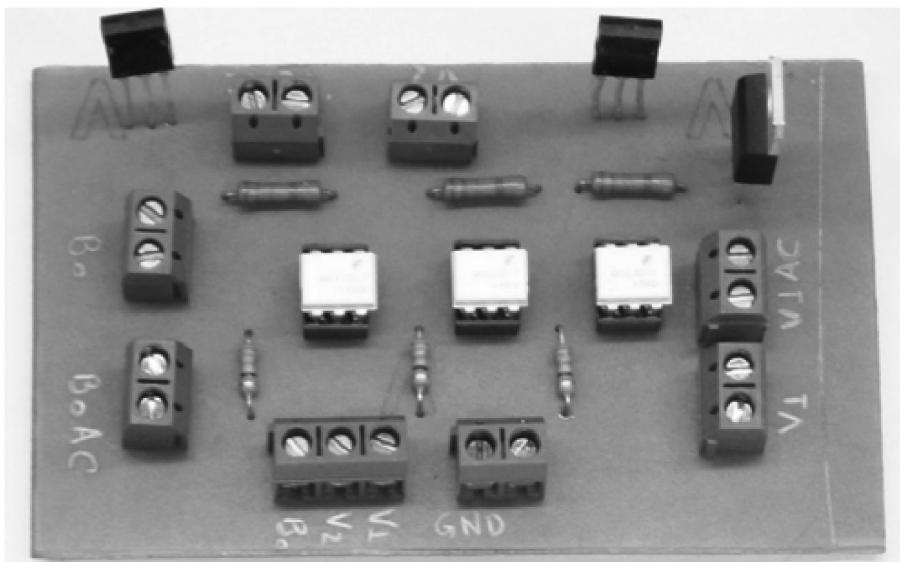


Figura 28b
Circuito lógico del prototipo



Para entender fácilmente el funcionamiento del sistema se elaboraron dos tablas de verdad (tablas 18 y 19) con lógica binaria: una para la rutina principal y otra para la rutina de limpieza. En ellas se observa el estado de las entradas y cuál debería ser el estado de las salidas.

Tabla 18
Tabla de verdad para la rutina principal

Rutina principal							
Entradas		Salidas					
Sensorbo	Sensorprin	Bo	Valpot	Valdren	Ledbo	Ledvaldren	Ledvalpot
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0

El sistema está diseñado para actuar según el estado de los tanques, con lo cual se garantiza que ante ausencia de fluido eléctrico se mantendrán las condiciones actuales de los tanques, ya que su nivel podría verse afectado durante el periodo de inacción de la aplicación electrónica.

Se evalúa la primera condición. En el momento en que nivel de la bomba y el sensor del tanque de distribución y almacenamiento se encuentren en bajo, se abre la electroválvula para permitir el paso de agua potable (valpot). Vale recordar que esta electroválvula está normalmente abierta y como se espera que los LED sirvan de herramienta de visualización para el usuario e identifiquen

qué instrumento está funcionando en tiempo real, se enciende el ledvalpot para indicar el paso de agua. Esta acción se lleva a cabo para garantizar que dentro de la vivienda se cuente con agua para abastecer los tanques de los sanitarios en caso de que no haya suficiente generación de aguas grises para abastecerlos.

Cuando el sensor de la bomba detecta nivel bajo (sensorbo) y el sensor principal (sensorprin) del tanque de distribución se encuentra en un nivel alto, el sistema apaga la bomba por ausencia de agua gris tratada para bombear y cierra la electroválvula de agua potable valpot para evitar el rebosamiento de líquido del tanque. Es de recordar que valpot está normalmente abierta y al energizarla se cierra.

De darse el caso contrario en el que sensorbo detecte nivel alto en tanque 1 y sensorprin un nivel bajo en el tanque de almacenamiento y distribución (tanque 2), la bomba deberá estar encendida para bombear el agua tratada hasta el tanque 2 y así brindar el suministro de agua a los tanques sanitarios de la vivienda. La electroválvula de agua potable se encontrará cerrada ya que en ese momento se cuenta con aguas grises tratadas para ser usadas, evitando así el uso de agua potable y economizar el recurso.

En caso de que se presente nivel alto en los dos tanques, el sistema desenergizará los equipos e indicadores a excepción de valpot, ya que es necesario energizarla para que se cierre y quedará a la espera de que dentro de la vivienda se dé el requerimiento de las aguas.

Una vez se detecta que las aguas del sistema llevan más de cuarenta y ocho horas sin fluir, estas adquirirían malos olores y posiblemente contengan algún tipo de agente patógeno. Por este motivo no serían adecuadas para usar dentro de la vivienda. En la programación se hace la detección del “no movimiento” de las aguas dentro del sistema, condicionada al tiempo que lleve apagada la bomba a partir de la última vez que se encendió. Para observar el comportamiento del sistema en estas condiciones se diseñó la Tabla 19 para la rutina de limpieza.

Tabla 19
Tabla lógica para verificar la rutina de limpieza

Rutina principal								
Entradas		Salidas						
Sensorbo	Sensorprin	Bo	Valpot	Valdren	Ledbo	Ledvaldren	Ledvalpot	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	1	0	1	0	
1	0	1	1	1	0	1	0	
1	1	1	1	1	0	1	0	

Para esta rutina entra a funcionar la electroválvula de drenaje (valdren), con la cual se busca garantizar el proceso de vaciado de los dos tanques, a saber, el de almacenamiento y distribución (tanque 2) y el tanque 1 en el que se encuentra la bomba. Una vez se alcance el vaciado, se abre la electroválvula de agua potable (valpot) como parte del proceso de limpieza del tanque.

La rutina empieza a actuar según el estado de los niveles de los tanques. Si al momento de entrar a la rutina de limpieza el sistema detecta nivel bajo con sensorbo y nivel alto con sensorprin, se inicia el vaciado de las aguas estancadas dentro del tanque 2, se da apertura a la electroválvula de drenaje (valdren) y se mantiene apagada la bomba (BO) y la electroválvula de agua potable (valpot).

Si al entrar a la rutina de limpieza se detecta un nivel alto con sensorbo y un nivel bajo con sensorprin, se enciende la bomba BO para desocupar el agua residual dentro del tanque 1 y se abre la electroválvula de drenaje valdren para que el agua que se bombea no se empoce en el tanque 2.

Otra de las posibilidades al entrar a la rutina de limpieza es detectar nivel alto con sensorbo y sensorprin. Para este caso es necesario vaciar el agua retenida por más de cuarenta y ocho horas en los dos tanques. El sistema procede a abrir la válvula de drenaje valdren para conducir estas aguas a la tubería de aguas negras. La bomba se encendería para vaciar el tanque 1 y se mantendría cerrado el paso de agua potable a través de valpot.

Al detectarse nivel bajo tanto con sensorbo como con sensorprin, significa que el sistema ha terminado de vaciar el agua estancada, por lo tanto el sistema procede a llenar el tanque principal de almacenamiento con agua potable como parte final de la rutina de limpieza. Cabe resaltar que durante la puesta en marcha de la rutina de limpieza el único LED que se mantiene encendido es el que indica que valdren está en operación. Esto se hizo para que el usuario pueda visualizar en qué momento el sistema está limpiándose, razón por la cual ledvaldren tendrá la doble función de indicar operación de valdren y también indicará que el sistema está llevando a cabo la rutina de limpieza.

Sistema electrónico para protección patrimonial

Contextualización

Actualmente, la domótica ha contribuido en mayor medida a la introducción real de sistemas de seguridad para las viviendas, tanto del sector urbano como rural (Alvarado y Barajas, 2011).

Como un desarrollo parcial del trabajo investigativo, se muestra el diseño de un sistema embebido de seguridad en el cual se aplica una arquitectura centralizada

domótica que permite la comunicación entre los diferentes dispositivos distribuidos en cada una de las zonas para la protección patrimonial de la vivienda ecosostenible. Esta se soporta en un sistema de transferencia electrónico de potencia eléctrica a partir de energía fotovoltaica, el cual permite un suministro continuo de energía al sistema de seguridad implementado para una vivienda rural. En ella se pone de manifiesto un uso de la tecnología para protección patrimonial que contribuye al desarrollo sostenible.

Metodológicamente, el proyecto se desarrolló por etapas dentro de las cuales la edificación del estado del arte fue fundamental para seleccionar la tecnología implementada y el diseño del sistema embebido como tal. Adicionalmente, fue necesario diseñar pruebas de laboratorio para garantizar el funcionamiento de los dispositivos y obtener así la aplicación definitiva que será validada en la vivienda propiamente dicha.

Metodología de trabajo

Se elaboró un estado del arte en el que se identificó el uso de dispositivos y sensores para la protección patrimonial, aplicaciones electrónicas y metodologías para el control del acceso a intrusos en viviendas. Estos mecanismos se han implementado en diferentes partes del mundo para combatir esta problemática. En este trabajo se consultaron fuentes bibliográficas para elaborar un análisis de las tendencias tecnológicas actuales, su diseño y metodología, con el propósito de seleccionar dispositivos de bajo consumo, costo moderado y fácil consecución en el mercado. Flores y Sánchez (2012), plantean las ventajas que proporciona la seguridad en un sistema domótico en comparación con otros sistemas, pues logra integrar campos de la seguridad normalmente controlados por sistemas distintos: la seguridad de bienes, que gestiona el control de acceso y control de presencia, así como su simulación y seguridad de personas. Se enfoca especialmente en adultos mayores y enfermos. Por otra parte, Trujillo (2009) se enfoca en la selección de los dispositivos adecuados para la detección de intrusos. Estos son de tipo pasivo o PIR que detectan cambios de temperatura en el área protegida monitoreando la radiación infrarroja. En el mercado se encuentran diferentes tipos de sensores de movimiento con características de grado de cobertura, distancia de detección y tiempo de respuesta. En lo tocante a la comunicación interna que permite que la información se intercambie entre los dispositivos distribuidos dentro de la vivienda con el sistema central de control, diferentes autores utilizan un sistema de comunicación ZigBee, dado que es un sistema ideal para redes domóticas y es específicamente diseñado para optimizar la proliferación de sensores/actuadores individuales y formar parte de una red más amplia (Beaskoetxea, 2011; Reinoso, 2009; Zeballos, 2011 y Lledó, 2012).

De igual forma, Martínez (2010) destaca la importancia de la telefonía móvil como medio de comunicación con el usuario fuera de la vivienda a través de mensajes de texto. Esto posibilita el envío de información del estado actual de la vivienda a un usuario que lo requiera.

Con base en la recolección de información, las características técnicas del fabricante y costo moderado, se elaboró para las tarjetas de desarrollo en el control central del sistema embebido un cuadro comparativo (Tabla 20), en el cual se puede observar las importantes funcionalidades de la tarjeta Arduino a un costo accesible y compatible con la mayoría de los Shield para Arduino Uno.

Finalmente, se diseña un sistema embebido que integra sensores, actuadores, tarjetas de desarrollo y módulos de comunicación inalámbrica. Se hacen pruebas y se aplican los resultados de la investigación para la implementación en la casa ecosostenible.

Tabla 20
Comparación entre tarjetas de desarrollo chipKIT Uno32™
Arduino mega 2560 y Altera DE2

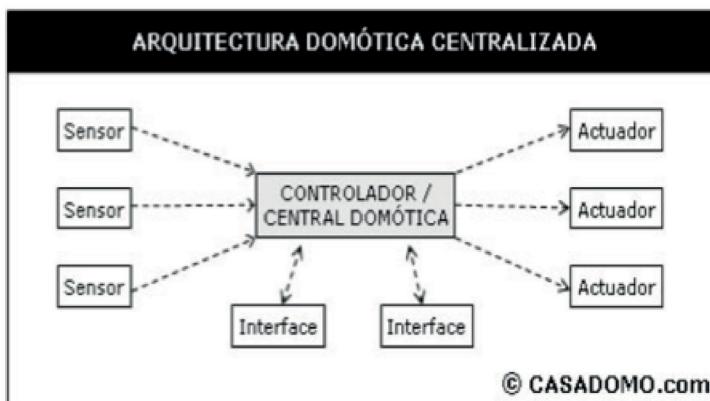
Tarjeta de desarrollo			
Placa electrónica	chipKIT Uno32™ Placa	Arduino Mega 2560	Altera DE2
Microcontrolador	PIC32MX320F128	ATmega2560	Cyclone II EP-2C35F672C6
Interfaces E/S	28 (5 PWM)	54 (14 PWM)	40
E/S análogas	12	16	N/A
Memoria	128k	256k	8M
RAM	16k	8K	512k
Velocidad de reloj	80MHz	16MHz	50 MHz
Voltaje de alimentación (DC)	3,3V	3.3V - 5V	9V
Software de programación	Microchip's MPLAB	Atmel Studio 6 Arduino	Quartus II
Gama	Media	Media	Alta
Costos	\$90 000	\$110 000	\$490 000

Selección de la arquitectura

El concepto de domótica está asociado con la intervención de diferentes sistemas orientados a la automatización, unida a un conjunto de tecnologías aplicadas al control y supervisión de la vivienda. Se dan diferentes tipos de arquitecturas que se pueden implementar en el sector, a saber, arquitectura centralizada, arquitectura mixta/híbrida y arquitectura distribuida (Kingland y López, 2010). De acuerdo con la revisión teórica de cada concepto, la distribución de los sensores en la infraestructura, el ahorro energético y la mejora de la seguridad personal y

patrimonial en la vivienda, se tomó la decisión de aplicar una red centralizada toda vez que es una estructura sencilla de implementar, de bajo costo por tener una sola unidad central y bajo consumo energético. En la Figura 29 se muestra la arquitectura implementada compuesta de un controlador central, interfaces, múltiples sensores y actuadores.

Figura 29
Arquitectura centralizada



Selección de los dispositivos

Se seleccionaron dispositivos de tipo pasivo o PIR en la implementación del sistema de seguridad. Estos sensores de movimiento poseen una gran capacidad de cobertura utilizando menos recursos. A partir de estas consideraciones de diseño, se logró que el sistema proporcione un ahorro energético, alta sensibilidad y facilidad de instalación.

Para la selección de los módulos de comunicación inalámbrica, se utilizó una tecnología ZigBee que permite la comunicación y la información del estado actual de las zonas comprometidas, sin necesidad de hacer uso de extensos cables de comunicación.

Para la comunicación con el usuario, en caso de estar ausente la mayor parte del tiempo el servicio debe estar orientado a las tendencias que se presentan en la actualidad (telefonía celular, internet). La mayoría de los países cuentan con una gran cobertura GSM que convierte la integración de un dispositivo GSM/GPRS ideal para desarrollos tecnológicos como la automatización (Martínez, 2010).

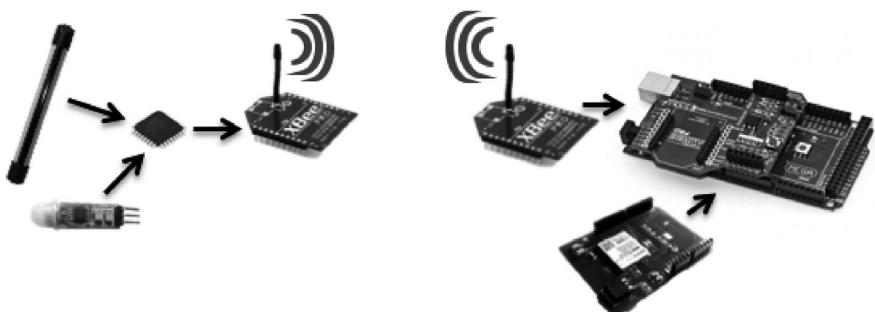
La utilización de la tarjeta de desarrollo Arduino Atmega 2560, permite procesar el número de señales que se administra en el diseño y la compatibilidad de los dispositivos, así como implementar el algoritmo de protección patrimonial

al sistema, utilizando un *software* libre Atmel Studio 6.2, aportando así a la disminución de costos de la implementación final.

Diseño

La arquitectura centralizada está conformada por un sistema central y varios periféricos considerados esclavos, como se ve en la Figura 30. El sistema central se desarrolló en una tarjeta de desarrollo Arduino ATMEGA2560, y para los esclavos se utilizó un procesador ATMEGA 328p, bajo el sistema operativo de “Atmel Studio 6.2”. El sistema central verifica permanentemente la información que llega de los módulos inalámbricos Xbee a través del protocolo de comunicación; identifica el estado de los sensores de movimiento y las barreras infrarrojas de las zonas de protección. En caso de alguna activación por detección de movimiento, ya sea por interrupción de los haces infrarrojos de la barrera o interrupción en el área de cobertura de los sensores de movimiento a una distancia máxima de tres metros de la vivienda, se genera una alarma que produce la activación de luces, para la zona 1; sonido y envío de mensaje de alerta, para la zona dos o tres.

Figura 30
Comunicación entre el control central y el esclavo
ubicado en un área de detección



Pruebas y validación

Para la validación del sistema de seguridad se efectuaron pruebas de los sensores para detectar intrusos, comunicación entre los módulos inalámbricos Xbee y generación de las alarmas de envío de mensaje, encendido de luces y activación de sonido.

Una vez finalizado el diseño se hicieron pruebas de funcionamiento de acuerdo con el siguiente protocolo:

1. Para iniciar las pruebas de funcionamiento, se configuró una comunicación de tipo punto a punto con 2 XBee, uno como central o coordinador y otro como esclavo.
2. Para visualizar la información que se envía a través de un módulo XBee a otro se utiliza el programa XCTU que brinda la Digi International.
3. Luego de comprobar la comunicación, se adiciona la tarjeta de desarrollo Arduino Mega y el módulo GSM al sistema central, así como el resto de los esclavos o terminales de información.
4. Se valida la comunicación con la red implementada en su totalidad, junto con sensores y actuadores, abarcando así la dinámica de configuración de red centralizada de tipo domótico.

Resultados

Se obtiene un sistema embebido que se aplica en la protección patrimonial y detección de presencia de extraños. Se alimenta de energía eléctrica a partir de un panel fotovoltaico de tal manera que garantiza al usuario la activación de los sensores, comunicación y generación de alarmas de las respectivas zonas, cumpliendo así con su propósito de prevención ante posibles intrusos.

Durante las pruebas de comunicación para la validación de funcionamiento, se logró unificar los protocolos de comunicación de cada dispositivo que conforma este sistema embebido electrónico.

Se obtuvo la implementación de un sistema de seguridad con una red centralizada, distribuido por zonas en la casa ecosostenible de la Universidad de San Buenaventura Cali. Se comprobó su correcto funcionamiento y se observó qué tan infalible es el sistema para responder ante posibles falsas alarmas relacionado con los sensores de movimiento.

Determinantes arquitectónicos y constructivos

Propuesta técnico-constructiva

Las investigaciones llevadas a cabo por las diferentes líneas de la universidad, sumadas a las ventajas de ciertos materiales para su producción masiva en vivienda de estratos medios y bajos, encaminaron la investigación a la escogencia del sistema constructivo de mampostería estructural en bloque de perforación vertical de concreto, descrito de manera suficiente en el Título D del *Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes NSR-10*, bajo cuyas indicaciones se elaboraron los planos para la construcción de la vivienda. Las ventajas más significativas del sistema escogido se describen a continuación.

Facilidad de consecución de materia prima

Arena, gravilla, cemento y agua son materiales de muy fácil consecución en el mercado nacional, con producción permanente y de buena calidad. En la mayoría de los casos, los agregados están amparados por licencias de explotación que garantizan en las diferentes regiones un manejo responsable del medioambiente, así como los necesarios para la producción del cemento. A nivel internacional, el concreto es reconocido como un material de alta sostenibilidad, pues las obras ejecutadas con él pueden ser, además, recicladas para nueva utilizaciones y en algunos casos reutilizadas.¹²

12. <http://www.upme.gov.co/Docs/Seminarios/2011/EEE/3%20JOSE%20RODRIGUEZ%20CAMPOS.pdf>

Facilidad de fabricación de los mampuestos

Aunque el proceso de producción de los bloques está industrializado en la mayoría de las regiones del país, es factible su producción artesanal mediante moldes y máquinas de manejo manual, como la utilizada en la investigación de este proyecto. No se requieren procesos de cocción, como en el caso de los ladrillos de arcilla, sino simplemente de curado y secado de la mezcla. Las proporciones pueden ser consultadas en manuales de fácil adquisición y la elaboración no requiere personal calificado. De hecho, se presta mucho para procesos de autoconstrucción.

Facilidad constructiva

El sistema de mampostería en bloque estructural goza de amplia trayectoria de utilización en nuestro país y si bien es cierto que para edificios de vivienda se ha impuesto el sistema de muros portantes fundidos en concreto, en vivienda unifamiliar y de crecimiento progresivo, en las grandes ciudades y en especial en pequeñas poblaciones, el bloque estructural tiene la ventaja de la fácil consecución de mano de obra; o si es del caso, su capacitación resulta muy simple. No se requiere formaletaría para la fundición de elementos adicionales como columnas o vigas, pues el sistema provee diferentes mampuestos que permiten el reforzamiento de los muros.

Bajo costo

En principio, el hecho de que el muro en bloque estructural resuelva estructura y cerramiento al mismo tiempo genera un ahorro en la construcción, en comparación con sistemas aporticados. De otro lado, la ausencia de formaleta disminuye costos de mano de obra y materiales y el reforzamiento a partir de dovelas (acero vertical) y grafites horizontales resulta menos costoso y de fácil elaboración en relación con los tradicionales “castillos” requeridos para el reforzamiento de elementos como columnas y vigas.

No requiere acabados

Un muro en bloque estructural bien construido ofrece una textura estética y aceptada culturalmente. Si se añade una capa de pintura se logran apariencias atractivas para la vivienda. En caso de pretender acabados lisos, no se requiere de repellos; solo estuco y pintura. Por el contrario, muchas propuestas en este material hechas por arquitectos de renombre nacional e internacional (Benjamín Barney en Cali y Mario Botta, arquitecto suizo-italiano), dejan el material a la vista.

Para la ejecución de la propuesta en el sitio de obra se contó con la colaboración de la empresa Premoldeados SAS¹³ que aportó su experiencia en la fabricación del material. En este caso, con las mezclas elaboradas por la investigación que permitieron la producción en serie de las piezas necesarias para la construcción de la obra, además de otras de tipo estético como calados, adoquines y sentaderos.

Cimentación

Con un espesor de 10 cm y refuerzo en retícula de acero de diámetro 3/8" cada 20 cm, la placa de piso hace las veces de cimentación y contrapiso. Estas especificaciones son suficientes para soportar las cargas bajas de esta edificación, dadas las buenas condiciones del terreno en el que se asienta la universidad. Para ello se asumió una capacidad portante de 10 t/m² que genera un amplio margen de seguridad frente a las cargas aplicadas.

Refuerzo de muros

Una vez localizados los diversos muros, las dovelas de refuerzo en acero de 3/8" fueron ancladas convenientemente a esta placa de piso mediante perforaciones y adherentes epóxicos, permitiendo con ello un rápido y eficaz replanteo de los muros. Horizontalmente se instalaron dos grafiles de 4 mm, cada dos hiladas, a medida que se levantaban los muros.

Cubierta

De otro lado, la cubierta se dispuso en tejas de fibrocemento convencionales sobre perfiles metálicos tipo perlín de 10 x 5 cm y 1.5 mm. La investigación propone el mejoramiento de su comportamiento térmico mediante la adición de tejas tipo sándwich, con fibras aislantes como las descritas. Para efectos de caracterizar el resultado de la investigación, esta teja sándwich solo se utilizó en la alcoba principal. De todos modos, la altura y la forma de la cubierta favorece una mejor eliminación del aire caliente mediante la apertura de perforaciones en el muro de la culata central y desfase los techos de manera que dichas perforaciones se enfrenten al espacio abierto.

Como parte de la propuesta se instalaron los servicios sanitarios del baño principal, el lavadero y algunos accesorios menores, todos ellos de tipo convencional. Sin embargo, no forman parte del objetivo de esta investigación.

13. <http://www.premoldeados.co/>

Instalaciones técnicas

Se coordinaron los diseños técnicos de redes eléctricas, hidráulicas y sanitarias con los demás profesionales participantes. Se hicieron las distribuciones tradicionales armonizadas con las nuevas tecnologías de las innovaciones propuestas en este proyecto.

Propuesta arquitectónica y medioambiental

El objetivo apunta a que la propuesta emule las condiciones de una vivienda real, pero a una escala espacialmente reducida (prototipo). Con esta finalidad, se definió en primer lugar, una orientación con respecto al asoleamiento principal de la ciudad. Cali se ubica un poco más de 3° al norte del ecuador y por tanto el recorrido del sol es prácticamente perpendicular este-oeste y con base en ello la casa se ubicó en un lote longitudinal de 5,00 x 10,00 m y acceso por la fachada corta del costado sur. Por tratarse de una edificación exenta y con el fin de favorecer su aspecto estético, se hicieron algunas aberturas en la fachada oriental que no afectan el resultado de las pruebas efectuadas posteriormente. En estas condiciones, las fachadas más afectadas por el asoleamiento de mañana y tarde son las longitudinales este y oeste, respectivamente. En especial, la fachada occidental se enfrenta al fuerte sol de la tarde caleña. Sin embargo, se esperaría que en un ordenamiento barrial solo sea la casa esquinera la que sufra esta inclemencia, pues las demás serían medianeras.

Con base en los requerimientos arquitectónicos y en atención al interés y presupuesto de la investigación, la propuesta arquitectónica desarrolló un prototipo en versión reducida de una vivienda que cuenta con los espacios y características que se describen a continuación.

Acceso estilo porche

Crea un umbral sombreado y protegido de acceso a la vivienda y permite un espacio de llegada intermedio entre el exterior y el interior del hogar. Posibilita la eventual permanencia de una o dos sillas para el disfrute del exterior a la casa desde la seguridad de la propiedad, aspecto que resulta importante para la convivencia social en cierto tipo de agrupaciones de vivienda.

Sala comedor

Se optó por dividir estas funciones en un par de subespacios perpendiculares al frente de la casa, de manera que ambos disfruten de una ventana inmediata a la calle. De esta manera, lo social tiene más oportunidades de ocupación y uso a pesar de los espacios reducidos.

Cocina y oficios

Inmediata al comedor y abierta al espacio social, la cocina hace las veces de cuarto de control de la vivienda, no solo por las actividades propias de su uso: el almacenaje y preparación de alimentos, sino también porque desde allí se operan también las funciones domóticas de la vivienda, convirtiéndola de esta manera en el “cerebro” del hogar. Para este efecto, la cocina cuenta con mueble tipo clóset en el cual se han instalado la batería requerida por el sistema eléctrico y el panel de control. Exactamente sobre este espacio se ubica el tanque de reserva de agua, con el fin de facilitar y hacer más eficientes las instalaciones hidrosanitarias que esta propuesta requiere.

Patios

La casa cuenta con tres patios que iluminan y ventilan diferentes estancias. Su localización permite el cruce de ventilaciones en los espacios principales y genera un efecto de succión y ascenso de aire caliente para mejorar la circulación del aire. El delantero –anexo a la sala– deberá servir también como disfrute estético de la zona social, quizá ambientado con plantas decorativas que alimenten el sentido sostenible de la vivienda, además de ventilar el baño social. El patio de servicios permite ventilar la cocina y cuenta con un espacio para el secado de la ropa. Finalmente, el patio el posterior sirve funcionalmente a dos alcobas y un baño al ventilarlos e iluminarlos.

Baños

El baño principal sirve a las dos habitaciones auxiliares y como baño social cuenta con los aparatos usuales. En este prototipo se dejó del tamaño real para hacerlo funcional y hacer las pruebas necesarias. El baño de la alcoba principal se dejó como un cuarto pequeño para efectos de prototipo. No es funcional.

Alcobas

Todas están relacionadas directamente con un patio que las ilumine y ventile. Se pretende, en general, que entre la puerta y la ventana se genere una corriente de aire que lo recircule de manera conveniente. Cada habitación cuenta con clóset y aunque su espacio es bastante reducido son funcionales. La habitación principal, cuya culata se ve enfrentada al fuerte sol de la tarde, se utilizó como espacio de mediciones para corroborar los resultados de la propuesta térmica tanto con la utilización del bloque con aislante como la teja sándwich.

Planos arquitectónicos y técnicos

Se relacionan los planos más significativos del modelo propuesto (figuras 31, 32 y 33).

Figura 31

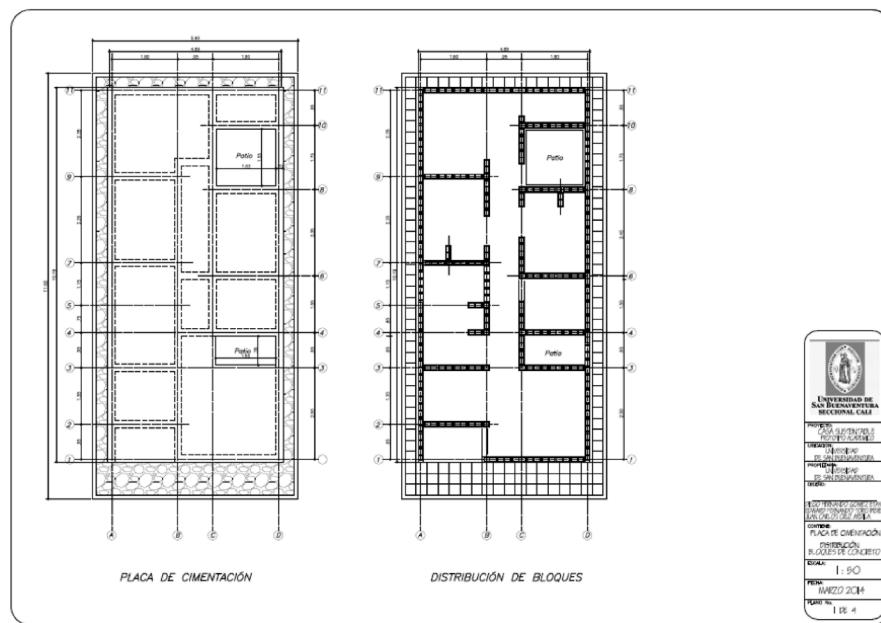


Figura 32

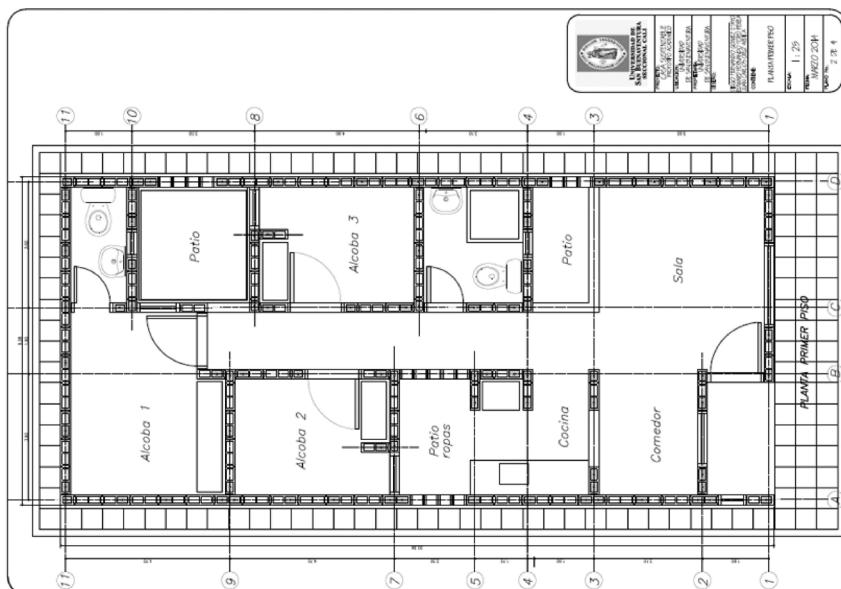
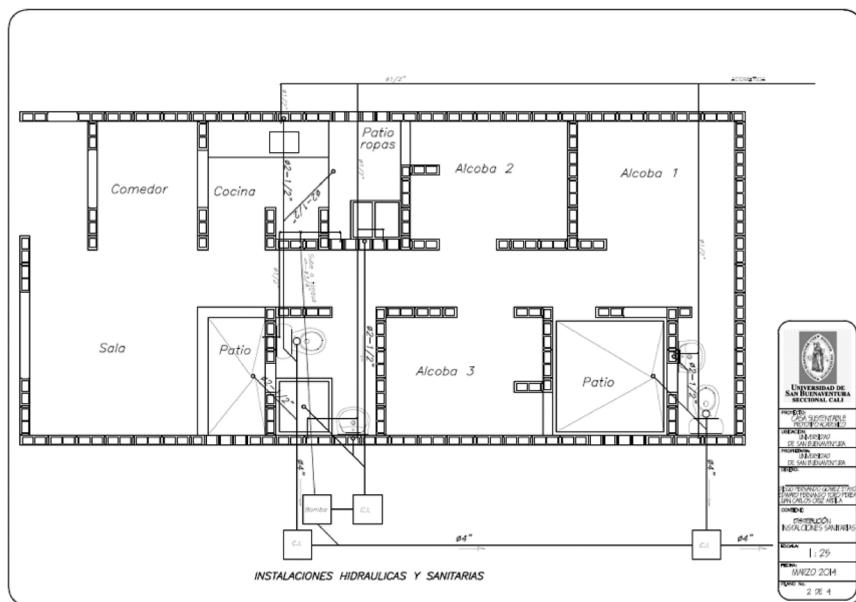


Figura 33
Plano 3. Instalaciones hidráulicas y sanitarias



Presupuesto de la obra

Ajustado por el presupuesto general de la investigación, el siguiente fue el presupuesto de la obra ejecutada (Tabla 21).

Tabla 21
Presupuesto de la obra

Item	Descripción	Un	Cant.	Valor unitario (en pesos)	Valor total (en pesos)
1	Localización y replanteo	m^2	50,00	1500	75 000
2	Excavación a mano	m^3	9,80	14 000	137 200
3	Figuración acero de refuerzo	k	233,00	600	139 800
4	Suministro de piso en concreto reforzado. E= 10cm 3000 PSI	m^3	6,60	425 000	2 805 000
5	Instalación de bloque estructural	m^2	124,40	22 000	2 736 800
6	Suministro de mortero de pega para bloque	m^3	2,80	350 000	980 000
7	Suministro de concreto fundición de refuerzos verticales	m^3	4,20	450 000	1 890 000
8	Fundición de viga amarre en bloque 45,00	m	45,00	20 000	900 000

Item	Descripción	Un	Cant.	Valor unitario (en pesos)	Valor total (en pesos)
9	Suministro e instalación de correas	m	48,00	16 500	792 000
10	Suministro e instalación de cubierta	m^2	50,92	56 000	2 851 520
11	Suministro e instalación de puerta	Un	1,00	300 000	300 000
12	Suministro e instalación de ventanas	Un	5,00	180 000	900 000
13	Instalaciones eléctricas	Pto	10,00	55 000	550 000
14	Instalaciones hidráulicas	Pto	8,00	25 000	200 000
15	Instalaciones sanitarias	Pto	5,00	60 000	300 000
16	Suministro e instalación de aparatos sanitarios	Gl	1,00	350 000	350 000
17	Cajas de inspección	Un	2,00	100 000	200 000
18	Mesón cocina	Gl	1,00	250 000	250 000
19	Lavaplatos	Un	1,00	100 000	100 000
20	Pintura y resanes finales	Gl	1,00	500 000	500 000
21	Retiro de escombros	Vj	2,00	162 000	324 000
Subtotal					17 281 320
Administración					1 209 692
Imprevistos					518 440
Utilidad					864 066
IVA sobre utilidad					138 251
Total					20 011 769

Seguimiento fotográfico del proceso constructivo

Compactación



Compactación



Refuerzo en retícula de acero



Replanteo de ejes. Instalaciones



Inicio de fundición



Placa de contrapiso fundida



Replanteo primera hilada



Levantamiento de muros



Muros en mampostería estructural



Muros en mampostería estructural



Fundición de viga de amarre



Fundición de cajas de inspección



Preparación de mezcla
aislante térmico



Fundición y relleno simultáneo



Instalaciones eléctricas



Relleno de muros con
material aislante



Placa de contrapiso fundida



Instalaciones eléctricas e hidráulicas



Levantamiento de culatas



Muros en mampostería estructural



Líneas de vida para la construcción



Ventanillas de ventilación



Molde para tejas



Preparación del material para tejas



Cámara de presión



Construcción de las tejas



Curado de las tejas



Preparación y pintura de las tejas



Techado de la habitación protegida



Tejas fundidas en fibrocemento



Secado de las tejas al sol



Techado de la vivienda



Techado con tejas tipo sandwich



Instalaciones eléctricas



Vivienda básica terminada. Fachadas sur y occidental



Conclusiones y recomendaciones

El diseño sostenible es una necesidad sentida del mundo de hoy. Los recursos para la construcción de edificaciones empiezan a escasear y su explotación desmedida traerá a la vuelta de pocos años consecuencias nefastas para el desarrollo y sostenimiento de nuestra especie. De otro lado, la construcción puede apropiarse de material residual de otros procesos para la elaboración de nuevos materiales más amigables con el medioambiente y contribuir así a brindar soluciones, como esta propuesta lo intenta hacer.

Las soluciones sostenibles se han centrado en vivienda *sui generis* de alto costo; sin embargo, es precisamente en este punto que se implementan muchas de las innovaciones en este campo. Empero, el número de viviendas de estratos medios y bajos es mucho mayor y por tanto si se quieren obtener efectos significativos, es en este ámbito donde los profesionales y las universidades deberíamos volcar nuestros esfuerzos.

Los materiales derivados del cemento y el concreto presentan ventajas importantes en relación con la sostenibilidad, pues se pueden reutilizar como materia prima una vez se demuelen o adicionar diferentes productos en su preparación en busca de nuevas capacidades y desempeños del material. Muchos de los residuos industriales de nuestra región están subutilizados e iniciativas como las desarrolladas en esta investigación pueden servir de base para una mejor reutilización.

Para mejorar la habitabilidad de las viviendas en climas cálidos, se pueden implementar soluciones sencillas, como la correcta localización de la construc-

ción con respecto al asoleamiento, el diseño adecuado de ventanas y patios para lograr ventilaciones cruzadas, la apertura de perforaciones superiores para mejorar la convección del aire caliente y la siembra de especies vegetales nativas que den sombra a las casas, entre otras. Soluciones básicas que hemos olvidado, pero muy fáciles de implementar.

La problemática del uso del agua potable, el ahorro energético y la economía de recursos comenzaron en aquellos países que cuentan con fuentes naturales de difícil explotación o procesos contaminantes, pero poco a poco se ha ido trasladando a aquellos, como nosotros, que suponemos contar con mayores facilidades naturales para que no nos afecte tanto. Sin embargo, no parece sensato esperar a que estemos en crisis, para iniciar la implementación de tecnologías que permitan adelantarnos al problema que supone su escasez.

Aunque algunas de las implementaciones propuestas ya se han experimentado en otros tipos, el control inteligente que se puede lograr con el uso de dispositivos electrónicos de bajo costo tiene un extenso campo por ser explorado, lo que hace que muchas de las funciones que requieren un control manual puedan serlo por dispositivos que actúan de manera “transparente e invisible”, mejorando con ello el confort de la vivienda y permitiéndole al usuario economizar esfuerzo y dinero.

La sostenibilidad no depende únicamente de la implementación de dispositivos que la promuevan, sino también —y con una mayor importancia— de la “conciencia sustentable” de los usuarios de dichas tecnologías. De nada sirve que contemos con equipos y sistemas ecológicamente beneficiosos si no se interiorizan los conceptos y la necesidad de un cambio de costumbres en la explotación que día a día hacemos del planeta. La cuestión ecológica y de ayuda al medioambiente debe verse más desde un punto de vista cultural y cambiar el pensamiento de las personas frente al compromiso con el planeta y con la conservación de los recursos, y de esta forma garantizar una buena calidad de vida para las futuras generaciones. Desde este punto de vista, es claro que no es suficiente que las instalaciones de la casa sean sostenibles, sino que también lo debe ser la familia que la habite. Por tal razón, es necesaria una capacitación de sus miembros en la habitación de una vivienda de este tipo, pues deben identificar el funcionamiento del sistema y con ello las diferentes salidas y usos de cada dispositivo, además de comprometerse en un espíritu sostenible, coherente con la vivienda que habitarán.

Bibliografía

- ACOSTA, D. (2000). “La mampostería de bloques de suelo-cemento: *¿tecnología apropiada para la producción masiva de viviendas de interés social?*” En: *Tecnología y Construcción*, 16, pp.19-30.
- AGOPYAN, V. (2005). “Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview”. In: *Cement and Concrete Composites*, pp. 527-536.
- Allegro MicroSystems. (s.f.). Recuperado de www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS714.aspx
- ALVARADO, J. y BARAJAS, C. (2011). *Estudio técnico de potenciales aplicaciones domóticas en seguridad para el edificio*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- ALVARADO, J., y ARÉVALO, C. (2010). *Diseño e implementación de un sistema domótico para control y seguridad en tiempo real vía teléfono celular*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- ANGULO, I. (2007). “Niveles de presión sonora en el segundo tramo de Transcaribe Cartagena” En: *Ingenierías*, No. 65.
- Anónimo. (2009). *Laboratorio de procesamiento digital de señales*. Cordoba - España: Universidad Nacional de Cordoba.
- ARIAS, A. (2009). *Casa rural sostenible*. Proyecto de Grado, Universidad de Cataluña, Barcelona.
- Agencia Universitaria de Periodismo (Aupec) (2009). Recuperado de <http://aupec.univalle.edu.co/informes/2009/abril/prototipoUsoSostenible.html>

- BANFILL, P. (2003) “The Rheology of Fresh Cement and Concrete”. Paper accepted for publication in Proc 11th International Cement Chemistry Congress, Durban, May
- BEASKOETXEA, U. (2011). *Domótica para viviendas construidas*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- BETANCUR, L. (2009). “Energías renovables: marco jurídico en Colombia”. En: *Perspectiva*(21), pp. 69-71.
- Blog Corporativo de Energias Renovables. (s.f.). Recuperado de [/blog.technosun.com/?cat=19](http://blog.technosun.com/?cat=19)
- BOGADO, P. (2012). *Prototipo de un sistema domótico*. Décimoquinto Concurso de Trabajos Estudiantiles, EST 2012 , 313-343.
- BORBÓN, A. C. (2010). “Determinación experimental y contraste numérico de la resistencia térmica de un muro de bloques de concreto hueco”. En: *Información tecnológica*, 21(6), pp.163-176.
- BOSCH, C., HOMMANN, K., SADOFF, C., y TRAVERS, L. (2000). *Agua, saneamiento y la pobreza*. Banco Mundial, Washington, D.C. Disponible en <http://www.worldbank.org/poverty/spanish/strategies/srcbook/wat0118.pdf>.
- BOTACHE, C. (2001). *Modificación química de la superficie de la fibra de fique para su utilización en materiales compuesto fibrorreforzados con matrices cementicias y poliméricas*. Universidad del Valle, Colombia. Tesis de maestría.
- CALDAS, A. (2002) “Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose”, Dissertação apresentada á Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para lá obtenção do titulo de Mestre em Engenharia Civil.
- Caracol Noticias. (22 de octubre de 2011). Recuperado el 22 de septiembre de 2011, de <http://www.caracol.com.co/noticias/actualidad/superservicios-domiciliarios-revisa-possibles-fallas-en-plan-de-contingencia-en-manizales-por-escasez-de-agua/20111022/nota/1566260.aspx>
- Colegio Humboldt Alemania. (2009). Recuperado de http://www.exportinitiative.de/fileadmin/auslandsprojekte/solardachprogramm/Dokumente/Costa_Rica_Flyer_esp_01.pdf
- Comision Europea (2012). *Escasez de agua y sequía en la Union Europea*. Recuperado el 2013 de Abril de 09, de http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/scarcity_en.htm
- Company News Steca Elektronik. (s.f.). Recuperado el 01 de 05 de 2012, de www.steca.com/index.php?Steca_Solsum_F_es

- CONTRERAS, M. (2009). *Diseño y construcción de un sistema electromecánico para reciclar aguas grises y conducirlas a los servicios higiénicos en una casa promedio*. Quito.
- CÓRICA, L. (2005). "Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos". En: *Revista Averma*-ISSN, 0329-5184.
- Corporación Autónoma Regional del Valle (2012). *Balance oferta-demanda de agua superficial*.
- Recuperado de 2013, de CVC: <http://www.cvc.gov.co/portal/index.php/es/temáticas/recurso-hídrico/agua-superficial/balances-oferta-demanda>
- CRAVALLO, R., y VARGAS, R. (2009). *Válvulas de selenoide*. Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Casilla 110V, Valparaíso, Chile.
- CRIADO, V. (2008). *Manual práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- DA SILVA, F. (2015). "Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber". In: *Construction and Building Materials*, 91, pp. 71-79.
- DE DK, A. T. (1987). *Patente nº 1 246 782 B1*
- DEFFIS, A. *La casa ecológica*. Ed. Limusa. 2004.
- DELVASTO, S., TORO, F. y MEJÍA DE GUTIÉREZ, M. (2010). "An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets". In: *Construction and Building Materials*, pp.187-192.
- DELVASTO, S., GUTIÉRREZ, R., LÓPEZ, M., PERDOMO, F. (1996). "Programa de Investigación en el uso de la fibra de fique en la producción de elementos de construcción", Primera Reunión de Miembros del Proyecto de Precompetitividad VIII.5 del CYTED, Querétaro, Qro. México, pp. 5-14.
- DÍAZ, H., y DÍEZ, F. (2007). *Analisis, modelado, simulación y validacion de un sistema de generacion de energia solar autónomo*. Trabajo de grado para Ingeniero Electricista. Universidad Autónoma. Facultad de Ingeniería Cali.
- DÍAZ, R. (s.f.). *Aspectos generales de seguridad (puesta a tierra)*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos76/aspectos-generales-seguridad/aspectos-generales-seguridad2.shtml>.
- EPM, (2006). *La energía eólica como posibilidad de aprovechamiento*. Estudio técnico. Empresas Públicas de Medellín.

- ESCALONA, G. (2011). “Filosofía, identificación y racionalización de alarmas en SCADA aplicado a la domótica de un hotel”. En: *Ciencia en su PC*, pp. 103-117.
- ESTRADA, M. (2005). “Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde”. En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, pp. 246-257.
- EUI, H.; KAWAMURA, Y.; MIZUTANI, K.; OKAWA, H., and ASAKA, M. (2007). “Detection of underground concrete block using giant-magneto-striction vibrator applying magnified cross-correlation analysis”. In. *Japanese Journal of Applied Physics*.
- Eur-Lex. (2001). Tecnologías de la información y de la comunicación en el ámbito del desarrollo. El papel de las TIC en la política comunitaria de desarrollo. *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo*. Bruselas.
- FERRARIS, F. (1999) “Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report”. In: *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*; Volume 104,. pp. 461-478.
- FIORELLI, J. (2015). *Non-conventional Building Materials based on Agro-industrial Wastes*. Ediciones Tiliform.
- FLORES, M., y SÁNCHEZ, C. (2012). *Implementacion de un prototípico de arquitectura domótica mixta usando comunicación ZigBee*. MÉxico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- FRIEDLER, E., y HADARI, M. (2006). *Gwri-ic.technion.ac.il*. Recuperado de 2013, de http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/gwri_abstracts/2006/57.pdf
- GAGGE, A. (1967). “Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures”. In: *Environmental research*, pp1-20.
- GANJIAN, E. (2015). “Using waste materials and by-products to produce concrete paving blocks”. In: *Construction and Building Materials.*, 77, pp. 270-275.
- GAMBOA, J., ROSILLO, M., HERRERA, C., LÓPEZ, O. e IGLESIAS, V. (2010). *Confort ambiental en viviendas de interés social en Cali*. Cali: Editorial Universidad del Valle.
- GASQUET, H. (2004). *Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. Recuperado de 2012, de Solartronic: <http://www.solartronic.com/download/SistemasFV.pdf>

- GIL, D. y GUZMÁN, M. (1993). *Enseñanza de las ciencias y la matemática, tendencias e innovaciones*. Organización de Estados Iberoamericanos (OIE).
- GIL, D., y VALDÉS, P. (2002). *El modelo constructivista de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias: una corriente innovadora fundamentada en la investigación*. Obtenido de <http://campus-oei.org/oeivrt/ciencias.htm>
- GIRALDO, W. (2013). *Diagnóstico y mejoramiento del comportamiento térmico y la ventilación en viviendas de interés social en cali con medios pasivos*. Universidad del Valle Facultad de Artes Integradas. Escuela de Arquitectura.
- GIRALDO Y. (2001) *Pull-out en función de la relación agua-cemento de varios tipos de fibras en morteros de cemento Pórtland*. Universidad del Valle, Colombia, Tesis de Grado.
- GONZÁLEZ, D. (2010). *Arquitectura bioclimática*. La Habana: Editorial Félix Varela.
- GRAMKOW, P. (2011). *Política ambiental. Economía verde, desafíos y oportunidades*. Brasil: Grupo de Desing Grafico Ltda.
- HOYOS, A. (2014). “Avances en el desarrollo de los concretos translúcidos”. En: *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 81-86.
- HUMBOLDT , A. (2011). *Colombia sigue siendo rico en recursos hídricos*. Recuperado de Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos: <http://www.humboldt.org.co/iavh/component/k2/item/297-colombia-sigue-siendo-rico-en-recursos-h%C3%ADdricos>
- Incontec. (2005). *Código colombiano de fontanería NTC 1500*. Bogota: Publicaciones Centauro.
- INECC. (2010). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado el 2014, de <http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/agua/recolección-reciclado-y-reuso-de-agua/aguas-grises>
- ISAZA, P., AGUIRRE, S., MEJÍA, F. y SALDARRIAGA, C. (2004). *Reutilización de aguas domésticas*. XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Armenia, Quindío.
- JARAMILLO R.; SILVA, Z. (2001). *Vivienda social en Colombia. Necesidades y atención: un reto estructural*. CAMACOL. Presidencia Nacional.
- JIMÉNEZ, E. y FERNÁNDEZ, F. (2014). “Translucent Concrete. Research with Glass, Optical Fiber and Glass Fiber” . In: *Construction and Building Research*, pp. 111-114.
- JOFRA, M. (2010). “Energía solar fotovoltaica”. En: *Energías renovables para todos*. Fundación de energía de la comunidad de Madrid. pp. 2-19.

- KINGLAND, G. y LÓPEZ, G. (2010). *Desarrollo de un sistema de televigilancia y control domótico en el departamento de computación y sistemas de la Universidad de Oriente Núcleo Anzóategui*. Barcelona: Universidad de Oriente.
- KNAPTON, J. (1979). “The behaviour of a concrete block pavement”. In: *ICE Proceedings Thomas Telford*, 66(2), pp. 277-292.
- KUMAR, E. (2010). “A Preview of Recent Advances in Concrete Technology”. In: *Proceedings of 'All India Seminar on Advances in Materials & Techniques in Construction'*.
- KUO , B. (s.f.). “Introducción a los sistema de control automático”. En: B. KUO, *Sistema de Control Automático*.
- LAMB, P. (2008). “Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante”. En: *Revista de Investigaciones Aplicadas*, (ISSN 2011-0413).
- LEE, W., CHEON, M., HYUN, C.-H., & PARK, M. (2012). “Development of building fire safety system with automatic security”. In: *Fire Safety Journal*, pp. 65-73.
- LIDWELL, W., HOLDEN, K., y JILL, B. (2005). *Principios universales de diseño*. Barcelona: Blume.
- LINTZ, R. (2012). “Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture”. En: *IBRACON de Estruturas e Materiais*, 5(2), 166-181.
- LLEDO, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- LÓPEZ, Y. (2011). “Análisis del recurso solar y eólico en Colombia. Caso Valle del Cauca”. En: *El hombre y la máquina*, pp. 34-41.
- MARÍN, C. (2004). “La energía eólica en España”. En: *Investigaciones Geográficas* (35), pp. 45-65.
- MARKVART, T. (2001). *Solar Electricity*. West Sussex, Inglaterra: British Library.
- MARTÍN, H., y SAÉNZ, F. (2006). *Domótica: un enfoque sociotécnico* (Vol. 1). Madrid: E.T.S.I de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- MARTÍNEZ, C. (2010). *Prototipo de Software de aplicación para el control domótico utilizando dispositivos móviles*. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería e Infotmática.
- MCNELIS, B. (2007). *Renewable Energy Powered Water Services*. International Energy Agency, Hampshire.

- MEAN WELL Enterprises Co. (s.f.). *Switching Power Supply*. Recuperado de 2012, de www.meanwell.com/
- MEDEIROS G., V. (2011). *Avaliação da torre sustentável em florianópolis*. Florianópolis: Universidad Federal de Santa Catarina.
- Ministerio de Educacion Nacional. (2007). *Centro virtual de noticias*. Recuperado de 2011, de <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-174956.html>
- MONSALVE, L. (2014). “Teja tipo sándwich de cemento basada en subproductos industriales para el mejoramiento de la comodidad térmica”. En: *Revista Colombiana de Materiales* (5), pp.332-337.
- MONTAÑEZ, J., y CORTÉS, L. (2010). *Metodologías de diseño para el suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas a partir de energías renovables*. Proyecto de grado, Universidad de La Salle, Bogotá.
- MORA, D., y HURTADO, J. (2004). *Guía para estudio de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.
- MTUI, G. (2009). “Recent advances in pretreatment of lignocellulosic wastes and production of value added products”. In: *African Journal of Biotechnology*.
- MUNARI, B. (1981). *¿Cómo nacen los objetos?* Madrid: Gustavo Gili.
- MUÑOZ, A. (2002). “Generadores de energía eléctrica de origen eólico”. En: *Revista de Ingenierías de la Universidad de San Buenaventura Cali*, 09, pp. 114-124.
- MURCIA, H. (2008). “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas”. En: *Revista de Ingenieria. Universidad de los Andes* (28), pp. 83-89.
- GONZALÉZ, R. (2005). *Evaluación de la inserción de sistemas fotovoltaicos a la red pública de Costa Rica*. Costa Rica: Proyecto de grado Universidad de Costa Rica.
- NARANJO, L., y GORDILLO, R. (2011). *Diseño de implementación de un sistema de monitorización y control remoto mediante la tarjeta minicore RCM 5600W*. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Sede Sangolquí.
- NARAYANAN, J. (2012). “Identification of set-accelerator for enhancing the productivity of foam concrete block manufacture”. In: *Construction and Building Materials* , 37, pp. 144-152.
- NEGRO, C.; SÁNCHEZ, E.; FUENTE, ÁNGELES, I. TIJERO J. (2006). “Polyacrylamide induced flocculation of a cement suspension”. In: *Chemical Engineering Science* No. 61, pp. 2522-2532

- NEGRO, C.; ÁNGELES, I.; TIJERO, J. (2006) “Methodology for flocculant selection in fibre–cement manufacture”. In: *Cement & Concrete Composites* No. 28 pp. 90-96.
- OLGAY, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.* Editorial Gustavo Gili.
- OGATA, K. (1998). *Ingeniería de control moderna.* México: Prentice Hall.
- OÑATE, D. (2006). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica.* España: Proyecto de grado. Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza (España).
- PACHECO, C. (2010). *Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano.* Universidad Internacional de Andalucía, Andalucía, España.
- PÉREZ, J. (2009). *Estudio de la aportación de la energía solar térmica y el uso de equipos de elevada eficiencia energética a un modelo de construcción sostenible.* Proyecto de grado, Universidad de Cataluña, Barcelona.
- Periódico *El País*. Entrevista a Eduardo Jaramillo Robledo, Presidente de la Cámara Colombiana de la Construcción, Camacol”. Colombia, Martes 7 de diciembre de 2004.
- PHOCOS AG. (s.f.). *Phocos Electrics.* Recuperado el 12 de 06 de 2012, de <http://www.phocos.com/products/cl-12-7-11w>
- POON, C. (2002). “Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks”. In: *Construction and Building Materials*, 16(5), pp. 281-289.
- PRADO, C. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.* Proyecto de grado, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- REBAH, F. (2007). “Agroindustrial waste materials and wastewater sludge for rhizobial inoculant production: a review”. In: *Bioresource technology*, 98(18), pp. 3535-3546.
- REINOSO, E. (2009). *Diseño e implementación de un prototipo para una red de domótica y seguridad para un hogar utilizando el estándard IEEE 802.15.4 ZigBee.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- RICCIARDI, P. (2015). “Thermal comfort in the Fraschini theatre (Pavia, Italy): Correlation between data from questionnaires, measurements, and mathematical model”. In: *Energy and Buildings*, pp. 243-252.
- RODRÍGUEZ, L. (26 de 02 de 2007). *Curso de energía solar fotovoltaica.* Recuperado de <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/>

- RODRÍGUEZ, L. (2004). “Programa general para la energía eólica en Colombia”. En: *Letras Jurídicas*, 9(1), pp. 127-139.
- ROJO, C. (2010). *Proyecto de instalaciones para el ahorro de energía y agua en una vivienda unifamiliar situada en Sant Gregori (Girona)*. Proyecto de grado, Universidad de Cataluña, Barcelona.
- SACRISTÁN, E. (2001). “Las energías del siglo XXI”. En: *Muy Interesante*, 16(187), pp. 41-53.
- SALAS, J. (1992). *Contra el hambre de vivienda. Soluciones tecnológicas latinoamericanas*. Bogotá: Ed. Escala.
- SÁNCHEZ, O. y OROZCO, P. (2009). *Diseño e implementación de una base de datos y una aplicación web para estación meteorológica*. Proyecto de grado. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- SAVASTANO, *et al.* (2000). “Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção”. En: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, V.4, No.1, pp.103-110.
- SAVASTANO, *et al.* (2003). “Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas”. In: *Cement and Concrete Composites* No. 25, pp. 585–592.
- SCHEUERMANN, K. (2003). “Just How Big Is a 2 kW Photovoltaic System?” In: *Home energy*, pp. 24-29.
- SMITH, C. y CORRIPIO, A. (1991). *Control automático de procesos*. México: Limusa S.A. de C.V.
- SMITH, S. (1997). “Digital Signal Processors” In: *The Scientist and Engineer’s guide to digital signal processing*. 1.
- SOLBERG, H. y TORBENSEN, R. (2012). “Trusted Domain: A security platform for home”. In: *Computers and Security*, pp. 940-955.
- SOUTSOS, M. (2011). “Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate”. In: *Construction and Building Materials*, 25(2), pp. 726-735.
- SUKONTASUKKUL, P. &. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 20(7), 450-457.
- SUNSET. (2006). *Sunset Solar*. Recuperado el 29 de 01 de 2013, de Auslandsreferenzen - Internationale Schulprojekte: <http://www.sunset-solar.de/index.php?lang=en/>
- TABASSO, S. (2015). “Microwave, ultrasound and ball mill procedures for bio-waste valorisation. In: *Green Chemistry*.

- Textos Científicos. (04 de 07 de 2005). *Celdas solares*. Recuperado de <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- THAMARAI, V. (2014). “Experimental studies on Translucent Concrete with steel fibers”. In: ASCE-ICES.
- TONOLI, G. (2010). “Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre”. In: *Construction and Building Materials*, pp. 193-201.
- TORO, F. (2014). “Modelación del módulo de la resistencia a la flexión de un material compuesto cementicio a partir de propiedades en estado fresco”. En: *Revista ingeniería de construcción*, 29(1), pp. 115-127.
- TORO, F.; DELVASTO, S.; ONÉSIPPE, C.; BILBA, K.; ARSÈNE, M. (2007). Influencia de la dosificación de arena y bentonita en las propiedades mecánicas y en la durabilidad de elementos laminares reforzados con fibra de fiqueI” En: C- NOCMAT Maceió. pp. 14-17
- TUSWITCH. (2013). *Electro Solar*. Recuperado de <http://tuswitch.com/productos/10/Electrodom%C3%A9sticos-Solares>
- TRUJILLO, D. (2009). *Diseño de un sistema de vigilancia no convencional basado en redes zigbee (802.15.4) para realizar un control sobre equipos de video e integración a sistemas de supervisión de mayor jerarquía*. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Sede Sangolquí.
- Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (Unatsabar) (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa*. Lima, Provincia de Lima, Perú.
- VALDÉS, J. (2003). *Estudio pull-out de diferentes fibras en morteros de cemento portland*. Tesis de grado. Programa académico: Ingeniería de Materiales. Universidad del Valle.
- VELASCO, A., y SOLAR, R. (2011). “Biorreactores de membrana: tecnología para el tratamiento de aguas residuales”. En: *La Ciencia y el Hombre*, XXIV(3).
- WOODS, A. L. (2000). Keeping a lid on it: asbestos-cement building materials. Preserving the recent past.
- W.C. Choi, H.D. Yun (2015). “Compressive behaviors of cubes and cylinders made of normal-strength demolished concrete blocks and high-strength fresh concrete”. *Construction and Building Materials*, 78, pp. 342-353.
- XIAO, J. Z. (2010). “Shake table test on recycled concrete block masonry buildings”. In: *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 018.

- YANG, D. (2000). “Experimental study on aseismic behavior of concrete block walls with construction-core column system”. In: *Journal of Building Structures*, 003.
- ZEBALLOS Ch. (2011). *Diseño e implementación de un sistema domótico de seguridad inalámbrica para un laboratorio de telecomunicaciones*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ZEVIN, L. and I.M. Zevin. “Orientation of asbestos in asbestos cement”. In: *Research & Development Authority, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel. Cement and concrete research*. Vol. 9, pp. 599-606, 1979. Printed in the U.S.A. 0008-8846/79/050599-08\$02.00/0 Copyright (c) 1979 Pergamon Press, Ltd.
- ZHAN, B. (2015). “Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks”. In: *Journal of Cleaner Production*.





El diseño y construcción de una vivienda es, por antonomasia, el objetivo primordial de la arquitectura y usualmente se convierte en el principal ejercicio académico y profesional de quienes están involucrados con el tema constructivo. La vivienda es, además, una de las principales necesidades por cubrir para garantizar la supervivencia de la especie humana y en consecuencia el hombre ha buscado constantemente cómo mejorar las condiciones de confort que ella le debe proveer.

Con base en el antecedente de algunas labores humanitarias desarrolladas por la oficina de Pastoral Universitaria de la Universidad de San Buenaventura Cali para solventar las necesidades básicas de una familia de bajos recursos, un grupo interdisciplinario de docentes se propuso hacer su aporte por medio de una investigación alrededor del ámbito de la vivienda de bajo costo, desarrollando un ejercicio académico que permitiera aunar esfuerzos y conocimientos en torno a una propuesta de vivienda, la cual unida a la problemática de nuestros días acerca de la sostenibilidad y economía en el consumo energético, contribuyera en la búsqueda de soluciones constructivas coherentes con la realidad social, económica y ambiental de la población colombiana de bajos recursos, que desde mucho tiempo atrás reclama propuestas encaminadas a solventar con calidad esta necesidad básica.



ISBN: 978-958-5415-31-7



9 789585 415317



@EditBonaventuri



editorialbonaventuriana



Editorialbonaventuriana



editorial-bonaventuriana