



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# **Evaluación de la Ecoeficiencia Constructiva de un prototipo de Vivienda Bioclimática desarrollada para el clima Tropical Cálido Húmedo en Venezuela.**

**"Análisis de los Recursos Materiales Consumidos en la  
Vivienda Bioclimática VBP-1"**

Autor: Laura Carolina Ramírez

Institución: Universidad de Sevilla / Universidad Central de Venezuela  
E-mail: lauracarolinaramirez@gmail.com

Otros autores: Ricardo Huete Fuertes (Universidad de Sevilla)



## RESUMEN:

Según los estudios demográficos especializados, para el año 2.050 se requerirá duplicar el suelo urbano para absorber el crecimiento de las grandes ciudades. Pero el modelo constructivo convencional ha demostrado su incapacidad de hacer frente a esta demanda, debido, entre otros, básicamente a tres factores de gran afección ambiental: a) el consumo descontrolado de recursos, b) la excesiva generación de residuos, c) la arriesgada y peligrosa utilización de productos tóxicos. El estudio de la sostenibilidad en la arquitectura para vivienda en Venezuela es un campo incipiente en el que contamos con el inestimable avance que desde la academia, la arquitectura bioclimática, esta produciendo en nuestro país. Pero en el camino para lograr las estrategias que nos permitan minimizar las afecciones ambientales de nuestras construcciones, y tomando el enfoque bioclimático como punto de partida de esta aproximación, se plantea éste trabajo cuyo objetivo es la evaluación del rango de ecoeficiencia alcanzado en el prototipo de Vivienda Bioclimática VBP-1 diseñado por el equipo del Sección de Acondicionamiento Ambiental del Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia, IFAD-LUZ, para la ciudad de Maracaibo, Edo. Zulia en Venezuela. Es objeto del presente estudio verificar si la solución arquitectónica y constructiva aplicada como aproximación bioclimática a la construcción de una vivienda en el clima tropical cálido húmedo son suficientes para minimizar la afección ambiental de ésta edificación, y si debe ser complementada con criterios y parámetros ecoeficientes de construcción. El análisis se circunscribe en una primera aproximación a la evaluación de la ecoeficiencia constructiva respecto al consumo de recursos materiales, la estimación de residuos producidos, y los elementos tóxicos presentes en la solución constructiva aplicada, según las metodologías desarrolladas en la Universidad de Sevilla por el equipo de investigación TEP-125 del Dto. Construcciones Arquitectónicas I.



## 1. INTRODUCCIÓN

Esta comunicación tiene como objetivo hacer público el trabajo de investigación que se está desarrollando sobre la construcción de vivienda social en Venezuela, caracterizando su tipología constructiva respecto a las tres variables de la ecoeficiencia y avanzando hacia la definición de un “Modelo de Construcción Ecoeficiente” para Venezuela que racionalice los recursos consumidos, minimice los residuos producidos y restrinja el uso de materiales tóxicos.

Como primera aproximación se plantea éste trabajo para evaluar, bajo éstos parámetros la propuesta constructiva de un Prototipo de Vivienda Bioclimática Social desarrollada por la Universidad del Zulia, Venezuela, como respuesta arquitectónica a las exigencias climáticas de la zona y principios de eficiencia energética. Esta evaluación se realiza a la vivienda en sus condiciones actuales, y no en un procedimiento basado en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV)<sup>1</sup>.

**Esta investigación evalúa el comportamiento ecoeficiente de éste prototipo, respecto a los recursos materiales consumidos, los materiales tóxicos presentes y la producción de escombros durante su construcción.**

Actualmente nos encontramos evaluando la tercera variable, estimando la producción de residuos de construcción durante la realización de ésta vivienda. Exponemos en ésta publicación, los resultados obtenidos hasta el momento, en cuanto al su consumo de recursos materiales y empleo de materiales tóxicos. Estos resultados preliminares nos confirman, que el cuidado de las variables climáticas y los principios de eficiencia energética, deben complementarse con los criterios ecoeficientes para avanzar hacia una arquitectura más sostenible.

## 2. PRINCIPIOS DE UNA CONSTRUCCIÓN ECOEFICIENTE.

Conscientes de la importancia de minimizar la afección provocada por la construcción de viviendas al medio ambiente, para poder así preservarlo, y que futuras generaciones pueda sacar provecho de sus recursos. Definimos Ecoeficiencia como el menor consumo de medios para lograr unos fines u objetivos. Como profesionales y técnicos de la construcción, debemos saber la importancia que desde de proyecto, se gestionen racionalmente los recursos: evitando el gasto innecesario de materiales, planificar como será empleado considerando su modulación y la posibilidad de reutilizarlos o reciclarlos; y limitar así la producción de residuos de nuestras construcciones, porque todos sabemos que los recursos que ahora tenemos no son infinitos y la condición habitable de nuestro planeta puede cambiar.

Es fundamental, que los materiales de construcción no produzcan deterioro en la salud humana y tener un mínimo de toxicidad ambiental. Del mismo modo, disminuir el transporte de los materiales a la obra, ubicándolos en sitios cercanos al donde van a ser empleados, contribuyendo a disminuir la contaminación ambiental.

---

<sup>1</sup> Al no estar contemplado el ACV de esta vivienda ni los materiales consumidos por ella, no se analiza efectos como el consumo energético de la obtención de sus recursos, o la afección del transporte de los materiales, etc.

La clasificación expresada en la tabla 1, resume los avances realizados en éste sentido por el grupo de investigación TEP-125<sup>2</sup>, para determinar cual es un “Producto Ecoeficiente” y mejorar la afección producida por la actividad de construcción.

<b>PRODUCTO ECOEFICIENTE</b>	
<b>Exigencia característica</b>	<b>Requisito de identificación</b>
<b>Elaborado con materiales ambientalmente adecuados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minimizar el uso de materias primas</li> <li>▪ Ser reutilizables</li> <li>▪ Ser elaborados a partir de materias primas recicladas</li> <li>▪ Ser elaborados con materiales naturales</li> </ul>
<b>Carecer de materiales contaminantes y ser, por ello, alternativos a los que contaminan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ser alternativos a los que reducen la capa de ozono</li> <li>▪ Ser alternativos al PVC y a los policarbonatos</li> <li>▪ Ser alternativos a los tratamientos de la madera contaminantes</li> </ul>
<b>Productos que minimizan el impacto ambiental durante las operaciones de construcción y demolición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducir el impacto por nueva construcción.</li> <li>▪ Reducir el impacto durante la rehabilitación del edificio.</li> <li>▪ Reducir el impacto por la demolición.</li> </ul>
<b>Productos que reducen los efectos ambientales durante su explotación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducir las cargas de calefacción y refrigeración.</li> <li>▪ Utilizar equipos que conservan la energía y el agua.</li> <li>▪ Utilizar productos de larga durabilidad y bajo mantenimiento.</li> </ul>
<b>Productos que favorecen la salud y la calidad del ambiente interior</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No liberar, en cantidad significativa, contaminantes.</li> <li>▪ Bloquear la formación y emisión de contaminantes.</li> </ul>

Tabla Nº 1. Criterios de identificación del Producto Ecoeficiente<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Grupo de investigación en Nuevos Materiales y Procedimientos de Construcción TEP-125:

- Soluciones constructivas ecoeficientes: Materiales y Productos Ecoeficientes, Criterios Ecoeficientes para la especificación de productos de construcción, el Problema Tóxico.
- Gestión de residuos: Cuantificación y Reducción de RCD, Caracterización de RCD.
- Sostenibilidad: Análisis Medioambiental de la Calidad de los Proyectos de Vivienda, Ecoeficiencia de las construcciones en Andalucía.
- Análisis de herramientas de evaluación de ecoeficiencia, Evaluación ambiental mediante análisis de ciclo de vida de procedimientos constructivos.

<sup>3</sup> Tomado de: HUETE, Ricardo; LÓPEZ, José Antonio; LLATAS, Carmen; CONRADI, Esperanza; BLANDÓN, Begoña; GARCÍA, Antonio; GARCÍA, Mercedes. “Criterios ecoeficientes para la especificación de productos de construcción”. VII Jornadas de Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales. Madrid, 19 de Mayo del 2003. ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid.



Sin embargo, éste grupo de investigación, hace la aclaración de que “la cuestión no es usar o no los productos más ecoeficientes disponibles, sino incorporar esta exigencia, como una nueva variable en el diseño arquitectónico y constructivo, y dar la solución más equilibrada que, sin perjuicio de ninguna en concreto, atienda los diferentes requerimientos que se han planteado en el proyecto”<sup>4</sup>.

### 3. EL PROTOTIPO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA EN ESTUDIO:

Investigadores de la Sección de Acondicionamiento Ambiental (SAA) del Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD) de la Universidad del Zulia, coordinados por el Dr. Eduardo González Cruz, han diseñado, construido y monitoreado el Prototipo de Vivienda Bioclimática (VBP-1) seleccionado como objeto de éste estudio (ver imagen 1). Ésta vivienda, que ha sido gestada bajo varios proyectos de investigación realizados desde el 2001 y es finalmente construido en el año 2006, en la ciudad de Maracaibo<sup>5</sup>, Edo. Zulia. Esta Ciudad está reconocida por tener el mayor índice de consumo de energía eléctrica por persona del país, y de América Latina, debido al acondicionamiento mecánico de sus edificaciones.

Bajo estrategias y técnicas de acondicionamiento natural y empleando sistemas pasivos de climatización, desarrollan ésta vivienda en torno a un jardín central y con aprovechamiento continuo de la ventilación natural (con abertura cenital y cerramientos permeables de romanilla). Existen dos zonas claramente definidas: la Zona “A” generadora de calor (local comercial, cocina, sala y baño) es tratada con criterio de gran permeabilidad que maximiza la ventilación, aleros de protección solar de sus fachadas, y cubierta prefabricada aislante de relativamente baja difusividad y efusividad térmica; y la Zona “B” no generadora de calor (los dormitorios) es tratada con criterios bioclimáticos de prevención al sobrecalentamiento y se aplica el Sistema Pasivo de Enfriamiento Evaporativo Indirecto SPEEI<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> HUETE FUERTES, Ricardo. “Aproximación a un Proyecto de Construcción Ecoeficiente” Dto. Construcciones Arquitectónicas I, ETSA, Universidad de Sevilla, España, 2001, 25p.

<sup>5</sup> La ciudad costera de Maracaibo, localizada en el margen occidental de Lago de Maracaibo, al noroeste del país, está a 10° 40' North y 71° 37' West y a 40mts de altitud promedio sobre el nivel de mar. La temperatura media está en 28°C, con amplitudes de 9°C, que ha llegado hasta máximas de 39,6°C y existe una humedad de entre el 70% y 80%. La precipitación anual es de 500 a 550mm y la radiación global media diaria es de 4,2 kwh/m<sup>2</sup>. Durante el año se presentan dos periodos de viento bien definidos: a) de diciembre-abril presencia de los vientos alisios, constantes, con velocidades medias de 3 a 5m/s; b) de mayo-noviembre de vientos débiles de dirección y velocidad variables y predominio de tiempo de calma, en especial entre las 8:00am a 3:00pm.

<sup>6</sup> El SPEEI es una cubierta protegida del asoleamiento en cuya cámara interna un espejo de agua es expuesto a un flujo continuo de aire que reduce su temperatura y permite una rápida transmisión de calor desde el interior de los dormitorios al agua, sistema con el que se han llegado a medir hasta 7°C menos de temperatura respecto al exterior de la vivienda. Razón por la que los dormitorios solo se alcanzan los 28°C como máximo en las horas más calurosas del día.

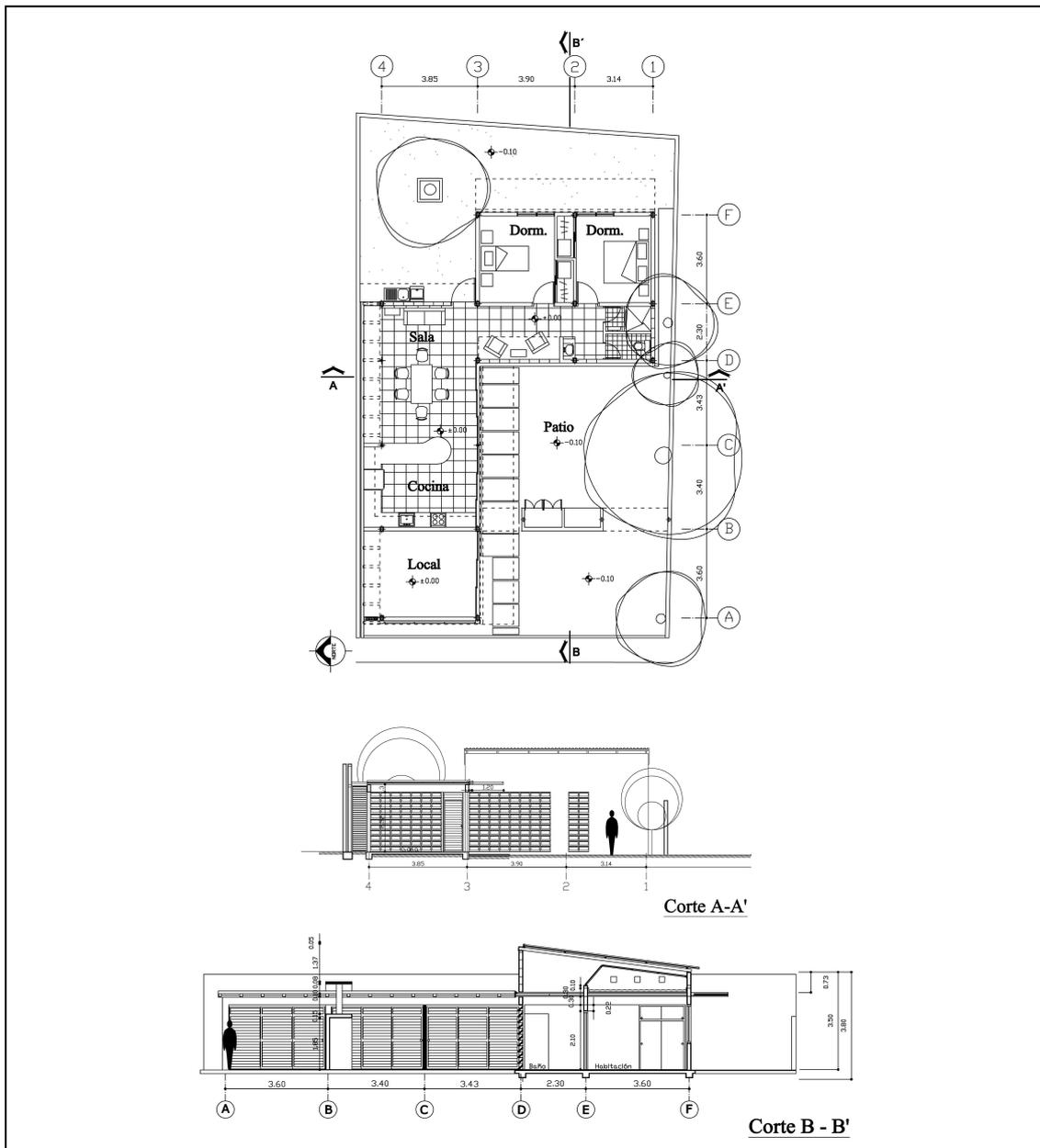


Imagen N° 1. Planta y Cortes de la VBP-1.

#### 4. METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR RECURSOS MATERIALES:

Para cuantificar y clasificar los recursos materiales empleados en la construcción del prototipo VBP-1 en función de sus consecuencias ambientales, es necesario, mediante un proceso sistemático de análisis, identificar y cuantificar los materiales consumidos en su proceso de construcción, para luego clasificar estos recursos, atendiendo a criterios



coeficientes como son su renovabilidad o el grado de afectación que produce. Para ello se debe seguir los siguientes pasos<sup>7</sup>:

- a) Identificar los distintos sub-sistemas constructivos<sup>8</sup> que componen ésta vivienda y sus correspondientes partidas.
- b) Desglosar en descompuestos de obra cada partida identificada, según las unidades de medida comúnmente utilizadas en los presupuestos<sup>9</sup>.
- c) Aplicar un “Factor de Relación” (FR) para obtener una unidad única (R), que permita realizar comparaciones entre materiales de unidades disímiles.
- d) Obtener el “Índice de Relación” de cada material (R/S), lo que permitirá a futuro, la comparación de los valores presentes en la VBP-1 con los valores que se obtengan de otras tipología de viviendas.
- e) Hallar la relación porcentual de los materiales consumidos en la vivienda.

## 5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR LOS RECURSOS MATERIALES A LA VBP-1:

Los Sub-sistemas Constructivos identificados, en la solución constructiva de la VBP-1 son los siguientes:

SUB-SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LA VBP-1	
Denominación	Técnica Constructiva
1. Acondicionamiento del Terreno:	Nivelación, Replanteo y Excavación de zanjas.
2. Fundaciones:	Losa de concreto armado con vigas de riostras
3. Estructura:	Pórticos de concreto armado
4. Albañilería:	Mampostería de bloques de concreto aligerado

<sup>7</sup> Esta metodología se ha tomado de: HUETE, Ricardo, CONRADI, Esperanza y MERCADER MOYANO, M<sup>a</sup> del Pilar. “Análisis Medioambiental de la Calidad de los proyectos e viviendas: gestión ecoeficiente de recursos”. 1ras Jornadas de Investigación en Construcción, Actas de Jornadas, Tomo II. Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Editorial Amiet, Madrid del 2 al 4 de junio 2005.

<sup>8</sup> “Sub-sistemas Constructivos: Conjunto de elementos constructivos coordinados entre sí de modo que formen un todo coherente: la cimentación, la estructura, la cubierta, etc...” Definición tomada de: LLATAS OLIVER, Carmen. Residuos generados en la construcción de viviendas. Propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tutor: Dr. Ricardo Huete Fuertes. Tesis Doctoral, Dto. de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSA, Universidad de Sevilla. Sevilla, España, 2000. (véase apartado II.4.2. Conceptos) p. 32.

<sup>9</sup> Debido a no contar con ésta información en los documentos otorgados por el equipo que diseñó y construyó la VBP-1, para obtener las partidas y sus descompuestos, además de los planos y detalles del proyecto, conversaciones con el equipo desarrollador y con los usuarios, y visita a la vivienda; hemos tomado como referencia, la proporción de materiales establecida en cada partida en el Sistema de Control de Obra de DataLaing “MAPREX”: Sistematización de análisis de precios, presupuestos y valuaciones, Caracas, Venezuela, por ser de los más utilizados actualmente y tener fácil manipulación en ambiente Window.

5. Cubiertas:	Sistema prefabricado Pláfacil (PREMARCA) de concreto aligerado (nervios y losetas) impermeabilizada con manto asfáltico y cubierta metálica liviana sobre SPEEI.
6. Carpintería metálica o de madera:	Marcos y puertas de madera, cerramientos de rejas de romanilla de tubulares metálicos, ventanas aluminio y vidrio
7. Revestimientos y Acabados:	Frisos de mortero sobre albañilería, pisos de cemento pulido y baldosas cerámicas, pintura sobre cerramiento verticales y horizontales
8. Instalaciones: 8.1. Instalaciones Sanitarias:	8.1.1. Instalaciones de Aguas Blancas: Tubería y conexiones de PVC, tanque de polietileno y accesorios galvanizados.  8.1.2. Instalaciones de Aguas Negras Tubería y conexiones de PVC, tanquilla de concreto armado, piezas sanitarias porcelana y batea concreto.  8.1.3. Instalaciones de Agua de Lluvias Canal galvanizada y tubería de PVC:
8.2. Instalaciones Eléctricas:	Tubería Conduit de PVC, cables recubiertos de PVC
8.3. Instalaciones de Gas y Teléfono:	Tubería Conduit de PVC y tubo de gas de cobre.

Tabla N° 2. Sub-sistemas Constructivos presentes en la Vivienda Bioclimática VBP-1.

Seguidamente hemos realizado la medición de materiales consumidos en forma de partidas resumidas; y posteriormente expresamos el desglose de las partidas obteniendo el listado de los materiales consumidos, sin considerar factores como la maquinaria y equipos requeridos, o la mano de obra implícita en cada actividad, ya que no tiene relevancia para el análisis a realizar.

Para poder cotejar las diferentes unidades obtenidas, y acceder a una proporción que nos compare de forma inmediata el consumo de un producto respecto de otro, se aplica un **Factor de Relación “FR”** (el peso específico de cada material<sup>10</sup>). Este factor será empleado cuando la unidad de medida del concepto procedente del descompuesto de partida, sea distinto a la unidad de peso (Kg). Con éste proceso obtenemos el valor “R” que corresponde a la cantidad de cada material utilizado en la VBP-1 cuantificado en unidad de peso (Kg). Al cuantificar todos los recursos en la misma unidad de medida, nos

<sup>10</sup> Para los valores del peso específico de materiales de construcción utilizado en este estudio fueron tomado los que definen los folletos técnicos de algunos productores, y para otros casos fueron tomados de: Dirección General de Arquitectura y Vivienda, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Normas Básicas de la Edificación NBE-MV 101-1962. Acciones en la Edificación. España, 1979. pag.12 y 13.

es posible obtener la relación porcentual de la participación de cada material consumido (ver tabla N° 3).

Igualmente, hemos establecido el **Índice de Comparación “R/S”**, para el cual utilizamos la cantidad de cada material medida en unidad de peso por metro cuadrado de construcción de vivienda ( $\text{Kg/m}^2$ ). Con éste índice nos será posible establecer comparaciones entre distintos tipos de viviendas a las que se le hayan practicado ésta metodología de cuantificación de recursos. Definiendo los criterios o variables ambientales a analizar, y por comparación entre distintas tipologías de viviendas y distintas soluciones constructivas, será posible establecer, según sus recursos materiales empleados, que edificación o solución habitacional puede ser más ecoeficiente que otra.

Adición General de Recursos Materiales en VBP-1						
Material	Unidad inicial	Cantidad Consumida	FR	R (Kg)	R/S ( $\text{Kg/m}^2$ )	%
Cal	Kg	541.88	1	541.88	4.97	0.221
Cemento	Kg	22650.80	1	22650.80	207.81	9.254
Cemento Blanco	Kg	49.95	1	49.95	0.46	0.020
Pego Blanco (Cemento Cola)	Kg	487.80	1	487.80	4.48	0.199
Piedra Picada	$\text{m}^3$	44.23	$1700\text{Kg/m}^3$	75191.00	689.83	30.721
Arena	$\text{m}^3$	41.93	$1500\text{Kg/m}^3$	62895.00	577.02	25.697
Arena Amarilla	$\text{m}^3$	18.26	$1500\text{Kg/m}^3$	27390.00	251.28	11.191
Agua	$\text{m}^3$	13.82	$1000\text{Kg/m}^3$	13820.00	126.79	5.646
Concreto Aligerado (bloques)	Pza	2619.00	6Kg/Pza	15714.00	144.17	6.420
Agregado Aliven	Kg	6569.04	1	6569.04	60.27	2.684
Acero	Kg	5459.39	1	5459.39	50.09	2.231
Acero Galvanizado	Kg	233.18	1	233.18	2.14	0.095
Electrodos	Kg	11.83	1	11.83	0.11	0.005
Madera	$\text{m}^3$	3.72	$800\text{Kg/m}^3$	2973.68	27.28	1.215
PLYCEM (fibrocemento)	$\text{m}^3$	0.71	$15\text{Kg/m}^3$	10.72	0.10	0.004
Cerámica (arcilla)	$\text{m}^3$	5.28	$1800\text{Kg/m}^3$	9511.20	87.26	3.886
Gasoil	Lts	12.70	$750\text{Kg/m}^3$	9.53	0.09	0.004
Productos Asfálticos	$\text{m}^3$	0.61	$1300\text{Kg/m}^3$	797.98	7.32	0.326
Polietileno	$\text{m}^2$	56.40	$0.184\text{Kg/m}^2$	10.38	0.10	0.004
Poliestireno Expandido	$\text{m}^3$	0.64	$12\text{Kg/m}^3$	7.68	0.07	0.003
Plástico Reflectante	$\text{m}^2$	10.40	$0.184\text{Kg/m}^2$	1.91	0.02	0.001
Pintura de Caucho	Gln	35.02	$4.32\text{Kg/Gln}$	151.29	1.39	0.062
Pintura de Esmalte	Gln	6.14	$4.32\text{Kg/Gln}$	26.52	0.24	0.011
Fondo Anticorrosivo	Gln	6.14	$4.32\text{Kg/Gln}$	26.52	0.24	0.011
Solvente	Lts	2.41	$900\text{Kg/m}^3$	2.17	0.02	0.001
PVC	Kg	100.18	1	100.18	0.92	0.041
Piezas sanitarias (porcelana)	Kg	34.00	1	34.00	0.31	0.014
Batea (concreto)	Kg	28.00	1	28.00	0.26	0.011
Pegamento y Limpiador	Lts	12.78	$900\text{Kg/m}^3$	11.50	0.11	0.005
Tanque de polietileno	Kg	20.00	1	20.00	0.18	0.008
Cables recubiertos	Kg	11.39	1	11.39	0.10	0.005
Tubería Cobre 1/4"	ml	13	$0.5\text{Kg/ml}$	6.50	0.06	0.003
<b>Total</b>				<b>244755.01</b>	<b>2245.46</b>	<b>100</b>

Tabla N° 3. Cuadro General de Recursos Materiales Consumidos en la VBP-1.

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE RECURSOS MATERIALES DE LA VBP-1.

El Prototipo de Vivienda Bioclimática VBP-1 en estudio tiene una superficie de 109m<sup>2</sup> con tiene un peso tota de materiales utilizados de 244.755,91Kg, por lo que podemos decir que ésta vivienda supone un peso medio de consumo de materiales de 2.245Kg/m<sup>2</sup>.

El primer análisis consiste en identificar la proporción existente entre los distintos sub-sistemas constructivos de ésta vivienda. En la solución constructiva aplicada, el sub-sistema de mayor repercusión son las fundaciones, seguidas de los revestimientos y la albañilería, a continuación se ubican la estructura y las cubiertas, y se identifican como los de menor peso las instalaciones y la carpintería metálica o de madera (ver tabla N° 4 e imagen 2).

Proporción de Sub-Sistemas Constructivos en la VBP-1			
Sub-Sistemas Constructivos	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
Acondicionamiento del Terreno	44.88	0.41	0.018
Fundaciones	89193.42	818.29	36.442
Estructuras	28868.50	264.85	11.795
Albañilería	47065.88	431.80	19.230
Cubiertas	18763.06	172.14	7.666
Carpintería Metálica o de Madera	1666.33	15.29	0.681
Revestimientos	57149.01	524.30	23.349
Instalaciones	2004.84	18.39	0.819
<b>Total:</b>	<b>244755.91</b>	<b>2245.47</b>	<b>100.000</b>

Tabla N° 4. Proporción de los Sub-sistemas Constructivos en la VBP-1.

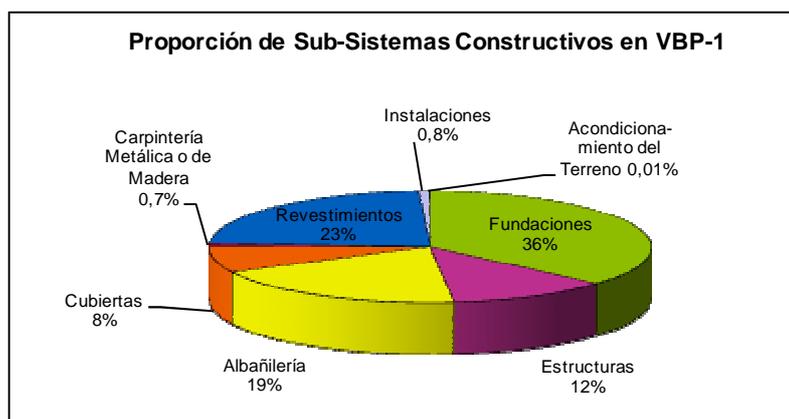


Imagen N°. 2. Proporción de los Sub-sistemas Constructivos en la VBP-1.

La razón de que la repercusión de las fundaciones sea tan alta obedece a la necesidad de cumplir un mínimo permitido según la norma, lo cual para una vivienda de éste tipo (unifamiliar de una planta), resulta excesivo. Lo cual nos confirma que la respuesta con mayor ecoeficiencia estaría en una edificación de varias plantas.

Por el contrario, el sub-sistema instalaciones, tiene una repercusión muy baja en ésta vivienda. Este hecho pudiera significar que la respuesta de ésta vivienda está infradotada con respecto a las instalaciones de que dispone, suponiendo la necesidad de una mayor cantidad de servicios (más cuartos de baños, incorporación de piezas sanitarias como bidet o bañera, instalaciones de climatización, u otros), lo cual no consideramos sea el caso al estar inmersos en éste nivel económico<sup>11</sup> (vivienda de carácter social para la población de menores ingresos). También es importante considerar que en el trópico se requiere menor cantidad de instalaciones para la climatización interna por no contar con las cuatro estaciones, y es ésta precisamente una premisa que define ésta vivienda su acondicionamiento pasivo que limita el consumo de materiales en instalaciones, distribuyendo un mayor consumo en cubierta.

En la tabla N° 5 podemos apreciar los distintos materiales utilizados en la VBP-1 y su proporción porcentual. Se puede reconocer que los materiales de mayor proporción son los requeridos para producir el concreto (hormigón) y los morteros, que en conjunto representan el 90% de los materiales empleados en la VBP-1, ya que éstos están presentes en las fundaciones, estructura, cerramientos y revestimientos de la vivienda (ver imagen 3).

Cuantificación de Recursos Materiales en VBP-1				
Nº	Material	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
1	Arenas	90285.00	828.30	36.888
2	Piedra Picada	75191.00	689.83	30.721
3	Cementos	23188.55	212.74	9.474
4	Concreto Aligerado	15742.00	144.42	6.432
5	Agua	13820.00	126.79	5.646
6	Cerámica (arcilla)	9511.20	87.26	3.886
7	Agregado Aliven	6569.04	60.27	2.684
8	Acero	5692.57	52.23	2.326
9	Madera	2973.68	27.28	1.215
10	Productos Asfálticos	797.98	7.32	0.326
11	Cal	541.88	4.97	0.221
12	Pinturas	206.50	1.89	0.084
13	PVC	100.18	0.92	0.041
14	Polietileno y Poliestireno Exp	39.97	0.37	0.016
15	Piezas sanitarias (porcelana)	34.00	0.31	0.014
16	Electrodos	11.83	0.11	0.005
17	Pegamento y Limpiador	11.50	0.11	0.005
18	Cables recubiertos	11.39	0.10	0.005
19	PLYCEM (fibrocemento)	10.72	0.10	0.004
20	Gasoil	9.53	0.09	0.004
21	Tubería Cobre 1/4"	6.50	0.06	0.003
total:		<b>244755.01</b>	<b>2245.46</b>	<b>100</b>

Tabla N° 5. Cuadro de Recursos Materiales en la VBP-1.

<sup>11</sup> Muy probablemente al analizar la vivienda para otros estratos económicos de la población, encontraríamos marcadas diferencias en este sub-sistema.

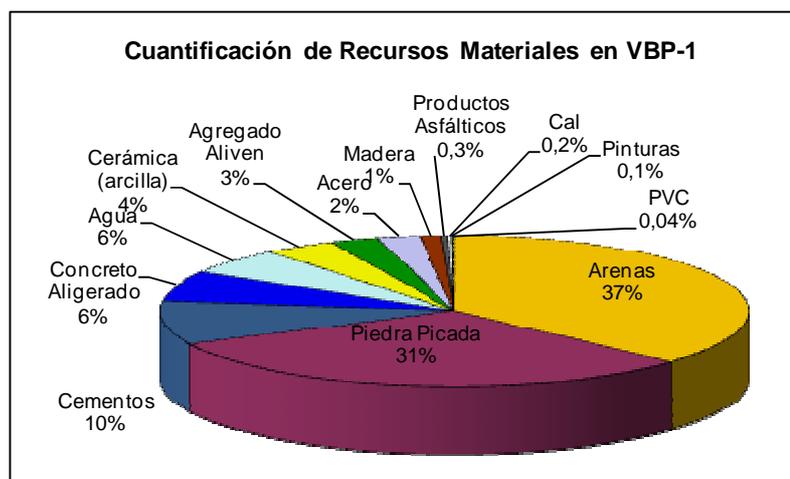


Imagen N°. 3. Proporción Porcentual de los Recursos Materiales de la VBP-1

## 7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE RECURSOS MATERIALES DE LA VBP-1.

Obtenidos los resultados de la cuantificación de los recursos materiales consumidos en la vivienda en estudio, hemos querido seleccionar algunas variables ambientales que nos sirvan como criterios de valoración en estos primeros análisis que reseñaremos a continuación.

### 7.1. RECURSOS NATURALES ESCASOS O DE DIFÍCIL RECUPERACIÓN:

En la revisión de los recursos naturales empleados en la vivienda en estudio, hemos podido apreciar que por la técnica constructiva que se utiliza, los materiales provenientes de canteras representan el 75% de los recursos consumidos<sup>12</sup>. A éste porcentaje se deben anexar la proporción de los elementos de concreto aligerado (6,43%), que en nuestro caso, están mayormente representado por los bloques de concreto de la albañilería. Como todos conocemos, los trabajos de extracción de productos de cantera como éste, producen erosión del suelo, contaminación y pérdida del hábitat (ver imagen 4).

<sup>12</sup> Materiales de Cantera como son los agregados para el concreto, en éste caso la arena, la piedra picada y la arcilla



Notamos que hasta un máximo de 67% de los materiales consumidos (arena y piedra picada) en ésta solución constructiva puede llegar a ser sustituida por material proveniente del reciclado o residuos de construcción tratados, derivando en un menor consumo de materia prima (ver tabla 6). Al igual que parte del cemento empleado pudiera remplazarse por puzolanas provenientes de productos agrícolas y favorecer así su respuesta ecoeficiente.

<b>Materiales no recuperables y escasos presentes en la VBP-1</b>			
Descripción	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
Arena	90285.00	828.30	36.89
Piedra Picada	75191.00	689.83	30.72
Arcilla	16080.24	147.53	6.57
Concreto Aligerado	15742.00	144.42	6.43
Agua	13820.00	126.79	5.65
Madera	2973.68	27.28	1.21
Productos Asfálticos	797.98	7.32	0.33
<b>total</b>	<b>123806.92</b>	<b>1964.15</b>	<b>88</b>

Tabla N° 6. Cuadro de Recursos Materiales Naturales escasos o de difícil recuperación presentes en la VBP-1.

Con respecto al Agua, como recurso natural escaso en el planeta, para la construcción de la VBP-1, fueron necesarios cerca de 14.000Lts únicamente utilizados para la realización de mezclas de concreto y mortero<sup>13</sup>. La Madera, solamente representa 1,21% de los recursos empleados en la VBP-1 y los Productos Asfálticos corresponden al 0,33%.

## 7.2. MATERIALES QUE PUEDAN SER RECICLADOS:

Hemos querido revisar entre los materiales consumidos en la VBP-1, la proporción de los materiales que pueden ser reciclados. Sin embargo, en Venezuela, el reciclaje de productos provenientes de la construcción es muy poco conocido, y generalmente los escombros, todos mezclados, se depositan en vertederos (ver imágenes 5 y 6). Por lo que ya sabemos que es muy poco probable, que se lleguen a cumplir los datos encontrados.



Imagen N°. 5. Escombros de Construcción típico. Restos mezclados.



Imagen N°. 6. Escombros de Construcción limpio y seleccionado habilitado para su reciclaje.

Solo sí se cumpliesen las condiciones siguientes:

- Se llegara a contar con un derribo selectivo de la VBP-1 al final de su vida útil<sup>14</sup>, y
- Se pudiese aprovechar absolutamente todo el material utilizado de cada rubro.

Podemos afirmar que, se podrían reciclar el 93% de los recursos consumidos en la construcción de ésta vivienda. Pero como ya conocemos, éstas son unas condicionantes que fijan un panorama aun utópico en Venezuela, y muchas otras partes del mundo. Razón por la que lamentablemente, las predicciones de la tabla 7, no se cumplirán, a menos que se comience a reforzar la industria del reciclaje en nuestro país.

<sup>13</sup> La proporción de agua requerida en las labores de limpieza de herramientas y equipos no han sido tomado en cuenta en éste estudio.

<sup>14</sup> La práctica del derribo selectivo tampoco se emplea comúnmente en Venezuela.

<b>Posibles Materiales Reciclables en la VBP-1</b>			
Descripción	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
Concreto, Hormigon y morteros	211517.47	1940.53	86.42
Cerámica (arcilla)	9511.20	87.26	3.886
Acero	5692.57	52.23	2.326
Productos Asfálticos	797.98	7.32	0.326
Madera (solo marcos y puertas)	408.00	3.74	0.167
Polietileno y Poliestireno Exp	39.97	0.37	0.016
Piezas sanitarias (porcelana)	34.00	0.31	0.014
PLYCEM (fibrocemento)	10.72	0.10	0.004
Tubería Cobre 1/4"	6.50	0.06	0.003
<b>total:</b>	<b>228018.41</b>	<b>2091.91</b>	<b>93.162</b>

Tabla N° 7. Cuadro del Máximo de Recursos Materiales Reciclables posiblemente presentes en la VBP-1.

### 7.3. MATERIALES REUSABLES:

Con un criterio más realista, podemos revisar que materiales empleados en la VBP-1, son posible de reusar, en otras palabras, se pueden desmontar y ser utilizados tal como se encuentran en otras construcciones u otros usos.

En ésta revisión hemos podido hallar algunos elementos metálicos (como los tubulares de techo liviano, las columnas cilíndricas, etc.), los marcos y puertas de madera, las piezas sanitarias, el tanque de agua, la batea prefabricada, el poliestireno expandido que aísla la cubierta liviana, el fibrocemento empleado en la doble fachada oeste, y la tubería de gas que no esta empotrada. Con todos éstos recursos solamente llegamos al 0.82% (ver tabla 8).

Esta respuesta tan baja respecto a la posibilidad del reuso del material, obedece a que la solución constructiva de ésta vivienda no favorece la “desconstrucción”, pues ésta realizada con técnicas de construcción “húmedas” y uniones vaciadas.

<b>Materiales Recuperables para su reuso en la VBP-1</b>			
Descripción	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
Acero	1482.80	13.60	0.606
Madera (solo marcos y puertas)	408.00	3.74	0.167
Piezas sanitarias (porcelana)	34.00	0.31	0.014
Polietileno	30.38	0.28	0.012
Batea (concreto)	28.00	0.26	0.011
PLYCEM (fibrocemento)	10.72	0.10	0.004
Poliestireno Expandido	7.68	0.07	0.003
Tubería Cobre 1/4"	6.50	0.06	0.003
<b>total</b>	<b>2008.07</b>	<b>18.42</b>	<b>0.820</b>

Tabla N° 8. Cuadro de los Recursos Materiales Reusables presentes en la VBP-1.

## 8. ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS TÓXICOS PRESENTES EN LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA VBP-1

### 8.1. TOXICIDAD Y PRINCIPIOS BASES.

Comenzamos éste apartado planteando a que nos referimos con el término "Tóxico"<sup>15</sup>.

- Para éste estudio, vamos a considerar tóxico cualquier sustancia que sea perjudicial, cause daño o deterioro, ya sea para los seres humanos, los otros seres vivos o para el medio ambiente. Aunque es importante establecer que por nuestra cultura antropocéntrica, se distinguirá el daño que afecte al hombre por sobre al daño que perturbe al planeta.
- La afección de un producto puede ser producida tanto en su proceso de extracción, en la fase de producción y de transformación, en la incorporación a la obra, a lo largo de su vida útil y desgaste, o en su desincorporación de la edificación.
- La toxicidad de los elementos, muchas veces está "encapsulada", y solo es expuesta durante un uso inadecuado (rotura), cuando ocurre una situación no controlada (incendio), o en la fase de demolición del edificio.
- Es importante tener decisiones serenas y equilibradas al respecto, no tomar posturas extremas<sup>16</sup>. Este es un campo donde existe un continuo descubrimiento

<sup>15</sup> Tóxico: Perteneciente o relativo a un veneno o toxina. Tomado del Diccionario de la Real Academia Española.

<sup>16</sup> Posturas extremas serian como objetar todos los productos que no existan en la naturaleza, por creer que si no es natural es potencialmente peligroso.

aun no está suficientemente definido el impacto que puede causar un determinado componente ya que éste por lo general, que no es inmediato.

## 8.2. ESTIMACIÓN DE MATERIALES Y COMPUESTOS TÓXICOS PRESENTES EN LA VBP-1.

Siguiendo la metodología descrita por el equipo de investigación TEP-125<sup>17</sup>, comenzamos el proceso de identificar los posibles productos tóxicos presentes utilizados en el VBP-1. Para ello nos basaremos en la estimación de los recursos materiales consumidos durante la construcción de la VBP-1, y el listado de los materiales y compuestos presentes en éstos materiales (ver tabla 9).

Posibles Materiales Tóxicos presentes en VBP-1			
Descripción	R (Kg)	R/S (Kg/m <sup>2</sup> )	%
Cemento	23188.55	212.74	9.474
Productos Asfálticos	797.98	7.32	0.326
Pinturas	206.50	1.89	0.084
PVC	100.18	0.92	0.041
Pegas y Limpiadores	11.50	0.11	0.005
Cables recubiertos de PVC	11.39	0.10	0.005
Poliestireno Expandido	7.68	0.07	0.003
total	24323.78	223.15	9.938

Tabla Nº. 9. Posibles Materiales Tóxicos presentes en la VBP-1.

### 8.2.1. Resumen de los compuestos tóxicos presentes y afecciones ambientales:

**Cemento**<sup>18</sup>: Las materias primas esenciales, calizas, margas y arcillas, son extraídas en canteras, trabajos que, como hemos nombrado, producen erosión del suelo, contaminación y pérdida del hábitat. Situación agravada por su alto consumo de materia prima. Su fabricación tiene un alto consumo energético, y a su vez produce grandes emisiones CO<sub>2</sub> y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)<sup>19</sup>, que contaminan la atmósfera.

<sup>17</sup> En éste apartado nos basamos en las distintas publicaciones realizadas por éste grupo de investigación sobre la materia (ver en bibliografía documentos sobre toxicidad en la construcción) y en la información obtenida de las siguientes páginas Web: <http://www.epa.gov> ; <http://www.insht.es> ; <http://www.ccohs.ca> .

<sup>18</sup> Se estima que se genera una tonelada de CO<sub>2</sub> en la fabricación de cada tonelada de cemento (lo que es igual a 1,5x10<sup>9</sup>T CO<sub>2</sub>/año). La producción de cemento genera aproximadamente el 6% de las emisiones de efecto invernadero.

<sup>19</sup> Los Compuestos Organicos Volatiles (COV) contienen carbono, hidrógeno, fluoruros, cloruros, bromuros, sulfuro, etc. fácilmente emiten gases que son tóxicos a temperatura ambiente o cuando se someten a altas temperaturas.



**Productos asfálticos:** Como todos sabemos, el asfalto proviene de la actividad petrolera, cuya extracción produce un alto daño ambiental por los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), emisiones que según su concentración afecta la salud.

**Pinturas:** Todas las utilizadas en ésta vivienda contienen Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) como pigmento blanco, el cual se dispersa con facilidad en el aire y su exposición prolongada produce irritación de piel y ojos, llegando en caso extremos a causar fibrosis pulmonar. También pueden contener: como plastificante Bifenilpoliclorado (PCB'S), y algunas contienen Plomo (Pb)<sup>20</sup>, determinado por la OMS como materiales potencialmente cancerígenos. Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) empleados como diluyentes pueden transformarse en vapores y gases que contaminan el ambiente interior.

**PVC y Cables Recubiertos de PVC:** Tiene un alto contenido en cloro (57% en resina pura), por lo que emiten gases clorados y dioxinas durante su fabricación, emisiones conocidas por ser tóxicas y tener relación con la reducción de ozono en la estratosfera. Puede estar estabilizado con sales de plomo (tóxicos para la salud), o contener ftalatos como plastificante (también nocivos para la salud). Su toxicidad ésta “encapsulada” pero con altas temperaturas desprende distintos gases venenosos de los cuales el más importante es el ácido clorhídrico.

**Pegas y Limpiadores:** al igual que las pinturas pueden contener como plastificante Bifenilpoliclorado (PCB'S) (considerado cancerígeno), tienen Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), Formaldehído (HCHO) tóxico para organismos acuáticos, y es irritante en ojos, nariz y piel (puede ser cancerígeno).

**Poliestireno expandido:** Para su producción se emplea como agente expansionante los Clorofluorocarbono (CFCs)<sup>21</sup>, que como sabemos son los causantes del agujero en la capa de ozono. Asimismo para su fabricación utiliza Estireno que es irritante de ojos, piel y tracto respiratorio (puede ser cancerígeno). También contiene Benceno, y al arder se descomponen en humos tóxicos como ácido clorhídrico y óxido de estireno.

## 9. AGRADECIMIENTO:

Al Dr. Arq. Eduardo González Cruz, por su valiosa colaboración al compartir la información del prototipo VBP-1 requerida para éste estudio. Este trabajo se realiza con los siguientes financiamientos:

- Con el apoyo del Programa Alban, Programa de Becas de Alto Nivel de la Unión Europea para América Latina, beca nº E07D401728VE.
- Con el apoyo del Concejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), beca sueldo exterior nº B-02-4214-2007.
- Con el apoyo de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado AUIP, a través de su programa de Movilidad Académica entre Universidades Andaluzas y Latinoamericanas asociadas (beca de desplazamiento internacional).
- Con el apoyo de la Comisión de Estudios de Postgrado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela.

<sup>20</sup> El Plomo respirado o ingestado puede producir afección en el sistema reproductor, el tracto intestinal, sangre, sistema nervioso central y riñón, dando lugar a cólicos saturnino, anemia, parálisis muscular y retardo mental en los niños.

<sup>21</sup> La empresa BASF ésta comenzando a producir poliestireno expandido libre de CFCs.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BuildingGreen. Greenspec Directory: Product Listings & Guideline Specifications, 5<sup>th</sup>. Edition. Vermont 2005.

Bravo, Gaudy; González, Eduardo; González, Rosalinda; Perez, Lesvia; Rojas, Axa; Gallardo, Magalis; Tsoí, Elizabeth. "Dos estrategias de diseño en la VPB-1: análisis de condiciones de confort térmico". XXVII Semana Nacional de Energía Solar, 6 al 10 de Octubre de 2006, Chihuahua, México.

Canadian Center for Occupational Health and Safety CCOHS de Canadá. <http://www.ccohs.ca>

DataLaing "MAPREX". Sistema de Control de Obra: Sistematización de análisis de precios, presupuestos y valuaciones, Caracas, Venezuela, 2007.

Dirección General de Arquitectura y Vivienda, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Normas Básicas de la Edificación NBE-MV 101-1962. Acciones en la Edificación. España, 1979.

García Martínez, Antonio. "Materiales y productos ecoeficientes: El problema tóxico". VII Jornadas de Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales. Madrid, 19 de Mayo del 2003. ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid.

González, E. Machado, M.V. Rodríguez, L. León, G. Soto, M.P. y Almas, N. "Una vivienda urbana sustentable para familias de bajos recursos en clima tropical húmedo" COTEDI 2000. 21-23p; Junio, Maracaibo, Venezuela.

González, Eduardo; Rojas, Axa; Bravo, Gaudy; Gallardo, Magalis; González, Rosalinda; Perez, Lesvia; Tsoí, Elizabeth; Falcón, Rafael. "Desempeño térmico de la VBP-1: temperaturas características, factor decremental y retraso térmico". XXVII Semana Nacional de Energía Solar, 6 al 10 de Octubre de 2006, Chihuahua, México.

Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT de España. <http://www.insht.es>

Huete Fuentes, Ricardo. "Aproximación a un Proyecto de Construcción Ecoeficiente" Dto. Construcciones Arquitectónicas I, ETSA, Universidad de Sevilla, España, 2001.

Huete Fuertes, Ricardo; Blandón González, Begoña. "Algunas cuestiones medioambientales relacionadas con el PVC en los elementos constructivos". VI Jornadas Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales. Madrid, 21 de Noviembre del 2000. ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid

Huete, Ricardo; López, José Antonio; Llatas, Carmen; Conradi, Esperanza; Blandón, Begoña; García, Antonio; García, Mercedes. "Criterios ecoeficientes para la especificación de productos de construcción". VII Jornadas de Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales. Madrid, 19 de Mayo del 2003. ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid.

Huete Fuerte, Ricardo; Conradi Galnares, Esperanza; Mercader Poyano, Pilar. "Análisis medioambiental de la calidad de los proyectos de viviendas: Gestión ecoeficiente de recursos". 1ras Jornadas de Investigación en Construcción. Madrid, del 2 al 4 de Junio de 2005. Actas de Jornadas, Tomo II, Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja" y Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



LLatas Olivier, Carmen. Residuos generados en la construcción de viviendas. Propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tutor: Dr. Ricardo Huete Fuertes. Tesis Doctoral, Dto. de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSA, Universidad de Sevilla. Sevilla, España, 2000.

Spiegel, Ross; Meadows, Dru. Green Building Materials: A guide to product selection and specification. John Wiley & Sons Inc. New York, 1999.

United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>.