

## **MARCOS DE ACERO PREFABRICADOS COMO SISTEMA ESTRUCTURAL PARA VIVIENDA.**

Ana Teresa Marrero

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *marreroat@yahoo.com.ve*

### **RESUMEN**

Esta ponencia muestra algunos avances en el desarrollo de un sistema de estructura modular de acero para viviendas de bajo costo, respondiendo a las necesidades de vivienda masiva y aprovechando la capacidad instalada de la industria de acero. Viene dado por la cantidad de posibilidades que nos brindan las estructuras de marco de acero para desarrollar sistemas constructivos sostenibles, en este caso, para viviendas de uno ó dos pisos. Se presenta como continuación de un trabajo previo desarrollado por el autor para alojamientos de emergencia, de donde es tomado el concepto estructural “cerchas visitables”. En el caso actual, luego de la revisión de antecedentes y del análisis de los resultados arrojados en la producción del sistema, se introducen modificaciones respondiendo al uso, y se diseñan los nuevos componentes estructurales prefabricados bajo el principio de optimización de materiales y componentes, y reducción de desperdicios, entre otros; desarrollando las uniones y la concepción estructural del sistema para un módulo, finalmente se muestran ejemplos espaciales, con características de flexibilidad, versatilidad y progresividad. Como resultado se obtiene una propuesta inicial del sistema con sus elementos esenciales.

**Palabras clave:** Sistema modular, Acero, Vivienda, Marcos estructurales prefabricados.

### **INTRODUCCIÓN**

La idea de continuar desarrollando estructuras de Marco de acero, como la que se presenta en este trabajo, viene dada por las posibilidades que nos brindan estas estructuras, para desarrollar sistemas constructivos sostenibles, en este caso dentro de planteamientos de viviendas y conjuntos de viviendas de uno ó dos pisos.

Las estructuras de Marco de acero, a diferencia de otras, son estructuras necesariamente de elementos prefabricados, que implican procesos de construcción más eficientes, mayor rapidez de construcción, estabilidad estructural y seguridad, entre otras muchas ventajas.

El acero en general, y la elección del tubular de acero estructural de bajas dimensiones en particular, dentro de este sistema, permite dar respuestas, a problemas de rapidez de producción dada la capacidad instalada de la industria (Unicon, 2012), y la posibilidad de masividad en la producción. Además, con nuevas estrategias de producción de componentes de Marco (Marrero, 2012) se puede optimizar tanto el diseño como los procesos de producción de los marcos en los talleres metalmecánicos, introduciendo una adecuada organización y logrando la optimización de las operaciones, ayudado entre otros por la creación de matrices de producción, con lo cual se logran altos niveles de precisión en el

diseño y rapidez en la producción, sin necesidad de incorporar personal de alta calificación, obteniendo altos rendimientos y garantizando la calidad y la rapidez en el posterior montaje en obra, así como la minimización de los riesgos y del deterioro de la obra, traduciéndose todo esto, en economía.

El concepto estructural “cerchas visitables” se toma de una investigación hecha por el autor con anterioridad producto de una tesis de maestría, para alojamientos temporales, (Marrero, 2006). Estas estructuras de marcos de acero a manera de cercha cumplen una doble función, además de la estructural, los “vanos” de la cercha poseen dimensiones tales, que pueden ser atravesados por las personas usuarios de las viviendas y los cordones y montantes sirven de apoyo a los cerramientos adaptándose además a varios tipos. El esfuerzo va encaminado también a lograr una estructura que permita la versatilidad espacial y adaptabilidad a nuevos requisitos funcionales y estilos de vida. Además por tratarse de una estructura relativamente liviana, las fundaciones apoyos de la cercha son más reducidas, lo que permite preservar el suelo, efectuar menos movimientos de tierra, y hasta la superposición, logrando la adaptación a terrenos con requerimientos de intervención mínima.

Cabe recordar que en la fase final de la vida útil de las estructuras metálicas, gracias a ciertas características es posible desmantelarlas al no ser utilizadas, y proceder a su reconstrucción en otros lugares, Además, si el destino final fuese la demolición, podría procederse al reciclaje del acero (el acero puede ser reciclado innumerables veces sin perder sus propiedades), contribuyendo, también en eso, a la minimización del consumo de recursos naturales y a la maximización de la reutilización de esos mismos recursos. (Gervasio, )

Estas consideraciones y las que tienen que ver con lineamientos como racionalización de materiales y optimización de componentes, el mínimo desperdicio, entre otros, son indispensables a ser tomadas en cuenta para este sistema estructural modular, destinado a la construcción de viviendas de bajo costo. Atender a los principios para la construcción sostenible (Acosta y Cilento, 2005) de forma integral es una constante en el diseño del sistema.

## **DESARROLLO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**

### **1. Modificaciones básicas para el Sistema.**

Como se expresó con anterioridad, la investigación para alojamientos de emergencia desarrollada en un trabajo anterior sirvió de punto de partida para el planteamiento de este sistema estructural. A continuación se presentan las principales modificaciones.

El sistema se plantea como estructura tipo caja rígida. Los marcos diseñados a manera de cerchas son elaborados con tubulares de acero estructural de bajo espesor (diferenciándose de los componentes de carpintería metálica diseñados para los alojamientos temporales). Se utiliza también una nueva modulación, pasando de módulo de trabajo de 1 metro x 1 metro a módulo de .90 x .90, que favorece no solo al uso vivienda, sino al logro del mínimo desperdicio en el corte de los tubos estructurales al momento de la producción de los componentes en taller, por las dimensiones en que se encuentran los tubulares en el mercado

(los de carpintería metálica de largo 6 metros y los estructurales de 12 metros), Figuras 1 y 2.

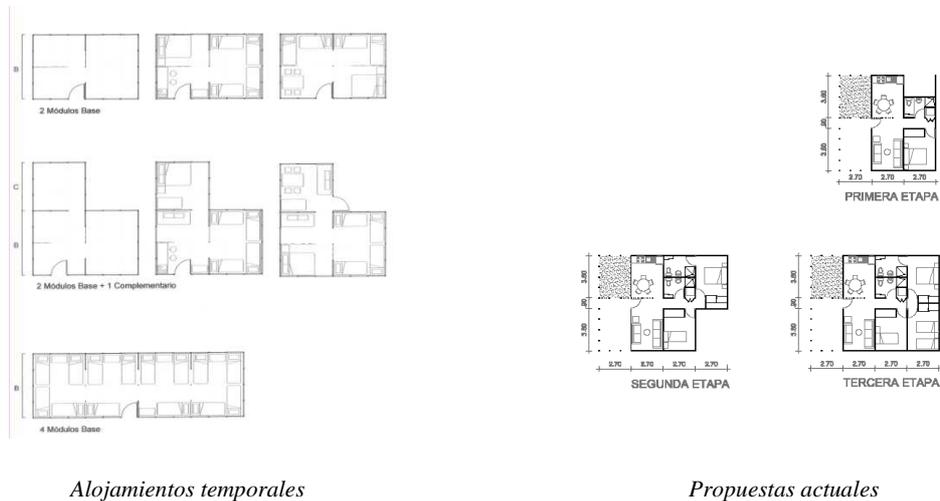


Figura 1: De modulación 1x1 m a .90 x.90 m.



*Marcos de tubular carpintería metálica para alojamientos temporales*

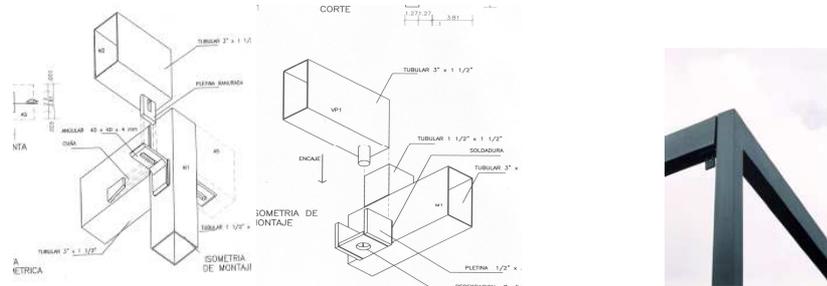


*Marcos con tubulares acero estructural*

Figura 2: De tubular de carpintería metálica a tubular de acero estructural.

La unión planteada es apernada. Se elimina la unión por cuña de los alojamientos temporales, y se deja abierta la posibilidad de la unión por soldadura (solo para edificaciones de una planta, En todo caso se mantienen ciertos elementos de encaje tipo andamiaje en su mayoría iguales a los de los alojamientos para la estabilidad en el montaje de los componentes, También se pasa de una propuesta de cerramientos livianos de vida útil muy corta, a planteamientos de cerramientos permanentes, con paneles prefabricados de concreto aligerado. Este tipo de concreto está conformado por millones de micro burbujas o células que se obtienen de agregados de origen sintético; constituye una mezcla compuesta de

mortero de agua y cemento con una espuma conformada por fibras animales y vegetales, denominado concreto espumoso concrecel. Figuras 3 y 4.



*Uniones por cuña. Alojamiento . temporales*

*Unión manteniendo encaje temporal*

Figura 3: De uniones acunadas a uniones con pernos. Opción adicional de encaje y soldadura para edificaciones de una planta



*Cerramientos livianos temporales*

*Cerramientos de concreto aligerado*

Figura 4: De cerramientos ligeros de corta vida útil a cerramientos permanentes.

## 2. Planteamiento general del sistema.

### 2.1. Descripción

Se llega entonces a un sistema estructural de componentes de marcos de tubulares de acero estructural (ME1, ME2, ME3) elaborados previamente en talleres metalmecánicos, que se ensamblan entre sí en obra, por medio de uniones principalmente a base de pernos. Se mantienen también algunos elementos de encaje tipo andamiaje para la estabilidad de los componentes en el montaje en obra, y se adiciona la posibilidad de la unión soldada (solo para edificaciones de una planta). Figura 5 y 6.

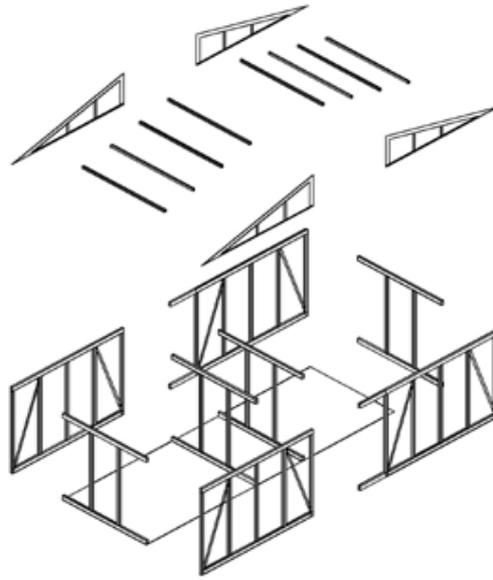


Figura 5: Componentes del sistema. Estructura Módulo base.



Figura 6: Ejemplo de un componente Marco. Montaje . F: Ana Marrero

El diseño de la estructura se ha realizado con un nivel de racionalidad y eficiencia estructural que permite, con secciones muy pequeñas de los elementos que componen los marcos, tener la suficiente rigidez, estabilidad y resistencia para soportar las condiciones de trabajo a que estará sometida. Aun cuando se utiliza acero estructural, el peso de los componentes estructurales es bajo, siendo de solo 129 kilogramos para el elemento más pesado, ver Tabla 1, esto hace que la manipulación y el montaje en obra sean sencillos y rápidos y de forma manual.

Tabla 1: Peso de los componentes principales

<i>Marcos Principales</i>	<i>Peso</i>
Marco ME1	118 Kg
Marco ME2	129 Kg
Marco ME3	91 Kg

Las dimensiones de todo el módulo se estudiaron para lograr no generar desperdicio en los cortes de los tubulares de sección cuadrada y de sección rectangular, de largo 12 metros.

## 2.2 Módulo base estructural

### 2.2.1 Conformación del módulo base estructural.

El módulo base estructural 3.60 x 2.70 m, dentro de una modulación de trabajo de .90 x .90, se obtiene de combinar cuatro marcos estructurales tipo cercha, hechos con tubulares de acero estructural, dos principales ME1 de 3,60 metros de largo, y dos secundarios ME3 de 2,70 m de longitud, la altura libre de los elementos verticales del marco es de 2,40 m. y 2,501 el total de la pared del marco.

El sistema permite agregar al Marco principal ME1, el Marco principal M2 en la misma dirección logrando aumentar la dimensión de la cercha y permitiendo que los marcos secundarios ME3 puedan cambiar en número y posición (un módulo .90 m, hacia adelante ó hacia atrás) logrando flexibilidad espacial interna, presencia de patios en las agrupaciones y de entrantes y salientes en fachada, Además estos marcos concentran cuando es necesario las “paredes húmedas” correspondientes a cocina y sanitarios, para más adaptación a nivel de diseño. Figura 7.

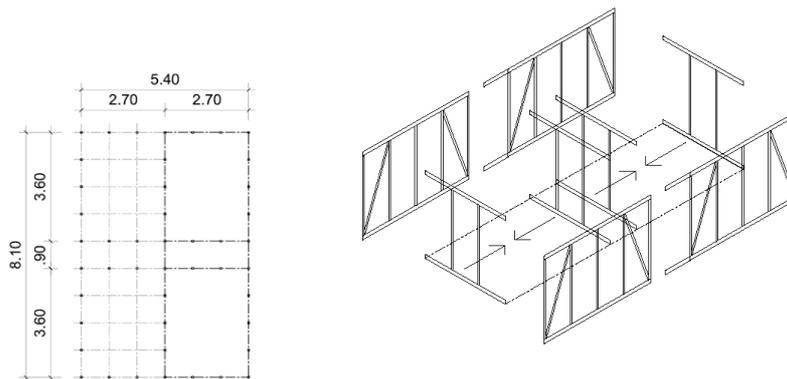


Figura 7: Modulación. Módulo estructural

Todos los marcos de acero están conformados por tubulares de acero estructural, en este caso de la marca Unicon, sin embargo otros productos del mercado con características similares pueden ser empleados en igualdad de condiciones, los tubulares son cortados y soldados para conformar los marcos en taller con plantillas diseñadas para tal fin, a través de un rápido y fácil proceso de producción, lográndose a su vez seguridad, rapidez y sencillez en las posteriores operaciones de montaje. Para la optimización en el diseño de los componentes se tomó en cuenta el análisis de la producción (Marrero, 2012). Allí se pudo definir, con claridad, los requerimientos en materiales, mano de obra y equipos para la producción, en tanto que se estudió cada una de las operaciones detalladas que se debieron realizar, en los talleres escogidos para esto. Utilizando la experiencia de los operarios y realizando mediciones reiteradas de cada operación, se pudo determinar el tiempo requerido para realizar cada actividad y el rendimiento estimado de un proceso donde se produjeran masivamente los componentes del sistema. A partir de aquí se hicieron todos los análisis de rendimiento y costos de cada componente por separado.

### 2.2.2 Conformación de los Marcos

Los marcos portantes tipo cercha poseen los elementos horizontales conformando los cordones superior e inferior (de tubulares de sección rectangular 120x60 mm  $e=2.25$  mm), verticales como montantes ( de tubulares de sección cuadrada: 60x60 mm  $e= 2.25$  mm) y los diagonales en los extremos (de tubulares de sección cuadrada: 60x60 mm  $e= 2.25$  mm). Las uniones entre elementos conforman los nodos de la cercha en los cuales son aplicadas las cargas en su mayoría, esto garantiza un comportamiento estructural muy eficiente. La cercha posee vanos de una altura de 2.40 y ancho .90 que pueden ser atravesados por personas, además la cara externa e interna del marco no posee ningún elemento saliente para facilitar la colocación de cerramientos. Figura 8

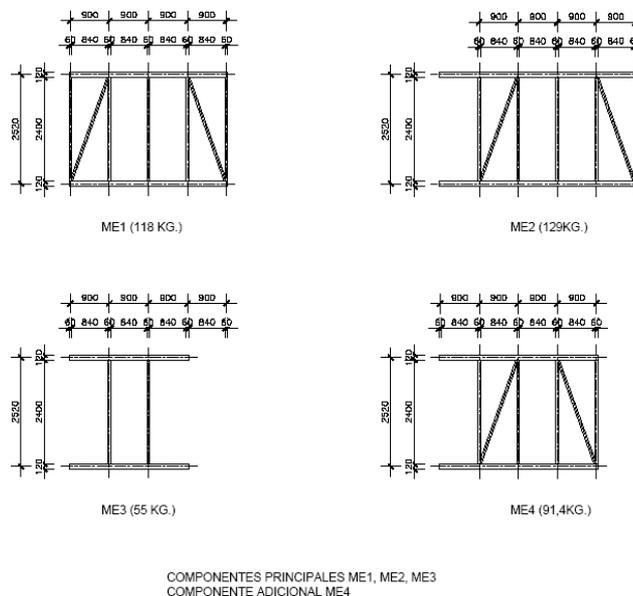


Figura 8: Componentes Marcos ME1, ME2, ME3

Los marcos principales están calculados para soportar el peso de dos módulos adosados, por lo que en el caso de que se agrupen varios módulos por su longitud de 3,60 metros, el componente no se repite, solo tiene que utilizarse un marco ME1 en posición medianera, para soportar dos módulos aledaños, en el crecimiento de la vivienda o la agrupación. Esto sucede también en el módulo estructural complementario con el componente ME2.

### 1.3.3 Estructura de piso y techo. Fundación.

El piso puede estar apoyado directamente en el terreno, también existe la opción de separarlo apoyándose en la estructura, la cual está diseñada para ese fin, contando con casos de terrenos con requerimientos de intervención mínima. Las vigas de piso VP están planteadas de dos angulares de acero estructural soldados en taller con 2.64 m de largo, colocadas a cada .90 coincidiendo con los montantes del marco principal ME1.

El techo se conforma por un sistema de vigas VT, también de tubulares de acero estructural. Cada extremo de la viga tiene un elemento pequeño que baja a 90 ° para encajar en el marco ó en VM y lograr estabilidad en el montaje. La separación de vigas es .90 m coincidente con los paraleles de los Marcos principales. La inclinación se logra con un componente triangular VM elaborado con tubulares, de largo 3,60 cuya parte inferior posee un perfil U invertido para encajar en el cordón superior del Marco principal ME1. Figura 5. El sistema permite la posibilidad de aleros.

En principio, se plantean dos posibilidades de fundación FA1 y FA2. El diseño de la parte de acero preelaborado en taller es similar para los dos casos, Figura 9, ésta consta de pletina con cabillas soldadas en el inferior para posteriormente embutir en una zapata de concreto vaciada en obra, en la versión FA1, o un taco de concreto previamente elaborada en taller en FA2, para terrenos con características de poca intervención. En el saliente superior pequeño de tubular, del elemento metálico de la fundación, encaja la barra de replanteo, para así garantizar un replanteo fácil y rápido. Es allí donde (durante el montaje) encaja el Marco ME1 ó ME2. aprovechando la misma conformación del marco con tubulares montantes de mayor sección. De esta forma los marcos principales quedan estables para recibir los marcos secundarios y proceder a la unión. Figura 10.

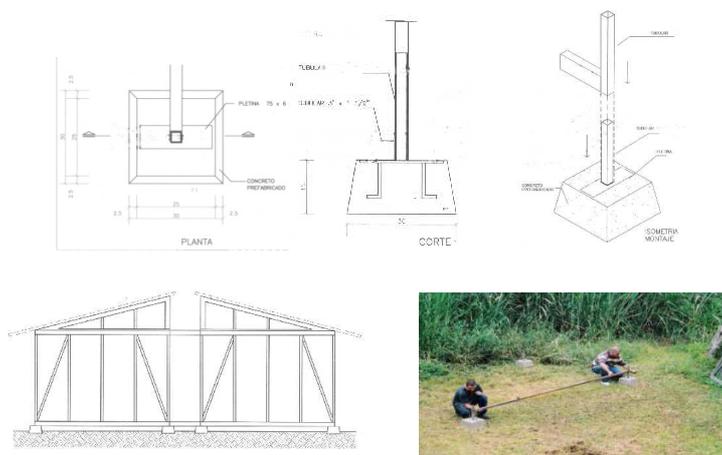


Figura 9: Componente para la fundación. Vara de replanteo.

Finalmente se obtiene una caja rígida y estable que constituye la estructura y a la cual se le añaden posteriormente los cerramientos, las paredes interiores pueden recibir cerramiento igual que lo puede recibir las paredes exteriores.

### 2.3. Conformación de la Vivienda.

La conformación general de la vivienda base con este sistema, dentro de una modulación de diseño de .90 x .90 metros, gira alrededor de la confección de un módulo base (estructural) de base rectangular que mide 3.60 x 2.70 metros (9.72 m<sup>2</sup>), al cual se le adiciona, en su longitud más corta, un módulo complementario estructural de 4.50 x 2.70 metros (12.15 m<sup>2</sup>), obteniendo un par de módulos de 8.10 x 5.40 metros, que unidos o individuales se repiten para el crecimiento de la vivienda, permitiendo concentrar áreas funcionales internas de la vivienda y conformando diferentes distribuciones de espacio y etapas de progresividad de la misma. Figura 11. así como también de agrupaciones. Figura 12 y 13



Figura 11: Ejemplo de Vivienda. Etapas. Progresividad.

Se pueden generar también otros diseños con espacios internos de diferentes tamaños, al poder variar el componente Marco secundario ME3 en número (3 ó 4 componentes por módulo estructural) y ubicación (desplazándose un módulo de .90 hacia atrás ó hacia adelante) Figura 7. Las paredes de los Marcos pueden albergar las instalaciones sanitarias dependiendo del diseño de cerramiento, en esta propuesta se eligieron las paredes del Marco ME3.

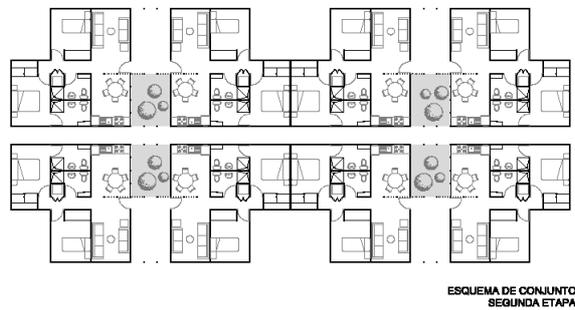


Figura 12: Agrupación AG2.-2E

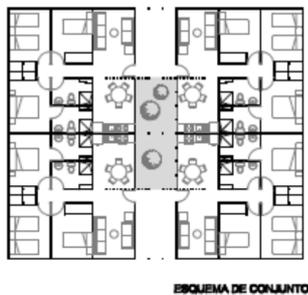


Figura 13: Agrupación AG4-3E.

Para lograr otro tipo de espacios y agrupaciones se puede combinar el módulo base rectangular 3.60 x 2.70 metros (9.72 m<sup>2</sup>) con uno cuadrado 3.60 x 3.60, para esto se utiliza un Marco adicional ME4; ésta combinación de módulos base rectangulares y módulos cuadrados permite cubrir prácticamente cualquier variante de área.

En general, la versatilidad del sistema puede permitir construir viviendas para familias de diferentes tamaños.

## CONCLUSIONES

La utilización de tubulares de acero en forma de marcos o cerchas, resulta una solución para viviendas de uno a dos pisos. Con elementos y componentes de muy poca sección se logra una estructura sólida, segura, ligera y relativamente económica.

Las características formales de los marcos, permitieron generar espacios ortogonales muy aprovechables funcionalmente y el diseño, evitando elementos sobresalientes en sus caras, permitió contar con fachadas propicias para la colocación de cerramientos.

La decisión de fabricar los marcos con equipos sencillos en talleres abundantes en el país, además con matrices de producción, y llevarlos elaborados a obra, es positiva, se garantizan altos rendimientos de producción y montaje.

Aún cuando la tecnología planteada (con paralelos verticales cada 0.90 m y presencia de diagonales) podría parecer muy limitativa, con las configuraciones propuestas en principio se logró versatilidad espacial para el uso vivienda económica, aprovechamiento de espacio y respuestas satisfactorias en cuanto a progresividad y posibilidades de agrupaciones.

La configuración de los marcos, tipo cercha, con la posibilidad de pocos elementos de apoyo, permite ser implantada en terrenos con requerimientos de mínima intervención.

Este avance de la investigación, plantea la necesidad de seguir trabajando los Marcos para la creación del segundo piso, y el diseño de cerramientos.

## REFERENCIAS

Acosta, D. y Cilento, A. (2005). **Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo.** *Tecnología y Construcción*, 21(I), 15-30.

**Gervasio, H.** **La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas.** en: Construcción Metálica en América, Revista Acero Latinoamericano. Extraído el 6 de abril del 2012 de <http://www.construccionenacero.com/Paginas/ArticulosyPublicaciones-Revista.aspx>

**HRT Osers, Ingenieros. (2012). Guía de costos de construcción. Extraído en Febrero de 2008 de <http://www.grc.com.ve>.**

Marrero, A. (2006). *Sistema constructivo a base de tubulares de acero para alojamientos de emergencia.* (Tesis de Maestría) Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Marrero, A. (2012). Sistema de Estructura de Acero para Vivienda. Aspectos de la producción. *En XXX Jornadas de Investigación del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. IDEC 2012. Memorias. Ediciones FAU-UCV, 2012.* Caracas

Unicon. (2011) Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares. Caracas, Industrias Unicon C.A.

Unicon. (2012) Tubos estructurales conducen ECO Folleto institucional. Caracas, Industrias Unicon.