

# **Análisis comparativo de residuos de construcción generados en un mismo modelo de vivienda con sistema tradicional vs. diseño modular**



# Abstract

In many projects, specially in dwellings construction, the traditional system involves to build with Patarrá blocks and concrete columns; this situation has produce a lot of waste which are not quantified. In response, the modular system of Modublock has been imposed for to reduce waste and optimize materials. This document pretends to make a quantified waste comparative analysis in the same dwelling model, one of the traditional system, and the other with modular system of Modublock. The economical and environmental impact was also determinated.

Field measurements were made in Verolís residential project, located in Heredia. Wastes quantified were: steel, concrete, bricklaying mortar, coat mortar and concrete blocks. Even it was evaluated the utilization and durability of reusable plywood phenolic formwork. The concrete is the material that produces more wastes. Modular blocks are wasted by 0,15%, caused by mistakes on transportation, and near 0,90% of Patarrá blocks, caused by mistakes on transportation and settings.

The traditional system involves more time at activities, therefore higher manpower costs about modular system.

For evaluate environmental impact, it was developed an ecological footprint matrix in both systems, in order to determinate the required earth surface to produce construction materials, and the necessary area for waste.

Keywords: modular coordination, plywood phenolic formwork, construction waste

# Resumen

En muchos proyectos de construcción, en particular de viviendas, el uso del sistema de mampostería tradicional, que implica normalmente utilizar el bloque Patarrá y la construcción de columnas de concreto, ha generado gran número de residuos, los cuales no se cuantifican. Ante esto el sistema modular de Modublock se ha impuesto con el fin de disminuir los residuos y optimizar el uso de materiales. Por esta razón se realizó un análisis comparativo de los residuos que se generan en un mismo modelo de vivienda, con sistema tradicional y con el sistema modular Modublock, de tal forma que no sólo se cuantifiquen, sino que se determine el impacto económico y ambiental.

Se hicieron mediciones de campo de las viviendas en el proyecto residencial Verolís, ubicado en Heredia. Los residuos medidos fueron: acero de refuerzo, concreto, mortero de pega de bloques, mortero de repello y bloques. Además se evaluó la utilización y durabilidad de la formaleta fenólica, la cual es reutilizable. El material que genera más residuos, respecto a los otros materiales, es el concreto. Los bloques modulares se desperdician en un 0,15%, debido a mal manejo, y casi en un 0,90% los bloques Patarrá, debido tanto a mal manejo como a ajustes.

El sistema tradicional implica mayores tiempos de ejecución en las actividades y, por lo tanto, mayor costo en la mano de obra gris, con respecto al sistema modular de Modublock.

Para evaluar el impacto ambiental se elaboró una matriz de huella ecológica en ambos sistemas, con el fin de determinar cuánta superficie de terreno es necesaria para producir los insumos requeridos para la construcción de cada vivienda, así como el área necesaria para disponer los residuos que se generan durante esta actividad. Palabras clave: coordinación modular, formaleta fenólica, residuos de construcción

# **Análisis comparativo de residuos de construcción generados en un mismo modelo de vivienda con sistema tradicional vs. diseño modular**

# **Análisis comparativo de residuos de construcción generados en un mismo modelo de vivienda con sistema tradicional vs. diseño modular**



CLAUDIO QUIRÓS MARTÍNEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
MARCO TEÓRICO.....	3
INTRODUCCIÓN .....	14
METODOLOGÍA.....	15
RESULTADOS.....	17
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	29
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	34
APÉNDICES .....	35
ANEXOS .....	40
REFERENCIAS.....	41



# Prefacio

Dado que en la mayoría de proyectos de construcción, en especial viviendas unifamiliares, se utiliza el sistema tradicional con bloques de concreto tipo Patarrá, se han observado dos problemas: el primero es que no existe, durante la etapa de diseño y planeamiento de la obra, una logística o método para modular los bloques de tal forma que se minimice el desperdicio; y el otro, es el relacionado con la cuantificación de los residuos generados, no sólo por bloques sino también de otros materiales como formaleta, mortero, varilla y concreto. Es por esta razón que surge la necesidad de medir esos residuos y hacer un análisis comparativo entre este sistema y el de bloques modulares, en particular con el sistema Modublock.

Esta comparación abarca además el impacto económico y ambiental que tienen dichos sistemas y los residuos generados.

El presente informe, por tanto, tiene como objetivo ejecutar este análisis con dos viviendas iguales de un piso, una construida con el sistema modular (Modublock) y la otra con el sistema tradicional con bloque Patarrá. Ambas ubicadas en un proyecto residencial.

Se agradece a los ingenieros Roy Mata y Jorge Burgos de la empresa Fomento Urbano S.A, el facilitar el acceso al Proyecto Residencial Verolís para la obtención de los datos; al Ing. Hugo Chaverri por proporcionar información acerca del sistema Modublock. Finalmente a la Ing. Ana Grettel Leandro por las sugerencias y comentarios relacionados con el desarrollo del informe y el aporte de sus conocimientos en materia de manejo de desechos en la construcción.

# Resumen Ejecutivo

En muchos proyectos de construcción de viviendas se ha observado que el uso del bloque Patarrá y la construcción de columnas de concreto para confinamiento de las paredes (monchetas), aparte de otros materiales, han generado gran cantidad de residuos, durante la etapa de obra gris; especialmente en el sistema tradicional. Ante esta situación, el sistema modular, en este caso Modublock, se ha impuesto con el fin de optimizar el uso de los materiales y disminuir los residuos, al utilizar bloques adecuados a las dimensiones de pared y sin necesidad de construir monchetas.

Ante este panorama, las empresas Fomento Urbano S.A y CONCREPAL se interesaron en ver cuántos residuos se generan entre un sistema y otro, y cuál es su impacto en los costos y en el ambiente.

Este estudio se logró realizando mediciones de campo en el proyecto residencial Verolís, ubicado en la provincia de Heredia, y tomando como muestra dos viviendas de 74 m<sup>2</sup>, una construida con el sistema Modublock, que es desarrollado por CONCREPAL, y la otra con el sistema tradicional. De tal forma que no sólo se cuantificaran los bloques que se quebraban y sus causas, sino que también los residuos de concreto, mortero de pega de bloques, mortero de repello y acero de refuerzo. Respecto a la formaleta, se usó la del tipo fenólica, que es reutilizable, por lo cual se evaluó su aplicación en las dos viviendas y así establecer las razones del aumento o reducción de su durabilidad.

Como condiciones iniciales en ambas viviendas, el acero de refuerzo, el mortero de pega de bloques y de repello, y la formaleta tienen las mismas características. Además las cuadrillas de trabajo según la actividad son las mismas.

Los resultados obtenidos en este análisis señalaron que en la gran mayoría de los materiales antes especificados, se generan más residuos en el sistema tradicional que en el modular, siendo el que genera más residuos el

concreto. Casi el 0,90% de los bloques Patarrá se desechó debido a mal manejo y ajustes necesarios en las paredes, mientras que el 0,15% de los bloques modulares se desperdiciaron sólo por mala manipulación. Respecto a la formaleta fenólica, se dieron acciones inadecuadas en cuanto al almacenamiento y manejo de los paneles, lo cual contribuyó a disminuir la durabilidad de la misma y, por lo tanto, la cantidad de usos; esto produjo residuos de formaleta y aumento en los costos. Además se establecieron las causas de la generación de residuos en el resto de materiales.

Como parte de la comparación, desde el punto de vista de los costos, los de los materiales por m<sup>2</sup> en el sistema modular fueron mayores que en el tradicional; sin embargo, la diferencia fue relativamente pequeña. Los costos de mano de obra por m<sup>2</sup> ocurren al contrario, ya que en el sistema tradicional se invirtió más cantidad de tiempo debido a la construcción de las monchetas.

Finalmente, para evaluar el impacto ambiental que implica el uso de cada sistema constructivo y de los residuos que genera cada uno, se elaboró una matriz de huella ecológica, la cual tiene como objetivo determinar cuánta superficie de terreno es necesaria para producir los insumos requeridos para la construcción de cada vivienda, así como el área disponible para los residuos que se generan durante esta actividad. Se establecieron tres superficies relevantes para este análisis: el terreno donde se construyen las viviendas, la superficie de extracción de agregados para llevar a cabo la producción del concreto, bloques y morteros, y el sitio para los residuos.

# Marco teórico

## Glosario de términos

**Coordinación modular:** Método práctico y coherente para coordinación posicional y dimensional de productos, componentes, elementos y espacios en el diseño de edificios.

**Bloque modular:** Pieza individual de concreto de una a tres cavidades, en donde su ancho es múltiplo de su longitud, lo que permite tener juntas adecuadas en las esquinas de pared, sin necesidad de segmentar el bloque.

**Bloque Patarrá:** Pieza individual de concreto de dos o tres cavidades, en donde su ancho no es múltiplo de su longitud, lo que no permite tener juntas adecuadas en las esquinas de pared.

**Formaleta fenólica:** Estructura que sirve de molde a una estructura de concreto, elaborada con madera contrachapada con una película fenólica, y que puede ser reutilizada varias veces.

**Lean Construction:** Filosofía basada en los conceptos de producción de Toyota y centrada en la reducción de los desperdicios a lo largo del proceso constructivo.

**Producción Más Limpia:** Es una estrategia preventiva integrada que se aplica a los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente.

**Huella ecológica:** Es el área de territorio ecológicamente productivo necesaria para producir los recursos utilizados y asimilar los residuos producidos.

El concepto de coordinación modular aplicada a la mampostería en Costa Rica, según señala el Ing. Hugo Chaverri, tiene sus orígenes a

principios de la década de los años 90 con las investigaciones de los Arq. Munch-Petersen y Rodríguez, expertos en coordinación modular, quienes realizaron varios estudios para adaptar los bloques que se producían en nuestro medio a los principios de modulación.

La coordinación modular busca proveer un método práctico y coherente para coordinación posicional y dimensional de productos, componentes, elementos y espacios en el diseño de edificaciones. Proporciona un mecanismo para simplificar la toma de decisiones y dimensiones de la construcción (Rodríguez, 1994).

El principio de coordinación modular, a diferencia del sistema tradicional de construcción con el bloque Patarrá, permite la compatibilidad de los distintos materiales que se emplean en el proceso constructivo, reduciendo la necesidad de realizar cortes en las unidades de mampostería con el subsecuente desperdicio de materiales y tiempo, aspecto que es más común en el diseño tradicional.

Si en caso de que en un proyecto constructivo fuere necesario el uso del bloque Patarrá, se puede recomendar la aplicación de algunos conceptos que maneja la filosofía de "Lean Construction", la cual busca reducir desperdicios.

Por otra parte, es necesario el estudio del manejo y gestión de los residuos propios de la obra constructiva, lo que se podría llevar a cabo con el análisis de huella ecológica y aplicando aspectos de la Producción Más Limpia.

## Sistema constructivo Modublock

Este sistema, desarrollado por CONCREPAL, permite la construcción de estructuras en mampostería reforzada haciendo uso del concepto de Coordinación Modular, en el cual se

reducen en gran medida los tiempos de ejecución y la cantidad de desperdicios se lleva a un mínimo nivel. Por otra parte en la etapa de diseño se determina la cantidad de materiales requeridos con mucha exactitud. Este sistema puede utilizarse en edificios de uno a cuatro niveles, suprimiendo la necesidad de columnas de concreto reforzado coladas en sitio, lo que caracteriza la mampostería integral.

El sistema Modublock consta de tres tipos de unidades de block con tres diferentes dimensiones (15 cm, 30 cm y 45 cm), según se detalla en la figura 1; con una resistencia a la compresión superior a 133 kg/cm<sup>2</sup>. Cualquier pared se puede construir haciendo una modulación con estas unidades de bloques, de tal forma que no se tenga que hacer cortes innecesarios y se envía al proyecto la cantidad de piezas en forma exacta más un porcentaje adicional por alguna variación.

Por otra parte dicho sistema incluye todo el acero de refuerzo de las paredes cortado y doblado, además de las armaduras de cimientos, vigas de entepiso y vigas corona.

El diseño modular se realiza mediante el sistema de modulación a bordes, que consiste en ubicar una cara de los componentes de las paredes en una cuadrícula modular de 3Mx3M, donde M corresponde a un módulo básico que equivale a 100 mm en el Sistema Internacional, como lo establece la norma INTE/ISO 1006-2007. Las aberturas de puertas y ventanas se hacen en múltiplos de 3M, donde la dimensión típica para puertas es 9M, es decir, 90 cm; en el caso de las ventanas sería en dimensiones de 6M, 9M y 12M.

Adaptadas las dimensiones en planta, se inicia con la modulación con base en unidades de bloque de 45 cm en toda la longitud de la pared; en los espacios donde no encaja esta pieza, se coloca alguno de los dos complementos de 30 cm o 15 cm, de acuerdo con el espacio disponible. De esta forma se irán levantando las paredes sin necesidad de destruir bloques para hacer el ajuste, además permite alojar el acero de refuerzo dentro de las celdas sin necesidad de grifar las varillas.



Figura 1. Tipos de bloques del sistema Modublock. Fuente: Manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock.

## Recomendaciones para construir con el sistema Modublock

Para resultados adecuados, el manual para la construcción de edificaciones con este sistema, señala algunas recomendaciones de acuerdo con la actividad.

### Nivelación

Se debe limpiar el terreno, de manera que se encuentre libre de tierra vegetal y escombros. El nivel del terreno debe ser plano. Cabe destacar que con el sistema Modublock la edificación no necesariamente debe tener el mismo nivel de piso terminado, ya que puede haber desniveles o gradas entre diferentes aposentos, según la particularidad de cada proyecto.

### Trazo

Según el Manual para la construcción de edificaciones de Modublock, se confeccionan yuguetas y niveletas con piezas de madera de 1"x3", esto para hacer el trazado de las paredes. A cada niveleta se le colocan cuatro clavos, dos de ellos corresponden al ancho de la zanja (40 cm) y los otros dos al ancho de la pared (15 cm). Alternativamente a las yuguetas se podrían utilizar piezas residuales de varilla #3 o varilla #4.

### Zanjeo

Realizado el trazo, se procede a excavar la zanja para alojar el cemento y las dos primeras hiladas de bloques que irían enterradas. Según sea el número de niveles de la edificación y condiciones

del terreno, se disponen diferentes tipos de armaduras: para edificaciones de un nivel generalmente se utiliza una armadura de 10 cm de altura por 35 cm de ancho, de tal forma que la placa de cimentación quedará mínimo de 20 cm de alto por 40 cm de ancho; esta es el tipo de armadura que rige en la vivienda modulada que está en estudio y se muestra en la figura 2. Para el caso de las edificaciones de dos niveles, se utiliza una armadura de 10 cm de altura y 45 cm de ancho, de manera que la placa de cimentación tendrá dimensiones mínimas de 20 cm de altura por 50 cm de ancho.

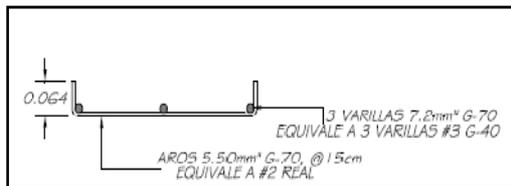


Figura 2. Detalle de la armadura de cimentación para vivienda modulada de un nivel. Fuente: Manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock.

## Colocación de armaduras del cemento

Las armaduras suministradas se encuentran previamente moduladas para que, si se colocan de forma adecuada, los aros coincidan con las celdas de los bloques donde se va a colocar el refuerzo vertical. La separación de los aros es @15 cm, que concuerdan con la separación entre varillas verticales, las cuales se colocan en múltiplos de 15 cm; para el caso particular de la vivienda en estudio fue de 60 cm.

Las armaduras se entregan en secciones de 6 m y se deben traslapar a una longitud de 45 cm. Además en las esquinas y cruces de paredes, igualmente se traslapan y se anclan con un gancho estándar (gancho a 90 grados).

## Colocación del acero de refuerzo

Justo antes de colocar el concreto de la placa corrida, se coloca el acero vertical de las paredes, utilizando varilla #3 @60 cm, tres varillas en cada esquina y cuatro en cada intersección en "T". Para los buques de puertas y ventanas se debe

colocar dos varillas #3 o una #4 en las celdas justo antes de empezar la abertura.

El acero horizontal consta de una varilla del mismo calibre cada tres hiladas verticales o menos, de acuerdo con lo indicado en los planos de taller. Adicionalmente se deben colocar ganchos en cada esquina o cruce de pared en todas las hiladas donde están las varillas horizontales, como se indica en la figura 3. Estos ganchos también se adaptan al concepto de coordinación modular, ya que se envían al proyecto, cortados y doblados con el anclaje correcto, según señala el Código Sísmico de Costa Rica.

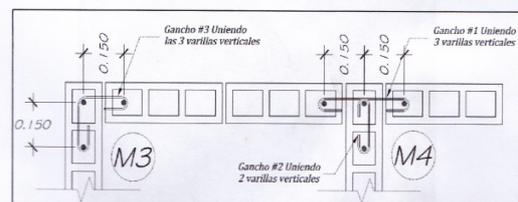


Figura 3. Colocación de ganchos de refuerzo en esquina y cruce de pared. Fuente: Manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock.

## Colocación de concreto en cimientos

Luego de la colocación y revisión del acero de refuerzo vertical, se coloca una capa de al menos 5 cm de concreto pobre.

Una vez colocado este sello, se sitúan los denominados helados de concreto, los cuales se amarran a la armadura del cemento, esto para dejar el recubrimiento de 5 cm. Realizado este procedimiento se coloca el concreto de la placa corrida, el cual debe alcanzar una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

## Levantado de paredes

Debe seguirse una secuencia lógica y ordenada de colocación de los bloques, para no quebrar unidades, usar grandes cantidades de mortero o impedir el traslape adecuado de las unidades. La condición más importante para que las paredes se ajusten a las medidas, es separar las unidades con una sisa de dimensión máxima de 1.5 cm.

Cabe aclarar que en el plano de taller se especifica tanto la modulación de la hilada impar como la par, en planta.

## Viga corona y viga tapichel

Las armaduras de viga corona y viga tapichel deben ir en forma traslapada con una longitud no menor de 15 cm en los cruces de pared y no menor de 35 cm entre empalmes de armaduras. Debe preverse un amarre adecuado de las mismas así como realizar los dobleces de las varillas terminales con un gancho estándar.

Ambas vigas cumplen la función de amarre superior, por lo que no son vigas de carga. El detalle de estas armaduras se muestra en las figuras 4 y 5.

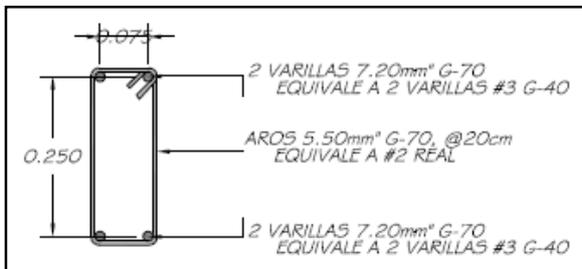


Figura 4. Detalle de la armadura de viga corona. Fuente: Manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock.

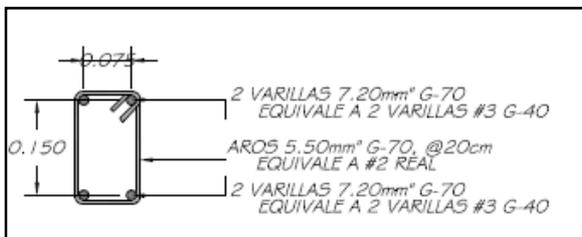


Figura 5. Detalle de la armadura de viga tapichel. Fuente: Manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock.

## Beneficios del sistema modular Modublock

Dentro de los beneficios observados con el uso de la mampostería modular, según el manual para la construcción de edificaciones mediante el uso del sistema Modublock, están:

- Ahorro en el concreto de hasta un 15%.

- Reducción en los tiempos de ejecución de las actividades de construcción.
- Reducción en los costos de almacenamiento.
- Facilita los controles de bodega y se elimina pérdidas de inventario.
- La capacitación de la mano de obra es sencilla y rápida.

Por otra parte, con este sistema durante la ejecución del proyecto los ahorros en desperdicio son los siguientes:

- No existe desperdicio de varillas.
- Eliminación del uso de formaletas.
- Sólo 2% del block se desperdicia, pero por manipulación de las unidades.
- No existen traslapes de acero.

## Recomendaciones para el manejo seguro de las unidades

Según el mismo manual, antes y durante el proceso constructivo con el sistema Modublock, se debe seguir una serie de recomendaciones para evitar daños en las unidades de block.

Al transportar los bloques de concreto, éstos se deben proteger para evitar golpes que ocasionen fisuras y despuntes antes de ser entregados en el sitio de la obra.

Con respecto al almacenamiento de las unidades, debe hacerse sobre un terreno plano y seco, o bien en tarimas que permitan aislarlas de suciedad y humedad. Se recomienda además mantener los bloques secos y a la sombra, preferiblemente tapados con un plástico hasta el momento de su colocación, esto para mantener las buenas características de los mismos. El hecho de que permanezcan secos permite una correcta adherencia entre ellos al momento de la colocación, de manera que absorban la humedad suficiente a través del mortero de pega.

Lo ideal es almacenar los bloques cerca de donde se van a levantar las paredes, con el fin de evitar traslados manuales o en carrito dentro de la obra, los cuales pueden despuntar o quebrar las unidades.

Cuando se manejan bloques individualmente, se recomienda que las estibas no superen una altura de 1.60 metros.

Para cualquier método de acomodo, las hileras deben ser trabadas en los dos sentidos horizontales, para evitar su colapso.

## Sistema tradicional con bloque Patarrá

Este sistema, que es el más utilizado en las construcciones actualmente, permite la construcción de estructuras en mampostería reforzada, pero sin el concepto de Coordinación Modular. Este sistema puede utilizarse en edificios de uno a cuatro niveles, sin embargo, a diferencia del sistema modular, se hace necesaria la construcción de columnas de concreto reforzado, lo que caracteriza la mampostería confinada.

Generalmente en el sistema tradicional se utilizan los bloques Patarrá de dimensiones de ancho nominal de 12 cm, una longitud de 40 cm y una altura de 20 cm. Adicionalmente se fabrican bloques con una variación en su ancho, tanto de 15 cm como de 20 cm. Éstos deben cumplir con las especificaciones de la Norma INTE 06-03-01 para mampostería Clase A, como se indica:

- a. Resistencia a la compresión: promedio de tres o más unidades: 133 kg/cm<sup>2</sup>.
- b. Absorción: 10%
- c. Tolerancia dimensional: las medidas tiene tolerancia de  $\pm 3$  mm.

Por otra parte las materias primas con que se fabrican los bloques Patarrá deben seguir los siguientes lineamientos:

- a. Cemento: conforme a la especificación Reglamento Técnico de Cementos en Costa Rica RTCR 383:2004
- b. Agregados: conforme a la especificación INTE 06-01-02

Los detalles dimensionales de las unidades de block Patarrá se muestran en la figura 6. Cabe señalar que la posibilidad de partir un bloque en dos celdas es más fácil cuando poseen una ranura adicional que permite realizar el corte sin alterar la integridad general de las celdas.

Dimensiones de los bloques PC									
Dimensiones nominales	Altura (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Peso (kg) promedio
12x20x40	190 $\pm$ 2 mm	120 $\pm$ 2 mm	390 $\pm$ 2 mm	260	260	260	230	230	10.9
15x20x40	190 $\pm$ 2 mm	120 $\pm$ 2 mm	390 $\pm$ 2 mm	280	280	280	260	260	13.8
20x20x40	190 $\pm$ 2 mm	120 $\pm$ 2 mm	390 $\pm$ 2 mm	320	320	320	320	320	17.8

En todos los casos, se necesitan 12.5 bloques/m<sup>2</sup> de pared.

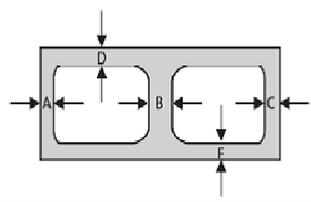


Figura 6. Dimensiones de los bloques Patarrá según la variación en el ancho. Fuente: Catálogo de Mampostería de PC.

Dentro de las recomendaciones para llevar a cabo el proceso constructivo con este sistema, se pueden seguir las mismas que para el sistema modular. Cabe diferenciar que durante la etapa de colocación de acero vertical de las paredes se debe incluir la armadura de las columnas de concreto reforzado. Por otra parte, en el levantado de las paredes primero se hace con las de bloque sólido de mampostería y luego se procede a la construcción de los elementos confinantes, para lo cual se coloca primero la formaleta y después el concreto.

El concreto de relleno normalmente utilizado en este sistema debe ser fluido, con un revenimiento de entre 20 y 25 cm, y cumplir con la resistencia mínima a la compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup>. El tamaño máximo del agregado que se debe utilizar debe ser de 12 mm de diámetro (piedra quintilla).

Las recomendaciones para el manejo seguro de las unidades de bloque Patarrá y su almacenamiento en obra son las mismas que las indicadas para el sistema anterior.

## Uso de mortero de pega de bloques

El mortero de pega debe ser lo suficientemente plástico y los bloques deben ser colocados con la suficiente presión para que el mortero sea expulsado de la junta y se produzca una junta bien ligada. Debe cubrir todo el ancho de las

paredes externas en la mampostería hueca y, en la mampostería sólida todo el espesor.

El mortero debe prepararse a máquina o a mano en una batea de madera. Debe tener la proporción por volumen de una parte de cemento y tres partes de arena. Además las pegas y sisas de los bloques se deben mantener húmedas durante un lapso de siete días como mínimo.

Actualmente en el mercado existen mezclas predosificadas de mortero. Tal es el caso del mortero Impermix® Tipo N de Impersa, el cual consiste en una mezcla de cemento Portland, arenas con granulometría controlada y modificada con polímeros y otros aditivos. Además de aplicarse como adhesivo de bloques de concreto, también lo hace con ladrillo, piedra y enchapes en paredes de mampostería.

Como parte de los datos técnicos del producto se tiene la siguiente información, según Impersa:

- a. Densidad: 2,03 g/ml
- b. Rendimiento: Por saco de 40 kg el producto rinde de 13 a 15 bloques de dimensiones 12x20x40 cm, con una junta de 1.5 cm de espesor
- c. Resistencia al corte: 1,75 n/mm<sup>2</sup>
- d. Resistencia a la tensión: 0,49 n/mm<sup>2</sup>
- e. Resistencia a la compresión (28 días): 70 kg/cm<sup>2</sup>

Las ventajas que ofrece el producto, según fabricante, son las siguientes:

- a. Excelente adherencia
- b. Permite una instalación más rápida de los bloques o ladrillos.
- c. Posee un sistema de fibras sintéticas, lo cual permite que no se agriete o fisure.
- d. No requiere ser curado con agua.
- e. Permite dar un buen acabado a la junta.
- f. Fácil de preparar.

## Uso de mortero de repello

El mortero para repello cumple dos funciones básicas: una es dar acabado final y la otra proteger la vivienda de los agentes climáticos externos.

Para que el mortero tenga un rendimiento adecuado es necesario que cumpla al menos con las siguientes características:

- a. Trabajabilidad, la cual permite que la mezcla sea consistente, es decir, plástica y fluida, de manera que sea fácil su colocación.
- b. Para permitir una adecuada fluidez de la mezcla e hidratación del cemento, es necesario que el mortero sea capaz de retener agua.
- c. Adherencia, la cual permite que el mortero sea capaz de resistir las fuerzas entre éste y la superficie de contacto.

Es común que en los morteros de repello, cuando no cumplen con las exigencias o un control de calidad adecuado, se presenten fisuras o grietas, desprendimientos, pulverizaciones, manchas, entre otros.

Los aspectos que pueden afectar la elaboración del mortero en obra son: la granulometría de la arena, almacenamiento y calidad de las materias primas (arena, cemento, agua, cal), los efectos climáticos durante la aplicación, la dosificación de los componentes, espesor de repello, mano de obra calificada, tiempo de curado, etc.

Para reducir estos problemas, en el mercado se ofrece una amplia gama de morteros predosificados, los cuales permiten un mayor ahorro de tiempo y controles de calidad estandarizados. Tal es el caso del mortero Imperplaster® de Impersa; éste consiste en una mezcla de cemento Portland, arenas con granulometría controlada, está modificado con látex para aumentar su adherencia, fibras sintéticas para evitar las fisuras y otros aditivos.

Como parte de los datos técnicos del producto se tiene la siguiente información, según Impersa:

- a. Densidad: 2,07 g/ml
- b. Rendimiento: Por saco de 40 kg, rinde 2 m<sup>2</sup> en 1 cm de espesor
- c. Resistencia al corte: ASTM 1042 12,9 kg/cm<sup>2</sup>
- d. Resistencia a la tensión: 0,5 n/mm<sup>2</sup>
- e. Resistencia a la compresión (28 días): 130 kg/cm<sup>2</sup>

Las ventajas que ofrece el producto, según fabricante, son las siguientes:

- a. Excelente adherencia
- b. No se agrieta ni fisura

- c. Al tener un 20% de aire incluido, aumenta su rendimiento y disminuye su peso
- d. No requiere curado
- e. Fácil de usar
- f. Excelente acabado
- g. Óptimo desempeño en climas cálidos
- h. Se puede utilizar tanto en interiores como exteriores

## Uso de formaleta fenólica

El uso de formaleta convencional casi siempre es poco reutilizable y productivo, puesto que se utiliza madera de mala calidad. Esto genera gran cantidad de desperdicios en las construcciones, por lo cual en muchas de ellas, y en particular en los proyectos de Fomento Urbano S.A, se ha optado por el uso del sistema de formaleta fenólica, el cual permite un mayor rendimiento, durabilidad, menores costos en relación con la reposición, así como mejores acabados en los elementos.

Este sistema amplifica su rendimiento cuando se usa en la construcción de columnas, muros, vigas y losas, y proyectos repetitivos. En proyectos grandes son rentables, con reusos de hasta 100 veces; la madera, tratándola con el mayor cuidado, sólo se podría utilizar unas tres veces.

El sistema de formaleta fenólica consta de madera revestida en sus caras por una película fenólica, la cual es altamente resistente a la humedad.

Existen dos tipos de madera para formaleta fenólica: la madera contrachapada y la madera de bambú.

## Madera contrachapada

La madera contrachapada está conformada por tres o más capas unidas por una sustancia adhesiva, y colocadas de tal forma que las fibras de la lámina anterior queden perpendiculares con las de la capa siguiente.

Existen diferentes espesores: 7, 9, 12, 15 y 18 mm. Para el uso en formaletas normalmente se recomienda usar calibres entre 12 y 18 mm.

La cantidad de veces que puede ser reutilizada la madera contrachapada con la película fenólica, dependerá del manejo,

manipulación, tratamiento de las superficies y los cantos. En sistemas de formaleta con estructuras de metal (marco o bastión), recubrimientos epóxicos, estructuras pernadas y limpieza y almacenamiento, su vida útil será mayor. Un número de 40 veces por cara es lo mínimo esperado por el proveedor (Rojas, 2008).

## Madera de bambú

La lámina de bambú se construye como un tejido de canasto, con tiras de bambú, las cuales se adhieren con un pegamento y son sometidas a altas presiones.

Existen diferentes espesores de lámina: 10, 12 y 18 mm. El más recomendable es el de 12 mm.

El material es rígido y no necesariamente se debe usar un marco o bastidor. (Rojas, 2008)

## Marco metálico o bastión

Consiste en un marco de metal que permite dar estabilidad y fortaleza a la lámina fenólica; en particular en la madera contrachapada es obligatorio su uso.

Para fijar las láminas al marco metálico se hace uso de tornillos, remaches o pernos. El marco más utilizado es de tubo industrial caliente de 25x25x1.20 mm. Otra alternativa para marco es el construido con angulares, uno de los más utilizados es el de 40x40x3.0 mm. (Rojas, 2008)

## Soportes

Existen dos tipos de soportes para resistir el empuje del concreto fresco sobre las caras de la formaleta: el convencional y con sargentos.

El convencional consiste en alambres negros con varillas en sus extremos, los cuales atraviesan desde una formaleta hasta la que está detrás de ésta. En la medida de lo posible se busca que no se perfora la lámina, pues esto acorta la vida útil; el tipo de lámina más afectado por perforaciones es la de madera contrachapada: con la perforación se permite el ingreso de agua que provoca un hinchamiento que destruye la lámina. Lo ideal es hacer las perforaciones cuando se fabrica el marco.

Los sargentos, por su parte, son herramientas que funcionan para sujetar las formaletas para que soporten la presión ejercida por el concreto, de tal manera que no se tenga que perforar la lámina. Se pueden construir con angulares o tubo industrial. (Rojas, 2008)

## Uso de formaleta en vigas

La viga más común en construcción de viviendas es la que se apoya sobre pared; en este caso aplica para la viga corona y viga tapichel.

“El Manual para uso de Formaleta Fenólica”, de Arturo Rojas, señala dos formas de colocar la formaleta sin ser clavada: una consta de trozos de madera como apoyo, para que soporten el peso de la formaleta, y la otra es a través de un angular sujeto a la estructura o marco de la formaleta con tornillos, el angular se clava a la pared.

## Uso de formaleta en columnas

Según el mismo manual, dentro de las columnas típicas en construcción de viviendas están las rectangulares.

Para colocar la formaleta se debe poner madera en el contrapiso, entepiso o cimiento, sobre el cual se colocará la formaleta y se sujetará con clavos. La unión de los paneles se hace con tuercas. Una vez unidos entre sí, se debe apuntalar la formaleta.

Cuando la formaleta se deba apoyar contra la pared, se puede usar un angular sujeto a su marco para pasar los clavos a través de éste y así quede fija la formaleta.

## Vaciado del concreto y desmontaje de la formaleta

Previo a la colocación del concreto, la superficie de formaleta en contacto con éste debe estar cubierta con desmoldante, el cual impide que el concreto se adhiera a la formaleta. Se debe verificar que el acero de refuerzo sea el indicado. Mientras se coloca el concreto se usa un vibrador, que permite la disminución de hormigueros. Si se va a realizar vibración externa

se utilizará un mazo de caucho, el cual no deberá golpear la lámina directamente.

Para el desmontaje primero se deben retirar los soportes con alambre negro y posteriormente se retira la formaleta. Se debe tener el cuidado de no dejar caer la formaleta, pues esto puede causar daños en la lámina y el bastión.

## Limpieza y almacenamiento

Con el fin de aumentar la durabilidad y rendimiento de la formaleta fenólica, ésta se debe limpiar después de usarla. Ello se logra utilizando un cepillo duro y agua; si fuera necesario una espátula, preferiblemente de madera, para remover el concreto endurecido.

La formaleta no debe ser almacenada en lugares húmedos, sino en un sitio cubierto y seco para no ser dañada por el sol ni la lluvia. Debido a sus estructuras, las formaletas se deben almacenar sobre estribas, de manera que la cara de una esté en contacto con la cara de la otra que irá colocada encima.

## “Lean Construction”

La filosofía de *Lean Construction* o Construcción sin pérdidas, está basada en conceptos de gestión del sistema de producción de Toyota. Se aborda la causa de muchos problemas que limitan la eficiencia en la construcción, centrándose en la reducción de las pérdidas a lo largo del flujo productivo, además de que se busca maximizar el valor.

Según Dennis Sowards, un estudio denominado “Los propietarios hablan acerca de los cambios revolucionarios en las contrataciones de construcción”, encontró que el 57% del tiempo que las cuadrillas gastan en el sitio de trabajo es desperdicio. El desperdicio se define en siete categorías:

- a. Defectos: Incluye hacer instalaciones erróneas, defectos en la fabricación y errores en las listas de repaso.
- b. Sobreproducción de bienes: Esto ocurre cuando se fabrica material muy rápido o se reserva el material en la bodega o sitio de trabajo.

- c. Transporte: Este desperdicio ocurre cuando se moviliza material alrededor de la bodega, se carga a camiones, cuando se acarrea al sitio de trabajo, se descarga y cuando se moviliza desde el área de almacenamiento hasta el punto de instalación.
- d. Espera: Esto se refiere a cuando una cuadrilla espera por instrucciones o materiales en el sitio de trabajo, una máquina de fabricación espera a que el material sea cargado.
- e. Sobreprocesamiento: Este desperdicio incluye manipulación excesiva, requerimiento de firmas adicionales en una requisición y múltiples manejos de hojas de tiempo.
- f. Movilización: Ocurre cuando el material está almacenado lejos del sitio de trabajo o cuando los trabajadores buscan herramientas, material o información.
- g. Inventario: Incluye material sin cortar, trabajo en proceso y producto terminado. Si el material no ha sido instalado y no ha sido usado por el cliente, es desperdicio. Además se incluye partes de repuestos, herramientas sin usar, consumibles, etc.

## Gestión y manejo de los residuos de construcción

Como lo señala la Arq. Laura Chinchilla en el artículo "Manejo de residuos en la obra constructiva", la mayoría de profesionales del sector construcción no poseen formación o capacitación enfocada al manejo integral de los residuos sólidos. Generalmente no se modulan los elementos de construcción en la etapa de diseño que permita su minimización, no se aplican prácticas y técnicas constructivas ambientalmente adecuadas en la planificación y ejecución de las obras. Por otra parte no existen documentos técnicos normalizados para tal fin, sin embargo, cabe la salvedad que la coordinación modular se encuentra estipulada en las normas INTE.

La carencia en nuestro medio de un plan de manejo integral de los residuos, conlleva a tener problemas en el ambiente, lo que implica el vertido de estos residuos en lugares no

apropiados, generando impactos visuales que causan el detrimento estético de espacios urbanos.

La cantidad de residuos que se produce en un proyecto constructivo depende de: políticas de administración del proyecto, capacitación de la mano de obra, políticas de proveeduría y manejo de materiales, calidad de la mano de obra, tamaño y complejidad del proyecto, modulación de los espacios en el diseño, y tecnología.

Desde la planificación estratégica, la cual cuenta con valores, objetivos, metas y estrategias e indicadores de desempeño al respecto, debe preverse la gestión y manejo de los residuos que se generan durante el proceso de construcción. Por ejemplo, en el caso de subcontratos, la utilidad depende del aprovechamiento de los materiales, razón por la cual se optimizan al máximo.

Para desarrollar una cultura de gestión y manejo de los desechos en proyectos constructivos, se pueden aplicar los siguientes aspectos:

- a. Adoptar medios y disposiciones responsables por parte de los profesionales.
- b. Capacitación a profesionales, directores de proyectos y maestros de obra sobre el tema de los desechos y su uso y manejo responsable.
- c. Aplicación de las cinco "R" (rechazar, reducir, reutilizar, reciclar, recuperar) en los proyectos.
- d. La infraestructura necesaria para llevar a cabo el cumplimiento de una normativa que regule el uso y destino de los residuos de construcción, tal es el caso de vertederos controlados y centros de acopio (Mora, 2008).

## Producción más limpia

Como parte de las estrategias enfocadas a prevenir la reducción de los residuos y aumentar la eficiencia en los procesos, Producción Más Limpia (P+L), busca prevenir la generación de contaminación en la fuente, en vez de controlarla al final del proceso.

En el caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de las materias primas y energía, la eliminación de materias

primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos.

La Producción Más Limpia genera ventajas asociadas a los recursos que deben invertirse para el control o mitigación. Sus alternativas están orientadas hacia la reducción de los costos de ineficiencia relacionados con los desperdicios de materia prima, de insumos, de material en proceso, de subproductos y de producto terminado. En este sentido, la contaminación es vista como resultado de las ineficiencias en los procesos productivos, que al ser corregidas pueden generar ahorros a las empresas por medio de la disminución en el uso de materiales y recursos.

Dentro de los beneficios que se pueden percibir con la Producción Más Limpia están:

- a. Reducción del consumo de materias primas e insumos.
- b. Mejora la calidad del producto y la eficiencia del proceso.
- c. Disminución del volumen de desechos generados.
- d. Disminución del costo de tratamiento de los desechos generados.
- e. Disminución de los accidentes laborales.
- f. Posibilidad de acceso a nuevos mercados.
- g. Prevención de la contaminación.
- h. Mejora la imagen de la empresa.

## Análisis de huella ecológica

El concepto de huella ecológica, como parte de la evaluación del impacto ambiental, es una herramienta de análisis para evaluar el capital natural, los flujos físicos y la superficie de ecosistemas requeridos para sustentar la economía. Capital natural es el conjunto de reservas naturales que garantiza un flujo de bienes y servicios hacia el futuro. El capital natural también provee servicios tales como la asimilación de desechos, control de la erosión e inundaciones, filtro de agentes contaminantes, regulación de la cantidad y calidad de las aguas de los acuíferos, entre otros.

El análisis de huella ecológica consiste en evaluar el espacio requerido para la producción,

mantenimiento y desecho de cada uno de los bienes empleados por una población o una actividad económica dada. El cálculo incluye directamente la superficie usada y los recursos y energía inherentes. Estos últimos se refieren a las cantidades totales de energía y materiales que se usan durante el ciclo de vida para su fabricación, transporte, mantenimiento y descarte.

La huella ecológica de la ciudad es la superficie terrestre requerida para suplir las necesidades de los habitantes de la misma y el funcionamiento del sistema urbano. Esto incluye bienes y servicios, tales como: alimentos, habitación, indumentaria, medicamentos, energía para el equipamiento domiciliario, provisión de agua, disposición y recolección de los residuos, y transporte. Esta definición es válida para una región, país, individuo, hogar, ciclo de vida de un bien, actividad económica (Matteucci, 2003).

El cálculo de la huella ecológica de la construcción permite comparar el costo ecológico de las diversas estrategias de la actividad, desde el paisaje elegido para la instalación de la vivienda, la selección de los materiales y la procedencia de los mismos, el diseño interior y exterior, hasta los tipos de sistemas de mantenimiento y servicios. También sirve para comparar costos ecológicos del consumo de materiales de características diferentes que cumplen igual función dentro de la construcción.

La construcción consume tierra directamente. Dependiendo del tipo de cobertura de la tierra de este espacio que será ocupado, variará la huella ecológica. Con el objetivo de sistematizar los datos de rendimiento, se ha clasificado la cobertura de tierra en ocho categorías, según Matteucci. Cada una de ellas provee una variedad de bienes y servicios para el soporte de las actividades humanas: provisión de energía, espacio para las ciudades, absorción de desechos, preservación de la biodiversidad. Las categorías de cobertura de tierra son:

- a. Tierra energética: Expropiada por el uso de combustibles fósiles.
- b. Tierra consumida: Irreversiblemente construida o degradada, no puede ofrecer servicios ni bienes ecológicos.
- c. Jardines: Reversiblemente construida, pueden funcionar como sumideros de CO<sub>2</sub> y brindar algunos bienes ecológicos limitados.

- d. Tierras cultivadas: Brindan bienes que son materia prima para alimentación e industria.
- e. Pastizales: Brindan alimentación para ganado que luego será utilizado.
- f. Bosques manejados: Dan materia prima como madera, flora y fauna útiles para la sociedad y los mismos servicios ecológicos que los bosques vírgenes.
- g. Bosques vírgenes: Constituyen sumideros del CO<sub>2</sub> emitido por el consumo de combustibles fósiles; atemperan el clima; protegen la cantidad y calidad de agua en los acuíferos; absorben productos que contaminarían agua y aire.
- h. Tierras no productivas: Conforman desiertos y campos de hielo.

El análisis de huella ecológica requiere la preparación de una matriz de consumo, en la cual las filas representan los diversos insumos requeridos para la construcción y el mantenimiento de los servicios en la vivienda. Para cada uno de los insumos se requieren datos de la cantidad empleada y de la energía y recursos inherentes. Las columnas de la matriz corresponden a producción, importación y exportación. Para determinar los recursos y energía inherentes se debe conocer el ciclo de vida del insumo, incluyendo el sitio de origen.

Los datos de superficie expropiada por cada insumo se pasan a la matriz insumo (filas)/cobertura de tierra (columnas). De este modo cada celda registra la superficie de cada tipo de cobertura expropiada por cada insumo. La suma de los valores de cada fila indica la huella ecológica total de cada insumo. La suma de cada columna indica la carga sobre cada tipo de cobertura. Y la suma total es la huella ecológica total de la actividad económica. (Matteucci, 2003). Las unidades que normalmente se manejan son en hectáreas/unidad de producto, si es para una actividad o producto.

Facilita el análisis dividir el sistema en dos partes: la construcción y la ocupación de la estructura. En la primera se vinculan los aspectos relacionados con los bienes y servicios para la construcción; y en la segunda los relacionados con el mantenimiento y habitación.

Los espacios que contienen infraestructura, que están pavimentados o muy degradados, han sido consumidos, ya que han perdido su capacidad ecológica de producción. El

cálculo de la huella ecológica de la construcción incluye un débito extra por el material, energía y tiempo, que deben aplicarse a la recuperación de la productividad perdida.

La construcción de una vivienda incluye no sólo la superficie ocupada por la misma, sino también la infraestructura urbana compartida, la superficie requerida para la producción de la madera de la construcción, la tierra energética para la fabricación de bloques de concreto y ladrillos, y la superficie expropiada para la fabricación de otros materiales empleados en la construcción.

# Introducción

El rendimiento es una característica de los materiales de construcción; está asociado al desperdicio y a la optimización de las materias primas y mano de obra. Las cantidades y categorías de los residuos de la construcción dependen de una serie de factores, entre los que se cuenta el sistema constructivo utilizado. De aquí surge la necesidad de realizar un análisis comparativo entre el sistema tradicional, que se caracteriza por el uso del bloque tipo Patarrá y es el más utilizado en la mayoría de proyectos de vivienda, y el sistema modular, en este caso, aplicando el concepto de coordinación modular, donde el Sistema Modublock proporciona bloques modulares que se ajustan adecuadamente a las dimensiones de los elementos a construir.

En la actualidad, con respecto al bloque Patarrá, en la etapa de diseño se dificulta hacer ajustes tratando de minimizar el desperdicio; y por otra parte muchos profesionales en ingeniería y arquitectura no tienen conocimiento de cuánto material se desperdicia en obra.

En este sentido, se busca con el siguiente documento, desarrollado en el área ambiental, determinar cuántos residuos de los materiales utilizados en la etapa de obra gris se generan en cada sistema constructivo, de manera que en cada uno se pueda hacer además una evaluación del impacto económico y ambiental. Por otra parte demostrar cuál de ellos mantiene mejor el equilibrio de calidad-tiempo-costos durante el proceso constructivo.

Como objetivos de este proyecto se plantean los siguientes:

## Objetivo general:

Realizar un análisis comparativo de la cantidad de residuos generados en la construcción de un mismo modelo de vivienda en mampostería con bloques Patarrá y con el sistema modular.

## Objetivos específicos:

1. Realizar una medición de la cantidad de bloques de concreto que se quiebran e identificar las razones.
2. Determinar los residuos en otros materiales, como acero, mortero, formaleta y concreto, que se desperdician durante el proceso constructivo en ambos sistemas.
3. Analizar el impacto económico y ambiental que tendrá la coordinación modular y el sistema tradicional en la construcción de viviendas en mampostería.
4. Comparar ambos sistemas constructivos en aspectos de calidad, tiempo y costo, para establecer el sistema más adecuado.

# Metodología

Se planteó la metodología en función de dos etapas, con las cuales se desarrolló el proyecto:

## Recolección y muestreo de los datos de campo

Por medio de mediciones en campo sobre la cantidad de bloques quebrados por errores en la manipulación y los que se desechan para ajustarlos correctamente en las paredes, se determinaron los desperdicios. Los residuos se midieron con respecto a la longitud total de un bloque, esto si existe la necesidad de hacer ajustes, y también las unidades que se pierden por mala manipulación o colocación de los mismos.

Con mediciones en sitio se determinó qué cantidad de otros materiales, como varilla de refuerzo vertical y horizontal, mortero y concreto, se desperdiciaron en cada uno de los sistemas constructivos en estudio.

En cuanto a los residuos de varilla se midió la longitud de los trozos y con ello se determinó el peso en kilogramos según el diámetro. Estas mediciones se hicieron para el refuerzo de la placa corrida del cimiento, paredes, columnas, vigas y contrapiso.

Para la pega de bloques, en ambas viviendas se utilizó un mortero de pega modificado con polímeros. Se realizó un muestreo por saco del producto para determinar cuántas sisas verticales y horizontales se cubren al pegar los bloques y comparar con el rendimiento que sugiere el fabricante, de tal forma que se determinen las causas y el porcentaje de residuos. Para el caso del mortero de repello se cuantificaron los sacos de producto utilizado y se comparó con el rendimiento del fabricante, además se verificó el espesor del repello.

Dado que la formaleta es del tipo fenólica, y por tanto reutilizable, se determinó los usos de

la misma tomando en consideración la cantidad de usos promedio, así como las razones por las cuales se puede reducir su durabilidad.

Para los residuos de concreto, se estableció el número total de batidas para la placa corrida del cimiento, el concreto de relleno de celdas, contrapiso, vigas y columnas y se comparó con la cantidad calculada para determinar, en promedio, cuánto se desperdicia. Por otra parte se describieron los parámetros que garantizan la calidad del concreto, como por ejemplo las pruebas de revenimiento y resistencia a la compresión.

Se estudió y aplicó el método de coordinación modular en la construcción en mampostería con bloques de concreto; particularmente, se hizo uso del sistema MODUBLOCK. Sobre este aspecto se consultó el Manual para la construcción de edificaciones con este sistema.

Por medio de la observación de los procesos de construcción, se identificaron los principales errores que cometen los trabajadores de la construcción al manipular los bloques de concreto (en ambos sistemas) y se cuantificó el número de unidades que se pierden por esta causa. El Manual de MODUBLOCK señala algunas recomendaciones para el manejo seguro de las unidades, sin embargo, observando la realidad de los proyectos se establecieron recomendaciones adicionales, de acuerdo con la guía de los encargados del proyecto y el profesor tutor.

## Análisis de los datos

Mediante el uso de cuadros se observó la cantidad promedio de residuos de cada tipo de material y para cada sistema constructivo. Asimismo con el uso de gráficos circulares se mostró el porcentaje de materiales desperdiciados según el sistema que se esté

utilizando en cada modelo de vivienda. Esto se obtuvo mediante una comparación entre la cantidad calculada con base en planos y la cantidad que realmente se utilizó en sitio.

Se determinó la diferencia en el costo y los tiempos de ejecución de la obra gris al utilizar la mampostería modular y tradicional; dicho costo implica el de materiales y mano de obra. Igualmente esta comparación se realizó a través de cuadros.

Mediante la aplicación de una matriz de huella ecológica, se determinó el impacto ambiental de los residuos de bloques de concreto y los otros materiales, asimismo del costo ecológico de producir estos insumos. Para ello primero se construye una matriz de consumo donde se determinan las cantidades de esos insumos y los residuos que generan. Sin embargo, con respecto a otras metodologías de cálculo de la huella ecológica, no se tomó en consideración el gasto energético para la producción de esos materiales, ya que su cálculo resultaría complejo para efectos de esta investigación. La matriz de huella ecológica consiste en ubicar en las filas los insumos señalados anteriormente, para la etapa de obra gris y en las columnas la cobertura de tierra que se verá alterada por dichos insumos, tal es el caso del área de construcción, la superficie de extracción de agregados para la producción de concreto, morteros y bloques, y el sitio para los residuos. El cálculo de la huella ecológica se basará en dividir la superficie de la cobertura de tierra en  $m^2$  por la cantidad de los materiales en kilogramos. Normalmente las unidades para la huella ecológica son en ha/ton de producto, sin embargo, para efectos de este análisis a nivel micro, se tomó  $m^2/kg$  como unidad. Por otra parte, si se toma en cuenta el gasto energético las unidades son en kJ.

Además se establecieron alternativas de uso de los materiales desechados y ver si es factible su aplicación.

Se hicieron descripciones referentes a la logística de la construcción de viviendas con el sistema tradicional y con el sistema modular Modublock, de tal forma que se pudieran recomendar cambios para mantener el equilibrio entre los aspectos de: calidad, tiempo y costo. Para ello, en cada una de las actividades de los dos modelos de vivienda se determinaron las horas de inicio y finalización, la cantidad

requerida de mano de obra y los costos directos asociados a cada uno de ellos.

Se elaboró un diseño de sitio de los lugares donde se deben almacenar los bloques de concreto, se señaló qué aspectos podrían estar fallando en los proyectos y cómo mejorar esta situación. Para ello se aplicaron algunos aspectos que contempla la filosofía de "Lean Construction".

# Resultados

A continuación se presentan los resultados comparativos en los tres ejes de análisis según el sistema constructivo en estudio; estos son: cuántos residuos se generan, el impacto económico y el impacto ambiental. Las viviendas en estudio cuentan con un área aproximada de 74 m<sup>2</sup> y un área neta de paredes de 152,78 m<sup>2</sup>.

## Cuantificación de los residuos

En los siguientes cuadros se presentan los resultados comparativos de los residuos en sitio de acero, concreto, bloques, mortero de pega de bloques y mortero de repello, además de las cantidades calculadas con base en planos de dichos materiales y de la formaleta fenólica; esto para cada una de las viviendas en los sistemas correspondientes. Los mismos se muestran en los cuadros del 1 al 14.

Cabe destacar que en las dos viviendas se utiliza el mismo tipo de mortero de pega de bloques y mortero de repello.

Con respecto a los residuos de bloques, se estimó las unidades equivalentes, de acuerdo con la sumatoria de las longitudes de bloques desperdiciados y a la longitud estándar de un bloque, según corresponda al sistema en estudio. En la vivienda modular, con respecto a un bloque de 45 cm, y en la vivienda con sistema tradicional, a un bloque de 40 cm, aunque en realidad son 39 cm.

En el cuadro 1 se muestra el cálculo de la cantidad necesaria de acero de refuerzo de acuerdo con los planos y la cantidad de residuo medida en sitio, para establecer el porcentaje de residuo y la cantidad de éste por m<sup>2</sup> de construcción.

<b>CUADRO 1. CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO REQUERIDO Y SU CORRESPONDIENTE RESIDUO EN LONGITUD Y PESO, EN EL SISTEMA MODULAR MODUBLOCK</b>						
Actividad	Varilla	Cantidad calculada		Residuo		Residuo (kg/m <sup>2</sup> )
		m	kg	m	kg	
Cimientos	Varilla #3	161,43	90,40	0,60	0,34	4,54E-03
	Varilla #2	172,08	43,02	4,08	1,02	1,38E-02
Paredes (vertical)	Varilla #3	342,70	191,91	0,00	0,00	0,00
	Varilla #4	79,65	78,85	0,00	0,00	0,00
Paredes (horizontal)	Varilla #3	199,03	111,46	3,26	1,82	2,46E-02
Viga corona	Varilla #3	215,24	120,53	22,65	18,35	2,48E-01
	Varilla #2	287,00	71,75			
Contrapiso	Varilla #2	1466,70	366,68	3,60	0,90	1,22E-02
Viga tapichel	Varilla #3	92,00	51,52	1,04	0,84	1,14E-02
	Varilla #2	60,00	15,00			
<b>Total</b>		<b>3075,83</b>	<b>1141,12</b>	<b>35,23</b>	<b>23,27</b>	<b>3,14E-01</b>

En el cuadro 2 se muestra la cantidad calculada de concreto según la actividad de obra gris y el cálculo de la cantidad utilizada en realidad, de acuerdo con el número de batidas de concreto, asumiendo 7 sacos de cemento por 1 m<sup>3</sup>. Así como el residuo en unidades de volumen y en porcentaje.

<b>CUADRO 2. CÁLCULO DE CANTIDAD REQUERIDA Y REAL DE CONCRETO Y SU RESIDUO EN VOLUMEN, EN EL SISTEMA MODULAR MODUBLOCK</b>					
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad calculada (m<sup>3</sup>) A</b>	<b>Batidas de concreto total B</b>	<b>Cantidad utilizada (m<sup>3</sup>) C=B*(1/7)</b>	<b>Residuo (m<sup>3</sup>) D=C-A</b>	<b>Residuo (%) (D/A)*100</b>
Cimientos	4,30	33	4,71	0,41	9,53%
Relleno de celdas (2963 celdas)	5,10	36	5,14	0,04	0,78%
Monchetas (2 un)	0,29	2	0,29	4,86E-04	0,17%
Contrapiso	11,00	80	11,43	0,43	3,91%
Viga corona	2,42	18	2,57	0,15	6,19%
Viga tapichel	0,52	4	0,57	0,05	9,61%
<b>Total</b>	<b>23,63</b>		<b>24,71</b>	<b>1,08</b>	<b>4,57%</b>

En el cuadro 3 se determina la cantidad de bloques modulares Modublock, según la dimensión de la longitud, el residuo teórico según la modulación hecha en planos y el número de unidades desperdiciadas; así como los residuos de bloques por área de pared.

<b>CUADRO 3. CÁLCULO DE LOS BLOQUES DE CONCRETO MODULARES Y SU CORRESPONDIENTE RESIDUO EN UNIDADES Y RESPECTO AL ÁREA NETA DE PAREDES</b>					
<b>Tipo de bloque</b>	<b>Cantidad calculada (un)</b>	<b>Residuo teórico (un)</b>	<b>Residuo en sitio</b>		<b>Residuos/m<sup>2</sup> de pared</b>
			<b>Longitud bloques (cm)</b>	<b>Unidades</b>	
Bloque de 15 cm	14	0	0	0	0,00
Bloque de 30 cm	500	0	0	0	0,00
Bloque de 45 cm	1750	0	118	2,62	0,02
<b>Total</b>				<b>2,62</b>	<b>0,02</b>

En el cuadro 4 se observan los datos de campo del rendimiento real del mortero de pega de los bloques modulares, haciendo un muestreo con cinco sacos del producto y según el número de sisas verticales y horizontales. Se establece el

número de bloques que se pegan por saco, así como el volumen por saco. Al final se obtiene el valor promedio de los bloques pegados por saco.

<b>CUADRO 4. DATOS DE CAMPO DE BLOQUES PEGADOS POR SACO, DE ACUERDO CON UN MUESTREO, EN EL SISTEMA MODULAR MODUBLOCK</b>					
Saco	Sisas horizontales A	Sisas verticales B	Bloques pegados/saco C	Dimensión de sisa (cm) D	Volumen mortero/saco (m³) E
1	16	0	11,1	1,5	1,62E-02
2	13	4	10,2	1,5	1,50E-02
3	13	0	9,0	1,5	1,32E-02
4	17	0	11,8	1,5	1,72E-02
5	7	8	7,3	1,5	1,07E-02
Promedio			9,9	1,5	1,44E-02

$$C = \frac{E}{\text{Volumen mortero/bloque}}$$

$$E = \left( A * 0.45 * \frac{D}{100} * 0.15 \right) + \left( B * 0.15 * 0.20 * \frac{D}{100} \right)$$

En el cuadro 5 se muestran los datos para el cálculo del mortero de pega de los bloques modulares y el residuo en unidades de volumen, que es una diferencia entre el mortero

calculado y el realmente utilizado.

<b>CUADRO 5. CÁLCULO DEL MORTERO DE PEGA DE BLOQUES MODULARES Y SU RESIDUO EN VOLUMEN</b>	
Cantidad calculada mortero total (m³) A	3,13
Rendimiento teórico (bloques/saco)	13-15
Volumen promedio mortero/saco (m³)	1,44E-02
Cantidad utilizada mortero total (m³) B	3,15
Residuo (m³) C=B-A	0,02

En el cuadro 6 se muestran los datos para el cálculo de la cantidad requerida y el residuo de mortero de repello. Además se señalan los rendimientos teórico y real.

<b>CUADRO 6. DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD Y RESIDUO DE MORTERO DE REPELLO, EN LA VIVIENDA MODULAR</b>	
Área neta de paredes(m²) A	188,65
Sacos utilizados (un) B	95,00
Rendimiento teórico (m²/saco) C	2,00
Rendimiento real (m²/saco) D=A/B	1,99
Espesor promedio de repello (cm) E	1,00
Cantidad calculada (m³) F=(E/100)*A	1,89
Volumen mortero/saco (m³) G=C*(E/100)	0,02
Volumen mortero utilizado (m³) H=G*B	1,90
Residuo (m³) I=H-F	0,01

El cuadro 7 señala la cantidad aproximada de formaleta fenólica requerida de acuerdo con la estructura que se va a colar, así como el número de paneles con los cuales se puede cubrir esa área.

<b>CUADRO 7. CALCULO DE LA FORMAleta FENOLICA EN LA VIVIENDA MODULAR</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad calculada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Paneles utilizados (un)</b>
Cimientos	4,08	3,40
Viga corona	32,33	26,94
Viga tapichel	13,82	11,52
Monchetas	4,87	4,06
<b>Total</b>	<b>55,10</b>	<b>42,92</b>

En el cuadro 8 se muestra el cálculo de la cantidad necesaria de acero de refuerzo de acuerdo con los planos y la cantidad de desperdicio medida en sitio, para establecer el porcentaje de residuo y la cantidad de éste por m<sup>2</sup> de construcción.

<b>CUADRO 8. CALCULO DEL ACERO DE REFUERZO REQUERIDO Y SU CORRESPONDIENTE RESIDUO EN LONGITUD Y PESO, EN EL SISTEMA TRADICIONAL</b>						
<b>Actividad</b>	<b>Varilla</b>	<b>Cantidad calculada</b>		<b>Residuo</b>		<b>Residuo (kg/m<sup>2</sup>)</b>
		<b>m</b>	<b>kg</b>	<b>m</b>	<b>kg</b>	
Cimientos	Varilla #3	161,43	90,40	2,82	1,58	2,13E-02
	Varilla #2	172,08	43,02	8,36	2,09	2,82E-02
Paredes (vertical)	Varilla #3	214,10	119,90	0,00	0,00	0,00
	Varilla #4	31,50	31,19	0,00	0,00	0,00
Paredes (horizontal)	Varilla #2	298,50	74,63	2,51	0,63	8,48E-03
Monchetas	Varilla #2	18,45	4,61	0,00	0,00	0,00
	Varilla #3	194,70	109,03	0,00	0,00	0,00
Viga corona	Varilla #3	215,24	120,53	15,77	12,77	1,73E-01
	Varilla #2	287,00	71,75			
Contrapiso	Varilla #2	1466,70	366,68	5,45	1,36	1,84E-02
Viga tapichel	Varilla #3	92,00	51,52	14,70	11,91	1,61E-01
	Varilla #2	60,00	15,00			
<b>Total</b>		<b>3211,70</b>	<b>1098,25</b>	<b>49,61</b>	<b>30,34</b>	<b>4,10E-01</b>

En el cuadro 9 se muestra la cantidad calculada de concreto según la actividad de obra gris y el cálculo de la cantidad utilizada en realidad, de acuerdo con el número de batidas de concreto, asumiendo 7 sacos de cemento por 1 m<sup>3</sup>. Así como el residuo en unidades de volumen y en porcentaje.

<b>CUADRO 9. CÁLCULO DE CANTIDAD REQUERIDA Y REAL DE CONCRETO Y SU RESIDUO EN VOLUMEN, EN EL SISTEMA TRADICIONAL</b>					
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad calculada (m<sup>3</sup>) A</b>	<b>Batidas de concreto total B</b>	<b>Cantidad utilizada (m<sup>3</sup>) C=B*(1/7)</b>	<b>Residuo (m<sup>3</sup>) D=C-A</b>	<b>Residuo (%) (D/A)*100</b>
Cimientos	4,30	31	4,43	0,13	3,02%
Relleno de celdas (1519 celdas)	3,74	27	3,86	0,12	3,21%
Monchetas (17 un)	1,80	17	2,43	0,63	35,00%
Contrapiso	11,00	81	11,57	0,57	5,18%
Viga corona	2,42	21	3,00	0,58	23,97%
Viga tapichel	0,52	4	0,57	0,05	9,61%
<b>Total</b>	<b>23,78</b>		<b>25,86</b>	<b>2,08</b>	<b>8,75%</b>

En el cuadro 10 se determina la cantidad de bloques Patarrá según la dimensión de la longitud, el residuo teórico según la modulación hecha en planos y el número de unidades equivalentes desperdiciadas, calculadas respecto a la longitud de 39 cm. Así como los residuos de bloques por área de pared.

<b>CUADRO 10. CÁLCULO DE LOS BLOQUES PATARRÁ Y SU CORRESPONDIENTE RESIDUO EN UNIDADES CON RESPECTO AL ÁREA NETA DE PAREDES</b>							
<b>Tipo de bloque</b>	<b>Cantidad calculada (un)</b>	<b>Residuo teórico (un)</b>	<b>Residuo en sitio</b>				<b>Residuos/m<sup>2</sup> de pared</b>
			<b>Causa de residuos</b>	<b>Longitud bloque (cm)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Proporción</b>	
Bloque 12x20x40 cm	2137	20,8	Manipulación	49,00	1,26	6,64%	0,12
			Ajuste	691,00	17,72	93,36%	
			Total	740,00	18,98	100%	

En el cuadro 11, se observan los datos de campo del rendimiento real del mortero de pega de los bloques Patarrá, haciendo un muestreo con cinco sacos del producto y según el número de sisas verticales y horizontales, para establecer el

número de bloques que se pegan por saco, así como el volumen por saco.

<b>CUADRO 11. DATOS DE CAMPO DE BLOQUES PEGADOS POR SACO, DE ACUERDO CON UN MUESTREO, EN EL SISTEMA TRADICIONAL</b>					
Saco	Sisas horizontales	Sisas verticales	Bloques pegados/saco	Dimensión de sisa (cm)	Volumen mortero/saco (m³)
1	20,5	18	19,84	1,5	2,14E-02
2	28	25	27,23	1,5	2,94E-02
3	38,5	24	33,99	1,5	3,67E-02
4	27,3	22,67	25,98	1,5	2,81E-02
5	33	25	30,61	1,5	3,31E-02
Promedio			27,53	1,5	2,97E-02

$$C = \frac{E}{\text{Volumen mortero/bloque}}$$

$$E = \left( A * 0.405 * \frac{D}{100} * 0.12 \right) + \left( B * 0.12 * 0.20 * \frac{D}{100} \right)$$

En el cuadro 12, se muestran los datos para el cálculo del mortero de pega de los bloques Patarrá y el desperdicio en unidades de volumen, que es una diferencia entre el mortero calculado y el realmente utilizado.

<b>CUADRO 12. CÁLCULO DEL MORTERO DE PEGA DE BLOQUES PATARRÁ Y SU RESIDUO EN VOLUMEN</b>	
Cantidad calculada mortero total (m³) A	2,31
Rendimiento teórico (bloques/saco)	13-15
Volumen promedio mortero/saco (m³)	2,97E-02
Cantidad utilizada mortero total (m³) B	2,32
Residuo (m³) C=B-A	0,01

En el cuadro 13 se muestran los datos para el cálculo de la cantidad requerida de mortero de repello así como su residuo. Además se señalan los rendimientos teórico y real.

<b>CUADRO 13. DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD Y DESPERDICIO DE MORTERO DE REPELLO, EN LA VIVIENDA TRADICIONAL</b>	
Área neta de paredes (m <sup>2</sup> ) A	188,65
Sacos utilizados (un) B	97,00
Rendimiento teórico (m <sup>2</sup> /saco) C	2,00
Rendimiento real (m <sup>2</sup> /saco) D=A/B	1,94
Espesor promedio de repello (cm) E	1,00
Cantidad calculada (m <sup>3</sup> ) F=(E/100)*A	1,89
Volumen mortero/saco (m <sup>3</sup> ) G=C*(E/100)	0,02
Volumen mortero utilizado (m <sup>3</sup> ) H=G*B	1,94
Residuo (m <sup>3</sup> ) I=H-F	0,05

El cuadro 14 señala la cantidad aproximada de formaleta fenólica requerida de acuerdo con la estructura que se va a colar, así como el número de paneles con los cuales se puede cubrir esa área.

<b>CUADRO 14. CÁLCULO DE LA FORMAleta FENÓLICA EN LA VIVIENDA TRADICIONAL</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad calculada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Paneles utilizados (un)</b>
Cimientos	0,00	0,00
Monchetas	18,56	15,47
Viga corona	32,33	26,94
Viga tapichel	13,82	11,52
<b>Total</b>	<b>64,71</b>	<b>53,93</b>

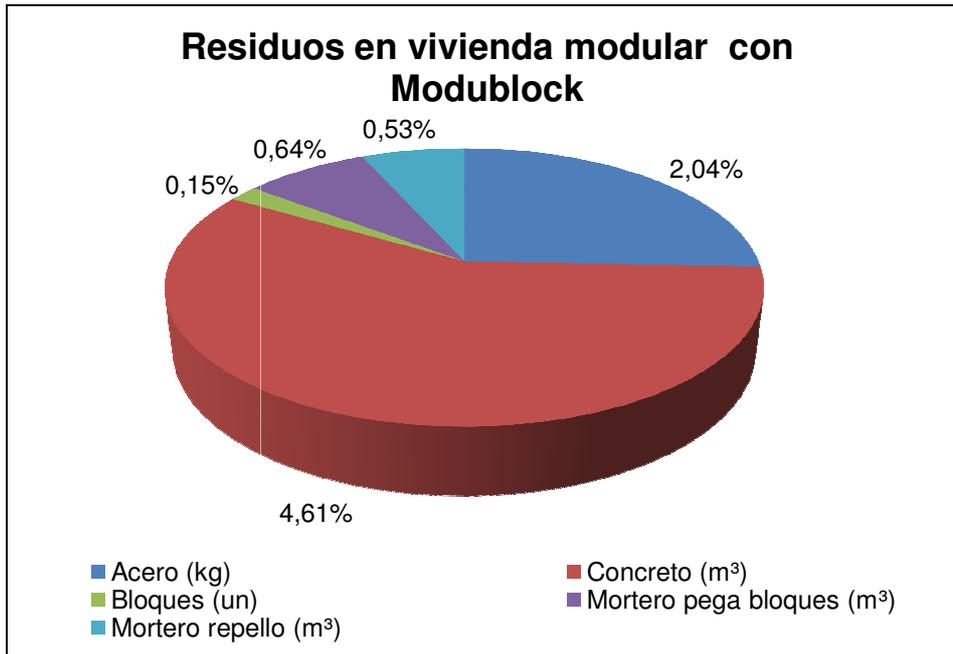


Figura 1. Porcentaje de residuos en la vivienda modular con Modublock según el tipo de material

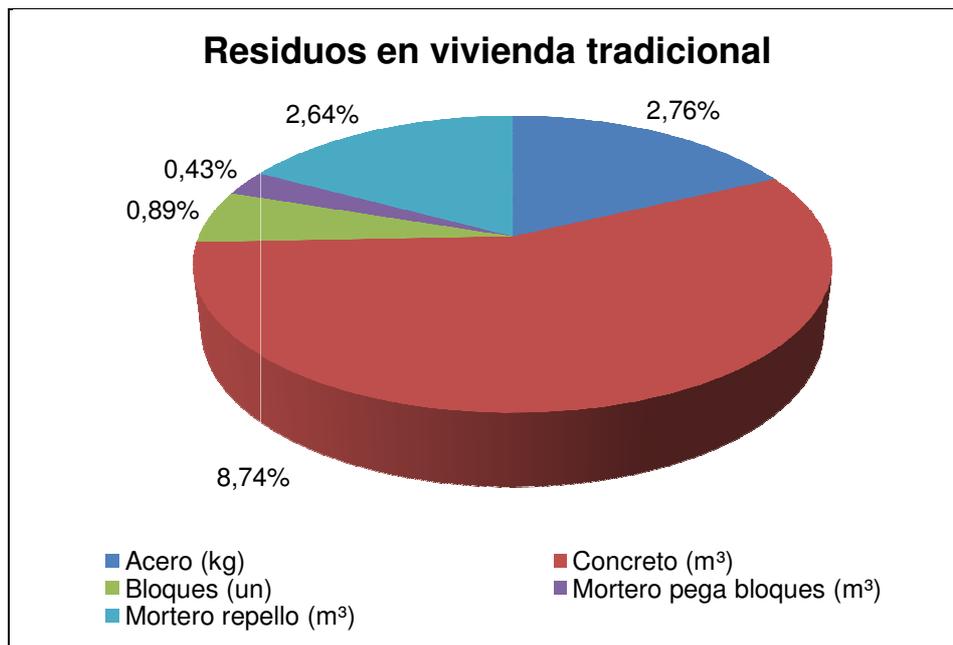


Figura 2. Porcentaje de residuos en la vivienda tradicional según el tipo de material

## Impacto económico

En el cuadro 15 se presentan los costos comparativos por m<sup>2</sup> de los materiales en estudio (acero, concreto, bloques, mortero de pega y mortero de repello). Los precios son tomados con base en información de CONCREPAL, CEMEX, Impersa y El Lagar, durante el mes de setiembre del 2012.

CUADRO 15. COSTO DE LOS MATERIALES POR M <sup>2</sup> SEGÚN SISTEMA CONSTRUCTIVO							
Materiales	Costo unitario (¢)	Vivienda Modular (Modublock)			Vivienda Tradicional		
		Cantidad	Costo total (¢)	Costo/m <sup>2</sup>	Cantidad	Costo total (¢)	Costo/m <sup>2</sup>
Acero (kg)	497,88	1141,12	568.140,83	¢7.677,58	1098,25	546.796,71	¢7.389,14
Concreto (m <sup>3</sup> )	59.704,84	23,63	1.410.825,37	¢19.065,21	23,78	1.419.781,09	¢19.186,23
Bloques (un)	15x15x20 cm	120	691.680,00	¢9.324,53			
	15x30x20 cm	500					
	15x45x20 cm	1750					
	12x40x20 cm	293,80					
Mortero pega bloques (sacos)	2.423,85	175,5	425.385,67	¢5.784,45	78	189.060,30	¢2.554,87
Mortero repello (sacos)	3.125,58	95	296.930,10	¢4.012,57	97	303.181,26	¢4.097,04
<b>Total</b>			3.392.961,97	45.864,34		3.086.669,96	41.711,75

En el cuadro 16, de acuerdo con el número promedio de los usos de la formaleta fenólica, se estima el costo/uso y la inversión total en este material según el sistema constructivo. Para ello se toma como base el costo unitario de la lámina de *plywood* fenólico de 1,22x2,44 m x 15mm, que es de aproximadamente ¢20.500,00.

CUADRO 16. ESTIMACIÓN DEL COSTO POR USO DE LA FORMALETA FENÓLICA		
	Vivienda Modular (Modublock)	Vivienda Tradicional
Área (m <sup>2</sup> )	55,10	64,72
Cantidad de usos promedio	53,30	53,70
Costo/uso (¢)	385,14	382,02
Costo total (¢)	379.457,29	445.682,86

En el cuadro 17 se muestra el costo monetario de los residuos de los materiales de obra gris por m<sup>2</sup>, según el sistema constructivo empleado.

CUADRO 17. COSTO DE LOS RESIDUOS DE MATERIALES POR M <sup>2</sup> SEGÚN SISTEMA CONSTRUCTIVO							
Materiales	Costo unitario (¢)	Vivienda Modular (Modublock)			Vivienda Tradicional		
		Cantidad	Costo total (¢)	Costo/m <sup>2</sup>	Cantidad	Costo total (¢)	Costo/m <sup>2</sup>
Acero (kg)	497,88	23,27	11.585,67	¢156,56	30,34	15.105,68	¢204,13
Concreto (m <sup>3</sup> )	59.704,84	1,09	65.078,28	¢879,44	2,08	124.186,06	¢1.678,19
Bloques (un)	15x15x20 cm	120	0,00	0,00	¢11,68		
	15x30x20 cm	225	0,00	0,00			
	15x45x20 cm	330	2,62	864,60			
	12x40x20 cm	293,80					
Mortero pega bloques (sacos)	2.423,85	1,98	4.799,22	¢64,85	0,99	2.399,61	¢32,43
Mortero repello (sacos)	3.125,58	0,50	1.562,79	¢21,12	2,50	7.813,95	¢105,59
<b>Total</b>			83.890,56	¢1.133,66		155.087,50	¢2.095,78

En el cuadro 18 se indica la variación en el tiempo total de ejecución de las actividades y en el costo por m<sup>2</sup> de la mano de obra gris, de acuerdo con el sistema constructivo.

CUADRO 18. COSTO DE MANO DE OBRA GRIS POR M <sup>2</sup> Y TIEMPOS DE EJECUCIÓN SEGÚN SISTEMA CONSTRUCTIVO			
Sistema de vivienda	Tiempo total (hrs)	Costo total (¢)	Costo/m <sup>2</sup>
Modular (Modublock)	163,92	430.747,50	¢5.820,91
Tradicional	242,28	838.614,00	¢11.332,62
Diferencia	78,36	407.866,50	¢5.511,71

Fuente: Apéndices 1 y 2

## Impacto ambiental

En el cuadro 19 se muestra una matriz de consumo de los materiales requeridos para cada sistema constructivo, asimismo el total de los residuos generados por esos materiales, de manera que se estandarice una misma unidad, en este caso en kilogramos.

<b>CUADRO 19. MATRIZ DE CONSUMO DE MATERIALES Y RESIDUOS SEGÚN SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>					
<b>Insumos</b>	<b>Recursos inherentes</b>	<b>Sistema modular</b>		<b>Sistema tradicional</b>	
		<b>Cantidad empleada (kg)</b>	<b>Cantidad de residuo (kg)</b>	<b>Cantidad empleada (kg)</b>	<b>Cantidad de residuo (kg)</b>
Acero	Hierro, carbono	1141,12	23,27	1098,25	30,34
Concreto	Cemento, agua, agregado	59314,29	2614,24	62057,14	4989,05
Mortero de pega de bloques	Cemento, agua, arena, polímeros	6386,42	40,60	4709,60	20,30
Mortero de repello	Cemento, agua, arena, polímeros	3933,00	20,70	4015,80	103,50
Bloques de concreto	Cemento, agua, agregado	33960,00	39,33	25641,00	227,69

En el cuadro 20 se muestra la matriz de huella ecológica para la vivienda con sistema modular de Modublock, siguiendo las recomendaciones de cálculo de Matteucci<sup>1</sup>, donde los valores de las celdas representan la cantidad de área según la cobertura de tierra, relacionada con la cantidad de insumo, en el cual se describe un ciclo de vida desde su producción hasta la generación de los residuos. El valor total por fila representa la huella ecológica por insumo, y el valor total por columna representa la huella ecológica en cada cobertura de tierra.

<sup>1</sup>Silvia Matteucci, La huella ecológica de la construcción: Conceptos y procedimientos

<b>CUADRO 20. MATRIZ DE HUELLA ECOLÓGICA PARA VIVIENDA MODULAR CON MODUBLOCK</b>				
<b>Insumos</b>	<b>Cobertura de tierra (m<sup>2</sup>)</b>			<b>Huella ecológica</b>
	<b>Tierra consumida*</b>	<b>Superficie para extracción de agregados</b>	<b>Sitio para desechos</b>	
	<b>74</b>	<b>10000</b>	<b>10</b>	
Acero	6,48E-02		0,43	0,49
Concreto	1,25E-03	0,17		0,17
Mortero de pega de bloques	1,16E-02	1,57		1,58
Mortero de repello	1,88E-02	2,54		2,56
Bloques de concreto	2,18E-03	0,29	0,25	0,55
<b>Huella ecológica</b>	0,10	4,57	0,68	<b>5,35</b>

\*Corresponde al área de construcción

En el cuadro 21 se muestra la matriz de huella ecológica para la vivienda tradicional, siguiendo las recomendaciones de cálculo de Matteucci<sup>1</sup>, donde los valores de las celdas representan la cantidad de área según la cobertura de tierra, relacionada con la cantidad de insumo, en el cual se describe un ciclo de vida desde su producción hasta la generación de los residuos. El valor total por fila representa la huella ecológica por insumo, y el valor total por columna representa la huella ecológica en cada cobertura de tierra.

<b>CUADRO 21. MATRIZ DE HUELLA ECOLÓGICA PARA VIVIENDA TRADICIONAL</b>				
<b>Insumos</b>	<b>Cobertura de tierra (m<sup>2</sup>)</b>			<b>Huella ecológica</b>
	<b>Tierra consumida*</b>	<b>Superficie para extracción de agregados</b>	<b>Sitio para desechos</b>	
	<b>74</b>	<b>10000</b>	<b>10</b>	
Acero	6,74E-02		0,33	0,40
Concreto	1,19E-03	0,16		0,16
Mortero de pega de bloques	1,57E-02	2,12		2,14
Mortero de repello	1,84E-02	2,49		2,51
Bloques de concreto	2,89E-03	0,39	4,39E-02	0,44
<b>Huella ecológica</b>	0,11	5,16	0,37	<b>5,64</b>

\*Corresponde al área de construcción

<sup>1</sup> Silvia Matteucci, La huella ecológica de la construcción: Conceptos y procedimientos

# Análisis de los resultados

## Análisis de los residuos

Cabe señalar que, como parte del análisis comparativo de las viviendas con dos sistemas diferentes de construcción –modular con Modublock y tradicional-, existen premisas con respecto a materiales tales como: armaduras del acero de refuerzo de cimientos, viga corona y viga tapichel y los morteros de pega de bloques y de repello, ya que en ambas construcciones se utiliza el mismo producto. La diferencia radica en el uso de dos tipos diferentes de bloque de concreto: el modular con Modublock y el tipo Patarrá.

De acuerdo con los gráficos mostrados en las figuras 1 y 2, se puede observar que los mayores porcentajes de residuos ocurren en el acero de refuerzo, concreto y mortero de repello; esto tanto en la vivienda con sistema modular como en la de sistema tradicional.

A pesar de que el acero se proporciona en armaduras listas para colocar, se deben hacer ajustes necesarios para que se adecúen a las dimensiones de los elementos de concreto por colar; esto hace que en estructuras como la de viga corona y viga tapichel, se generen mayores residuos con respecto a otras armaduras como las de cimientos, paredes, contrapiso y monchetas.

En relación con el concreto, el cual representa la mayor cantidad de residuos en comparación con los otros materiales, resulta ser así debido a errores humanos en las etapas de transporte y colocación, en ambos sistemas. Algunos de esos errores pueden evitarse, como por ejemplo buscar una superficie más plana para trasladar el carrito con concreto; otros son inevitables, dado que las celdas de los bloques son relativamente estrechas y el concreto se debe colocar con sumo cuidado. Por otra parte, al concreto de relleno de celdas se le adiciona más

agua para que la mezcla sea más fluida, lo cual genera mayor probabilidad de derramar dicha mezcla. Cabe señalar que con esta adición de agua la resistencia del concreto disminuye, sin embargo, existe cierto grado de libertad para reducir la resistencia original de 210 kg/cm<sup>2</sup>, ya que el Código Sísmico permite una resistencia mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup>. Otro factor que incide en la generación de residuos de concreto es la colocación de éste a mayores alturas; ello provoca mayor posibilidad de derramamiento y segregación. Es por esta razón que en las estructuras de viga corona, viga tapichel y monchetas (ver figura 4 del apéndice 6), existen los mayores porcentajes de residuo, como se muestra en los cuadros 2 y 9; en el caso de monchetas aplicaría para el sistema tradicional. A diferencia de los cimientos y el contrapiso, en los dos sistemas se genera relativamente poco residuo, pues la colocación del concreto es por descarga directa. Cabe destacar que en el sistema tradicional se genera casi un 50% más de desperdicio de concreto, con respecto al modular, debido a que, con la construcción de las monchetas (ver figuras 7 y 10 del apéndice 6), se utiliza mayor cantidad de producto.

El otro material, que también representa mayor desperdicio en los dos sistemas, es el mortero de repello. Las causas se deben a la forma de colocar el repello (pringado), parte del producto inevitablemente salpica hacia el suelo, además al repellar a mayor altura de pared, aumenta la probabilidad de desperdiciar mortero. Sin embargo, si la mezcla conserva su plasticidad, utilizando la cantidad de agua recomendada por el fabricante, a la hora de pasar el codal por la superficie de la pared para establecer un espesor uniforme, permite que el operario recoja el material sobrante y así se pueda disminuir el desperdicio (ver figura 8 del apéndice 6). Como se muestra en el cuadro 6 y en el cuadro 13, el rendimiento real es muy cercano al establecido teóricamente por el

fabricante; esto implica que en ambos sistemas constructivos el producto se usa adecuadamente.

La diferencia de los residuos de mortero de pega de bloques entre un sistema y otro es relativamente pequeña, pues su diferencia es de apenas 0,21%; esto porque la mezcla contiene polímeros que aumentan la plasticidad del mortero y permite al operario que pega los bloques recoger a tiempo el exceso de material expulsado de la junta, con la cuchara de albañil y así no se desperdicia tanta mezcla (ver figura 6 del apéndice 6). Por otra parte, se puede observar en el cuadro 4, que el promedio de bloques modulares pegados, por saco de producto es menor que los pegados en el sistema tradicional, como se muestra en el cuadro 11; en este caso se justifica que el mortero de pega de bloques rinde más que en el sistema modular, en el cual existe más residuo que en el de bloque Patarrá. Esto se justifica por la diferencia dimensional entre los bloques modulares de Modublock y los bloques tipo Patarrá. Cabe destacar que el fabricante establece el rendimiento teórico con base en este tipo de bloque, pero, existe cierto grado de incertidumbre con respecto al modular.

Es importante señalar que en sitio se midió y sumó la longitud de cada trozo de bloque desperdiciado. Al dividirse esta longitud entre la longitud del bloque Patarrá, que es realmente de 39 cm, se obtiene el número de unidades quebradas. Al comparar los residuos de los bloques se puede notar que en el sistema modular se desperdicia menos cantidad que en el sistema tradicional; ese pequeño porcentaje (0,15%) se debe a un mal manejo de las unidades de bloque, porque teóricamente en la modulación de la vivienda no se tiene que cortar ningún bloque para realizar ajustes. En el sistema tradicional el desperdicio de bloques representa casi un 0,90% respecto a la cantidad total, debido a dos razones: por ajuste para adecuarse a las dimensiones de la vivienda, lo que implica una proporción de casi 94% del total de unidades desperdiciadas, para este ajuste normalmente los bloques se parten a la mitad con un martillo, aprovechando la ranura que existe entre las dos celdas. Cerca del 7% se desecha por mala manipulación, la cual radica en un inadecuado transporte y apilamiento cerca del sitio de colocación. Con el bloque Patarrá se realizó un ajuste en planos previo a la construcción de la vivienda con este sistema, para establecer

teóricamente la cantidad de bloques que se desecharían. Según el cuadro 10 la cantidad es de casi 21 unidades, valor que es cercano al valor en sitio, que es de casi 19.

En las viviendas monitoreadas se utilizó la formaleta fenólica con lámina de madera contrachapada y con marco metálico hecho de tubo industrial de 25x25x1.20 mm, con lo cual se fabrican en sitio una serie de paneles, los cuales son reutilizables; además, con los sobrantes de la lámina se cubren los espacios que no se completan con el panel, para ajustarse a las dimensiones del elemento por colar. En el sistema modular se puede observar, según el cuadro 7, que en la viga corona y viga tapichel se utiliza mayor cantidad de formaleta, ya que debe cubrir dos caras y la longitud es más extensa con respecto a las otras estructuras; la misma situación ocurre con el sistema tradicional, pero además se debe tomar en consideración que al tener que construir mayor cantidad de monchetes que en el modular, se debe hacer uso de más formaleta. Sin embargo, esta actividad se realizó por etapas para reutilizar la mayor cantidad de veces la formaleta fenólica. Por otra parte, para la mayoría de columnas se utilizó prácticamente un panel. Cabe aclarar que al momento de realizar las mediciones de campo no se conocía con certeza el número de veces que había sido utilizada la formaleta, por lo cual se consultó al Director de Proyectos el número promedio de usos de la misma, que era de 50, y con base en esta cantidad se sumó las veces que se utilizó propiamente en las construcciones en estudio, que fueron de 3 a 4 más. La madera contrachapada con marco o bastión puede ser utilizada hasta 40 veces por cara (Rojas, 2008), con lo cual se cumple con ese mínimo de usos. Con base en el Manual para Formaleta Fenólica<sup>1</sup>, la cantidad de usos depende del uso que se le vaya a dar, el tipo de marco, soportes, limpieza y almacenamiento; se hace una evaluación en sitio de las condiciones de la formaleta y se puede asegurar que no existe un lugar adecuado para el almacenamiento de la formaleta (ver figura 2 del apéndice 6), ya que se encuentran a la intemperie, a expensas de la humedad, lluvia y sol, que no solo afectarán la lámina sino también el marco metálico; los paneles no se apilan como

---

<sup>1</sup> Arturo Rojas, Valoración y análisis de los mecanismos de manejo de los residuos de la construcción desarrollados por Fomento Urbano S.A

se recomienda, puesto que sus caras no se encuentran en contacto; normalmente al limpiarlos no se usa espátula de madera ni cepillo duro, los paneles más bien se golpean con martillo para eliminar los restos de concreto. Por otra parte, al llevar a cabo el proceso de desmontaje de las piezas de formaleta, éstas se dejan caer y se puede observar que en algunos casos la lámina se desprende del marco. Además, en los casos donde la formaleta deba cubrir dos caras, a la hora de introducir los soportes se hacen agujeros directamente en la lámina (ver figura 9 del apéndice 6), lo cual favorece el ingreso de humedad y menor resistencia de la misma. Si no se controlan estas acciones, entonces la durabilidad de la formaleta fenólica disminuye y por lo tanto implica desechar más cantidad de paneles, lo cual se pretende reducir.

## Impacto económico

De acuerdo con información del cuadro 15, el costo de los materiales de obra gris por m<sup>2</sup> en el sistema modular es mayor que en el tradicional, debido a que el costo y el número de los bloques utilizados es igualmente superior y, por ende, también el costo total del mortero de pega. Sin embargo, la diferencia es relativamente pequeña, pues representa casi ₡4.200. En el cuadro 16 se observa que el costo total de la formaleta en el sistema modular es menor que en el tradicional. Esto ocurre porque hay mayor cantidad de monchetas en este último que requieren formaleta; dada esta situación se dan más usos a la misma, por lo cual el costo por uso es ligeramente menor en el tradicional que en el modular. Por su parte, el cuadro 17 permite hacer una comparación del impacto económico que tienen los residuos generados en el sistema correspondiente, donde en el tradicional el costo del residuo por m<sup>2</sup> es mayor que en el otro.

El costo de la mano de obra se muestra por m<sup>2</sup> en el cuadro 18, donde el sistema tradicional representa casi un 50% más del costo con respecto al sistema modular. Las causas de este aumento se dan principalmente porque se requiere más trabajadores y más tiempo de ejecución en la construcción de las monchetas. En los apéndices 1 y 2 se detallan los datos de tiempo de ejecución, cuadrilla de trabajo

requerida en campo y el costo asociado a cada actividad de la etapa de obra gris. Con ello se puede afirmar que la actividad de pega de bloques representa el mayor costo de mano de obra gris en ambos sistemas.

## Impacto ambiental

Como parte de la evaluación del impacto ambiental que tendrá tanto el sistema modular como el tradicional y sus respectivos residuos, se realizó un análisis de huella ecológica. Inicialmente se elaboró una matriz de consumo, según recomienda Matteucci<sup>1</sup>, como se observa en el cuadro 19 que contempla los insumos necesarios para llevar a cabo la etapa de obra gris en la construcción de las viviendas, los recursos inherentes para producir esos insumos y las cantidades de material y residuos que se generan. Posteriormente se relacionan esas cantidades con la cobertura de tierra asociada, según la procedencia del insumo, donde las coberturas mostradas en los cuadros 20 y 21 son las más relevantes desde el punto de vista de afectación ecológica. Se muestra, por fila de la matriz, la huella ecológica por cada insumo, y por columna la huella ecológica en cada cobertura; la tierra consumida corresponde al área de construcción, la superficie de extracción de agregados se determinó según consulta a CEMEX y el área para los residuos se obtiene de una correlación con la superficie destinada para el manejo de los residuos en todo el proyecto que es de 100 m<sup>2</sup>. Al final, con su sumatoria, se obtiene la huella ecológica total.

Para el sistema modular se interpreta que por cada unidad de insumo producido, en este caso en kilogramos, necesario para construir la vivienda y posteriormente disponer sus residuos, se requiere un área de aproximadamente 5,35 m<sup>2</sup>. Al compararlo con el obtenido para el sistema tradicional, resulta ser menor, por lo cual el modular de Modublock tiene menor impacto en el ambiente desde el punto de vista de la huella ecológica. Es importante aclarar que, como este es un análisis a nivel micro, puesto que son viviendas pequeñas, las unidades con las que se trabaja, que normalmente son en ha/ton, se

---

<sup>1</sup> Silvia Matteucci, La huella ecológica de la construcción: Conceptos y procedimientos

manipulan en m<sup>2</sup>/kg. Respecto a los residuos se puede afirmar que, para la vivienda modular, al generar menos residuos que la tradicional, posee mayor área disponible como sitio para los desechos de acero y bloques de concreto, lo que justifica tener un valor 0,68 m<sup>2</sup>/kg frente a 0,37 m<sup>2</sup>/kg del sistema tradicional.

Es importante además realizar un análisis del equilibrio de calidad, tiempo y costo desde el punto de vista de huella ecológica. En este sentido, para garantizar mayor calidad y eficiencia, en el proyecto, se realizaron pruebas de revenimiento y resistencia a la compresión (ver figura 5 del apéndice 6). Asimismo, la Producción Más Limpia, proporciona alternativas para corregir ineficiencias en el proceso constructivo, que al corregirse puede generar ahorros al disminuir el uso de materiales y recursos, (como ocurre con el sistema modular), que podrían estar generando residuos, los cuales se podrían identificar según las categorías que establece la filosofía de "Lean Construction". Tal es el caso de los tiempos de ejecución de las actividades de obra gris en cada sistema, pues involucran categorías como la de transporte, movilización e inventario. De esta forma, en el sistema tradicional se invierte un 50% más del tiempo de ejecución con respecto al sistema modular, lo cual se debe, por ejemplo, a la construcción de las monchetas, que implica que los trabajadores tengan que movilizarse constantemente para buscar los paneles de la formaleta, de forma que se genera más desperdicio de tiempo y mayor uso de recursos. Por último, el costo se puede analizar en dos ejes: el económico, referido específicamente al costo de materiales y mano de obra gris, como se comentó anteriormente; y el ecológico, que se refiere a cuánto le cuesta al ambiente el proporcionar los insumos para llevar a cabo la construcción de las viviendas y cuál sería el impacto de los residuos generados, lo cual se demostró con el análisis de huella ecológica. Con estas deducciones se puede afirmar que el sistema que mantiene más adecuado el equilibrio calidad-tiempo-costos, es el sistema modular.

En el Proyecto Residencial Verolís, donde se monitorearon las viviendas en estudio, la empresa Fomento Urbano S.A desarrolla e implementa acciones enfocadas en la gestión y manejo de los residuos. Tal es el caso de: coordinar con las empresas proveedoras del cemento, del mortero de pega de bloques y

mortero de repello, la recolección de las bolsas vacías del producto para su reciclaje; también el uso de la formaleta fenólica, con la que reduce el consumo y desecho de madera; el uso de restos de varilla para fabricar los soportes de la formaleta y las yuguetas que se utilizan para hacer el trazado. Los residuos de bloques y adoquín se utilizan como material de relleno antes de colocar el lastre en el contrapiso y la superficie de la cochera. Además la ubicación de un centro de acopio (ver figura 11 del apéndice 6) que permite clasificar los residuos según el tipo de material.

# Conclusiones

- Tanto en el sistema modular con Modublock como en el tradicional, los mayores residuos se dan con el acero de refuerzo, concreto y mortero de repello, generándose más en el segundo sistema que en el primero.

- La cantidad de acero residual es mayor en las armaduras de viga corona y viga tapichel, que en las de cimientos, paredes, contrapiso y monchetas, debido a los ajustes necesarios, según las dimensiones.

- El concreto representa la mayor cantidad de residuo en ambos sistemas, más que todo en viga corona, viga tapichel y monchetas; esto debido a la colocación a mayores alturas, lo que provoca mayor derramamiento y segregación de la mezcla.

- El residuo de concreto representa casi un 50% más en el sistema tradicional con respecto al modular con Modublock, debido a la cantidad adicional requerida para la construcción de las monchetas.

- La diferencia en los residuos de mortero de pega de bloques en ambos sistemas es de 0,21%; esto por la presencia de polímeros que aumentan la plasticidad del mortero y, por ende, reducen los residuos de la mezcla.

- En el sistema modular con Modublock se desperdicia un 0,15% de los bloques, debido a la mala manipulación de las unidades. Mientras que en el sistema tradicional se desperdicia casi un 0,90% de los bloques Patarrá, como consecuencia de la manipulación inadecuada y los ajustes en paredes.

- En ambos sistemas se utiliza mayor cantidad de formaleta fenólica en viga corona y viga tapichel, porque se requiere en dos caras; se incluyen en el sistema tradicional las monchetas.

- En el proyecto no existe un lugar adecuado para el almacenamiento de la formaleta fenólica. En el proceso de desmontaje se dañan al dejar caer los paneles y al hacer agujeros directamente en la lámina se favorece el ingreso de humedad.

- El costo/m<sup>2</sup> de materiales de obra gris es mayor en casi ¢4.200 en el sistema modular con Modublock que en el tradicional, debido a que el costo de los bloques modulares es superior a los bloques Patarrá.

- El costo/m<sup>2</sup> del residuo en obra gris es mayor en ¢962.12 en el sistema tradicional que en el modular con Modublock.

- El costo/m<sup>2</sup> de la mano de obra gris representa en el sistema tradicional casi un 50% más respecto al sistema modular con Modublock, esto debido a la construcción de las monchetas.

- El sistema modular con Modublock deja una menor huella ecológica en el ambiente que el sistema tradicional, debido a que utiliza en general menos recursos y tiene mayor área disponible para los residuos.

- El sistema que mantiene más adecuadamente el equilibrio calidad-tiempo-costos desde el punto de vista de huella ecológica es el modular con Modublock, puesto que ofrece mayor calidad desde el inicio del proceso constructivo en cuanto a generación de residuos, menores tiempos de ejecución de las actividades y mejores costos.

# Recomendaciones

- Al manipular tanto bloques modulares como bloques Patarrá se deben seguir las recomendaciones adecuadas para el manejo seguro y apilamiento de los mismos.
- Establecer un lugar adecuado para el almacenamiento de la formaleta fenólica con protección contra la humedad.
- Aunque no fue parte de los objetivos ni alcances de este proyecto, sería interesante comparar los aspectos de seguridad en la construcción con cada uno de los sistemas.
- El transporte del concreto es necesario que sea sobre una superficie plana y con las rampas adecuadas, esto para reducir los residuos de mezcla.
- Dado que los residuos de bloques se pueden utilizar como material de relleno, es necesario triturar bien dichos residuos para que la compactación se realice adecuadamente.
- Durante el desmontaje de los paneles de formaleta fenólica se debe tener el cuidado de no dejarlos caer, esto para evitar que el marco metálico se desprenda de la lámina.
- Cuando se agrega cierta cantidad de agua adicional al concreto de relleno de las celdas, para que éste sea más trabajable, se debe tener mayor control para no se generar desperdicio de mezcla.
- Realizar las inspecciones pertinentes para garantizar el correcto uso de la formaleta fenólica, como por ejemplo revisar que la lámina de los paneles no se encuentre muy agujereada.

# Apéndices

A continuación se presentarán los siguientes apéndices:

**Apéndice 1:** Cuadro que describe detalladamente el número de trabajadores por actividad, así como el tiempo de ejecución y el costo de la mano de obra para la vivienda con el sistema modular. Cabe aclarar que se estima el costo/hora del operario en ¢1200 y del ayudante en ¢950.

**Apéndice 2:** Cuadro que describe detalladamente el número de trabajadores por actividad, así como el tiempo de ejecución y el costo de la mano de obra; para la vivienda con el sistema tradicional. Cabe aclarar que se estima el costo/hora del operario en ¢1200 y del ayudante en ¢950.

**Apéndice 3:** Cuadro para la toma de datos de campo para cada actividad, en cada sistema.

**Apéndice 4:** Cuadro para la toma de datos de campo para la actividad de pega de bloques, en cada sistema.

**Apéndice 5:** Diseño de sitio, donde se muestra la ubicación de las viviendas en estudio y su entorno.

**Apéndice 6:** Fotografías relacionadas con el proceso constructivo de las viviendas con los dos sistemas constructivos en estudio.

<b>APENDICE 1. TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA SISTEMA MODULAR MODUBLOCK</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Cuadrilla requerida</b>		<b>Tiempo de ejecución (hrs)</b>	<b>Costo total (€)</b>
	<b>Operarios</b>	<b>Ayudantes</b>		
Armadura cimientos	1	1	2,50	5.375,00
Armadura paredes (vertical)	2	2	3,50	15.050,00
Concreto cimientos	2	2	3,17	13.631,00
Pega de bloques paredes	1	2	35,75	110.825,00
Formaleta monchetas	1	1	5,00	10.750,00
Concreto monchetas	1	2	0,58	1.798,00
Desformaleteo monchetas	1	1	0,50	1.075,00
Armadura viga corona	1	1	7,50	16.125,00
Formaleteo viga corona	1	1	11,75	25.262,50
Concreto viga corona	2	2	5,00	21.500,00
Desformaleteo viga corona	1	1	1,00	2.150,00
Colocación y compactación lastre del contrapiso	1	1	7,50	16.125,00
Armadura contrapiso	1	1	3,50	7.525,00
Concreto contrapiso	2	2	4,17	17.931,00
Pega de bloques tapichel	1	1	9,00	19.350,00
Armadura viga tapichel	1	1	3,50	7.525,00
Formaleta viga tapichel	1	2	8,00	24.800,00
Concreto viga tapichel	2	2	1,00	4.300,00
Desformaleteo viga tapichel	1	1	10,00	21.500,00
Repellos	1	1	41,00	88.150,00
<b>Total</b>			<b>163,92</b>	<b>430.747,50</b>

<b>APENDICE 2. TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y COSTO DE MANO DE OBRA PARA SISTEMA TRADICIONAL</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Cuadrilla requerida</b>		<b>Tiempo de ejecución (hrs)</b>	<b>Costo total (€)</b>
	<b>Operarios</b>	<b>Ayudantes</b>		
Armadura cimientos	1	1	2,30	4.945,00
Armadura paredes (vertical)	2	2	11,00	47.300,00
Concreto cimientos	2	2	2,67	11.481,00
Pega de bloques paredes	2	3	36,67	192.517,50
Formaleta monchetas	1	2	32,00	99.200,00
Concreto monchetas	2	3	4,80	25.200,00
Desformaleteo monchetas	1	1	4,25	9.137,50
Armadura viga corona	1	1	10,00	21.500,00
Formaleteo viga corona	1	2	35,75	110.825,00
Concreto viga corona	2	3	5,67	29.767,50
Desformaleteo viga corona	1	2	2,17	6.727,00
Colocación y compactación lastre del contrapiso	1	2	7,00	21.700,00
Armadura contrapiso	1	1	2,50	5.375,00
Concreto contrapiso	2	3	4,50	23.625,00
Pega de bloques tapichel	1	2	17,75	55.025,00
Armadura viga tapichel	1	1	5,67	12.190,50
Formaleta viga tapichel	1	1	12,00	25.800,00
Concreto viga tapichel	2	2	3,75	16.125,00
Desformaleteo viga tapichel	1	1	10,00	21.500,00
Repellos	1	2	31,83	98.673,00
<b>Total</b>			<b>242,28</b>	<b>838.614,00</b>

APÉNDICE 3				
<b>Fecha</b>				
<b>Actividad</b>				
<b>Hora inicio</b>		<b>Hora fin</b>		
<b>Cuadrilla requerida</b>	<b>Operarios</b>		<b>Ayudantes</b>	
<b>Observaciones generales</b>				
<b>Residuos generados</b>				

APENDICE 4				
<b>Fecha</b>				
<b>Actividad</b>	Pega de bloques			
<b>Hora inicio</b>		<b>Hora fin</b>		
<b>Cuadrilla requerida</b>	<b>Operarios</b>		<b>Ayudantes</b>	
<b>Observaciones generales</b>				
<b>Mortero de pega de bloques</b>			<b>Concreto relleno</b>	
Saco	Sisa horizontal	Sisa vertical	Batida	Celdas rellenas
<b>Residuos generados</b>				
Longitud de bloques quebrados:				
Unidades de block quebrado:				



Figura 1. Colocación inadecuada de los bloques antes de ser pegados.



Figura 4. Colocación de concreto en viga corona.



Figura 2. Almacenamiento inadecuado de la formaleta fenólica, la cual se expone al sol y la humedad.



Figura 5. Preparación de las muestras de concreto para la prueba de resistencia a la compresión.



Figura 3. Transporte de concreto a través de una rampa.



Figura 6. Proceso de pegado de los bloques.



Figura 7. Colocación de concreto en monchetas



Figura 10. Apuntalamiento de la formaleta fenólica en una moncheta de la vivienda no modular.



Figura 8. Proceso de repello de pared, donde el codal permite lograr el espesor adecuado.



Figura 11. Centro de acopio de residuos de materiales que se clasifican según su origen.



Figura 9. Deterioro de la formaleta fenólica al ser perforada en la lámina para introducir los soportes.

# Anexos

A continuación se presentarán los siguientes anexos:

**Anexo 1:** Plano con diseño modular en planta para la hilada impar.

**Anexo 2:** Plano con diseño modular en planta para la hilada par.

**Anexo 3:** Plano con distribución de los bloques Patarrá para la hilada impar.

**Anexo 4:** Plano con distribución de los bloques Patarrá para la hilada par.

# Referencias

- Alarcón, L. et al. 2009. *Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas*. **REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS**. 3.496: 45-52.
- CEGESTI. **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**.
- Chaverri, H. 2009. *Construcción modular con mampostería integral en viviendas de interés social*. **CONSTRUCCIÓN**. 16(132): 46-48.
- Chinchilla, L. 2008. *Manejo de residuos en la obra constructiva*. **INGENIEROS Y ARQUITECTOS**. 230: 28-29.
- CONCREPAL. 2012. **MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA MODUBLOCK**.
- Goldberg, D. 2008. Setiembre. 6. *"FORMALETAS" DE MADERA PIERDEN VIGENCIA*. **LA NACIÓN**, Costa Rica.
- Matteucci, S. 2003. *La huella ecológica de la construcción: Conceptos y procedimientos*. 1-11.
- Mora, G. 2008. *Gestión y manejo de desechos de la construcción*. **INGENIEROS Y ARQUITECTOS**. 229: 20-21.
- Pinch, L. 2005. *Lean Construction: Eliminating the Waste*. **CONSTRUCTION EXECUTIVE**. 34-37.
- Productos de Concreto S.A. **CATÁLOGO DE MAMPOSTERÍA**.
- RECESO. *La Huella Ecológica*. **AMBINOR**. 4-11.
- Rodríguez, M. 1994. **BLOQUES MODULARES INTERCAMBIABLES PARA LA MAMPOSTERÍA REFORZADA**. CIVCO
- Rojas, A. 2008. **VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN DESARROLLADOS POR LA EMPRESA FOMENTO URBANO S.A.** Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. ITCR. 72 p.
- Sowards, D. 2007. *Lean Construction*. **QUALITY DIGEST**. 27(11): 32-36.