

REMODELACIÓN DE CINVA-RAM PARA OPTIMIZAR SU AUTOFABRICACIÓN Y TRANSPORTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

Carlos Darío Peña Martínez¹, Santiago Osorio Medina², Mauricio Suarez Jaramillo³

Universidad del Valle – Santiago de Cali, Colombia

¹carlos.correo2@hotmail.com, ²santiago.osorio@somstudio.co, ³mauricio.suarez@somstudio.co

Palabras clave: autoconstrucción, ensamblaje, autoproducción, aligeramiento

Resumen

El acceso a nuevas tecnologías facilita el desarrollo de diferentes áreas, entre ellas la construcción. Esto mejora la calidad de vida al ofrecer espacios seguros y fortalecer la actividad constructiva, un sector que a menudo es precario en lugares con bajo desarrollo tecnológico. Por eso, acercar la industria de pequeña escala a las comunidades es una gran oportunidad para su desarrollo y más aún si estas tecnologías usan métodos sostenibles de construcción, que benefician también al medio ambiente. En este sentido, las máquinas de fabricación de bloques de tierra comprimida son una buena alternativa si se hace más fácil su acceso y divulgación. Por eso, este trabajo busca simplificar el transporte y ensamblaje de la máquina tipo CINVA-RAM y explorar las opciones que brinda para obtener distintos tipos de bloques y elementos de tierra comprimida. El propósito es impulsar su uso y demostrar su potencial como parte de nuevos desafíos y diseños constructivos que tengan una imagen más contemporánea. Este trabajo se realizó e implementó en el proyecto Sambou Toura Drame School en Marsassoum, Senegal, África, obra construida y financiada por la fundación Let's Build my Scholl diseñada por SOM Studio arquitectos.

1 INTRODUCCIÓN

La construcción con tierra enfrenta varios retos para presentarse como una opción competitiva frente a otros medios industriales que faciliten su implementación generalizada y el aprovechamiento de sus beneficios. Entre estos retos se encuentran el tiempo de construcción, el costo de las técnicas no convencionales, el conocimiento constructivo, la mano de obra no capacitada y las herramientas y técnicas disponibles. Estos retos se deben superar para hacer de la construcción con tierra una opción más viable.

Frente a estos cuestionamientos los bloques de tierra comprimida (BTC) se presentan como una alternativa de producción local y de fabricación en serie de un producto estandarizado. La posibilidad de tener en lugares apartados de la industria y el comercio acceso a la fabricación local de bloques de construcción puede representar el fortalecimiento de las comunidades, su autonomía y desarrollo.

Respecto a las obras de arquitectura y las exploraciones en las que participan frecuentemente los involucrados en esta profesión, la oferta de los productos del mercado limita muchas veces las posibilidades formales de las obras. El acceso directo a la fabricación de los elementos in situ permite diseñar desde el elemento primario y pensar en el detalle directo y la escala real.

En la práctica, al implementar la utilización de máquinas tipo CINVA-Ram para la producción de BTC se encuentran varias limitantes a considerar: en primer lugar, el acceso a la máquina, que aunque es conocida su existencia y aplicabilidad, su adquisición puede representar un gran costo y en la mayoría de los casos se debe solicitar su producción en los lugares donde se conozca su fabricación; en segundo lugar, el transporte de dicha máquina, que puede ser un limitante, ya que para su producción es necesario contar con equipos industriales y acceso a materia prima procesada, lo cual no se encuentra cerca a los lugares apartados donde esta máquina representa una verdadera ventaja; en último lugar, la dificultad que puede

representar manipular una máquina de gran peso y volumen para que pueda ser fácilmente movilizada a distintos lugares.

Estas inquietudes motivan al presente trabajo, que explora las posibilidades de desarrollo de la máquina CINVA-Ram para lograr una opción ligera, de fácil transporte, ensamblable in situ y de diseño abierto del bloque a producir.

1.1 Objetivos

Evaluar el funcionamiento de la máquina tipo CINVA-RAM y optimizarla para crear una máquina ligera, de fácil ensamblaje y con capacidad de producir diversos tipos de bloques de tierra compactada.

2 METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se inicia con indagaciones preliminares sobre la máquina CINVA-RAM, para comprender su origen, propósito y contexto original. Luego se identifica y describe su mecanismo, su composición y la funcionalidad de sus partes. Después se realizan los cambios propuestos en su molde, modificando las partes correspondientes para garantizar su funcionamiento. Finalmente, se reemplaza cada una de las piezas restantes por una similar que pueda disminuir su peso, ser ensamblada y transportada de manera individual hasta el sitio de construcción.

2.1 Sobre la máquina CINVA-RAM

En los años cincuenta, el ingeniero chileno Raúl Ramírez creó la máquina CINVA-Ram, que fabricaba bloques de construcción de suelo-cemento de manera simple. Esta innovación promovió la autosuficiencia comunitaria y acercó procesos industriales a áreas remotas. Con el tiempo, la máquina evolucionó en la CETA-Ram (Lou Ma, 1981), introduciendo bloques más ligeros y reforzando muros sin encofrados, junto con automatización a través de prensas hidráulicas. Las características generales de la CINVA-Ram se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de máquina

Ítem	Medidas (cm)
Alto	66,5
Largo	38,9
Ancho	19,4
Volumen	32.931cm ³
Espesor de láminas	1,27

2.2 Partes que componen la máquina

- Palanca: es el elemento que se usa para activar el mecanismo y ejercer grandes presiones sobre el material a compactar. El principio de Arquímedes que se emplea en esta máquina permite alcanzar una gran compactación mediante una palanca de mayor longitud.
- Codo articulado: es la pieza central del dispositivo de palanca. Su función es transmitir el movimiento al tenedor y activar el pistón y el mecanismo de expulsión del bloque compactado.
- Tenedor: se ubica en la parte superior de la máquina. Esta pieza conecta la palanca con el pistón por medio del codo articulado y ejerce fuerza al pistón por medio de tracción. Su movimiento también activa el mecanismo de expulsión.
- Pistón: Es la parte encargada de presionar el material contenido en el molde y compactarlo para formar el bloque. El pistón en su movimiento completo también expulsa el bloque tras su compactación

- e) Molde: es el contenedor del material a compactar. Su forma determina las características finales del bloque y el volumen de tierra que se compactará desde su capacidad inicial hasta el punto máximo de ascenso del pistón durante la compactación.
- f) Base de máquina: Esta parte brinda la estabilidad al mecanismo y su anclaje al suelo. Es importante su correcta sujeción para evitar el volcamiento que se puede generar durante la activación del mecanismo de palanca. También presenta los puntos de apoyo secundarios que facilitan la expulsión del bloque al activar la palanca en el sentido contrario del primer movimiento que permite la compactación del material.
- g) Tapa: esta permite sellar el material a comprimir dentro del molde y es a su vez un punto de apoyo para el codo articulado que transfiere la fuerza al tenedor para activar el pistón.

2.3 Descripción del funcionamiento

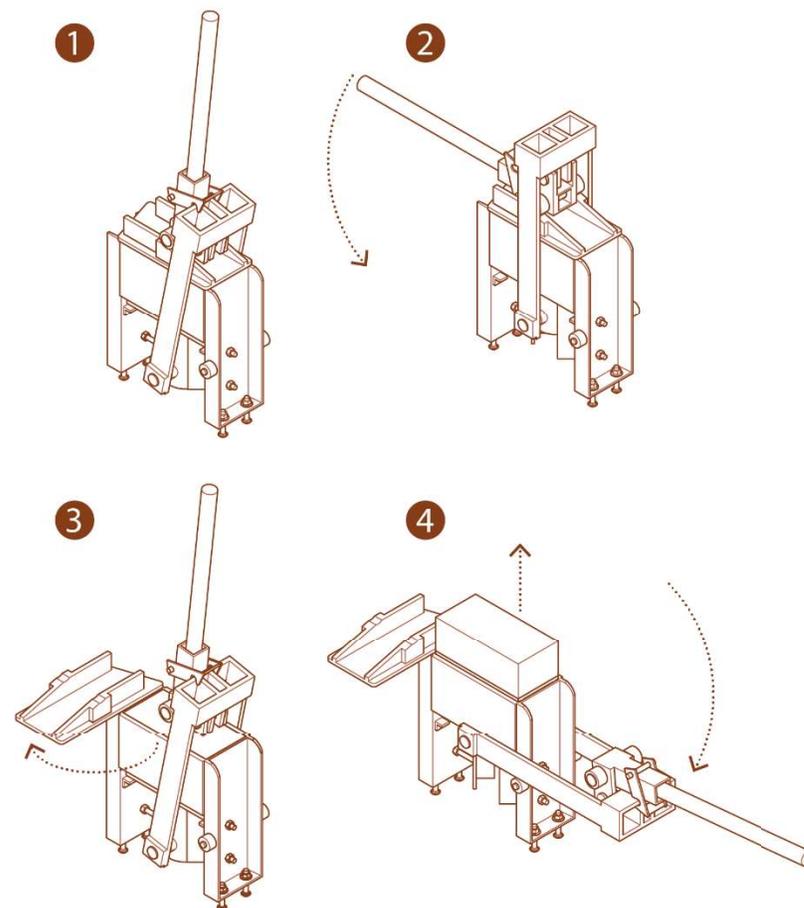


Figura 1. Funcionamiento de máquina CINVA-Ram

Primer paso: se ancla la máquina a una superficie estable y plana que permita la activación del mecanismo sin obstrucciones y que evite el volcamiento de la máquina. Si el peso de la máquina no es suficiente, se usa una tabla larga a la que se ancla la máquina, para que uno de los operarios se posicione al otro extremo y sirva como contrapeso.

Segundo paso: El codo articulado permite acoplar y desacoplar la palanca que acciona el mecanismo, facilitando su transporte al poder conseguir dicho accesorio en el sitio de operación.

Tercer paso: se aplica desmoldante al molde para facilitar la expulsión y retiro del bloque comprimido, y luego se llena el molde con la mezcla seleccionada para los bloques, considerando el tipo de tierra, el material estabilizante (cal, cemento, etc.) y las propiedades requeridas para el bloque.

Cuarto paso: se tapa y sella el espacio con la tapa, que puede estar anclada al molde o ser removible, según el tipo de máquina.

Quinto paso: se posiciona el codo articulado sobre la máquina para ejecutar el movimiento descendente de la palanca que compactará el material.

Sexto paso: tras ejercer la fuerza necesaria para que la palanca llegue hasta su punto más bajo y el pistón realice el recorrido completo, se regresa la palanca a su posición original.

Séptimo paso: se retira la tapa del molde desplazando el codo articulado en la dirección contraria del primer movimiento, y se acciona una vez más el pistón, cambiando el punto de apoyo a los apoyos dispuestos en la base de la máquina para permitir que el pistón suba hasta la parte alta del molde, expulsando así el bloque compactado (Beltrán et al., 1983).

2.4 Despiece de las partes originales de la máquina

Para fabricar la máquina mediante el corte de piezas en láser, se realiza una reinterpretación de las partes originales, adaptando su diseño a esta nueva condición, con esto se busca mayor ligereza al utilizar un acero de mayor resistencia y adaptar la máquina a partes ensamblables.



Figura 2. Piezas de máquina cortadas en láser

Después de probar el mecanismo de los modelos en 3D y corte láser, se detectaron los siguientes aspectos a mejorar:

- Ampliar el espacio interior del tenedor para evitar interferencias con los tornillos de la base de la máquina
- Verificar el giro libre del codo articulado
- Regular los puntos de apoyo de la base de la máquina para garantizar la expulsión completa del bloque
- Reforzar el tenedor con ángulos metálicos para evitar su deformación y falla
- Integrar el mecanismo de pistón con los elementos que generan los vacíos en los bloques para aligerar la máquina y proporcionar un ascenso nivelado del pistón, evitando diferencias en el tamaño final del bloque.

Para aligerar la máquina, se usan láminas de acero HR de 3mm para el molde, la base de la máquina y la tapa, reforzando su geometría con elementos complementarios. Para las otras partes, como el codo articulado, el tenedor y el pistón, se usan láminas de acero HR de 6mm, debido a que estas piezas están bajo solicitudes más altas de tracción y su longitud las hace propensas a fallar en sus uniones.

2.5 Propuesta modificación de molde

El nuevo bloque se aligera mediante dos perforaciones en su interior, que permiten reforzar los muros con varillas y hormigón al interior de los bloques, como medida complementaria al sistema de anclaje que se plantea con pestañas en la parte superior del bloque y su negativo en la parte inferior, logrando una mayor concatenación de los bloques y un muro más homogéneo. También se proponen esquinas curvas para el bloque, que facilitan la construcción de muros curvos con la geometría del bloque inicial y juntas regulares.

Para conseguir este nuevo bloque, se curva el molde original de la máquina sin alterar las dimensiones generales del bloque tradicional de tierra-cemento, se ubican dos tubos al interior del molde para generar el aligeramiento deseado y se incorporan estos tubos al mecanismo de pistón como guías. Se modifica el mecanismo de retiro de tapa para permitir su total apertura y se reemplaza la tapa por una que tenga deprimidos para generar las pestañas propuestas para el machaje de los bloques. La forma del pistón se altera con el mismo objetivo de la tapa y se añade un elemento que se denomina cuchara, que facilita el retiro del bloque sin dañar las pestañas internas inferiores.

Durante la fabricación del nuevo molde, se conservan las medidas originales del bloque, que son: 7 cm x 14 cm x 28 cm. Esta proporción es ideal para que el retiro del bloque de la máquina no presente dificultades y el bloque se mantenga íntegro. Además, al aumentar el material de compactación genera mayores esfuerzos en las paredes laterales del molde, pudiendo ocasionar la deformación del mismo con la sucesiva activación del mecanismo (figura 3).



Figura 3. Nuevo molde para BTC

2.6 Transporte de la máquina

Para su transporte se propone una forma de organización de las piezas sueltas que faciliten su manejo (figura 4).

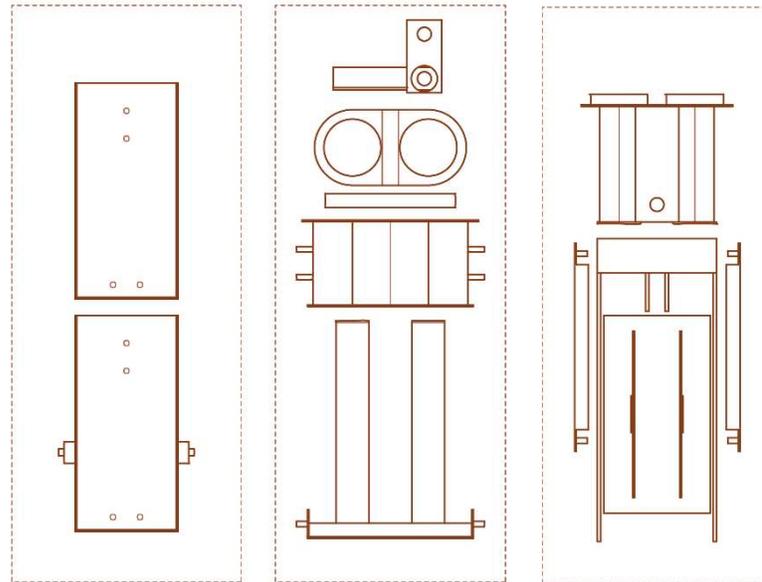


Figura 4. Esquema acomodación de partes de máquina

3 PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación, se describe el proceso de producción de los BTC después de transportar y ensamblar la máquina en el lugar de la obra en Marsassoum, Senegal (figura 5).



Figura 5. Fabricación de bloques

3.1 Determinación de la proporción de tierra y estabilizante

Las pruebas realizadas con tierra cercana al lugar de construcción arrojaron una tierra alta en arena y otra con altos niveles de arcillas y un elemento adicional llamado laterita, un árido muy fino con excelentes prestaciones para la construcción debido a sus capacidades aglutinantes

y baja absorción de agua. Se compone principalmente de hierro, aluminio y otros minerales con baja presencia de sílice. Debido a sus buenas prestaciones y fácil acceso a este suelo, se optó por su implementación en el proyecto.

Para la fabricación de los bloques, se decidió utilizar cemento como estabilizante. Con el fin de determinar la proporción más adecuada de cemento en la mezcla, se realizaron pruebas con proporciones del 5%, 8% y 10%. El objetivo era encontrar la proporción que ofreciera la resistencia adecuada con el menor uso de cemento, para que los beneficios de la construcción con tierra, como la regulación térmica, de humedad y temperatura, no se vieran reducidos por la implementación excesiva del estabilizante.

Después de fabricar algunos bloques de prueba con diferentes proporciones de cemento en la mezcla, se humedecieron y se cubrieron con plástico durante aproximadamente 28 días. Durante este tiempo, el curado de los bloques se completó en gran medida y su resistencia alcanzó el punto máximo.

Una vez fabricados los bloques, se realizaron diferentes pruebas para determinar su respuesta a los diferentes esfuerzos y evaluar su idoneidad. Estas pruebas se basaron en la norma UNE 41410 (2008) e incluyeron pruebas como resistencia a compresión, ensayo de humectación/secado, ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) y ensayo de absorción de agua por capilaridad (figura 6).



Figura 6. Pruebas realizadas a bloques (Crédito: Barbara Girordano)

Tabla 2. Pruebas a resistencia de diferentes mezclas

Test	Arena (%)	Laterita (%)	Cemento (%)	Cal (%)	Arcilla (%)	Compresión a 20 Mpa	Compresión a 40 Mpa
1	70	30				No aprobó	No aprobó
2	66.50	28.5	5			No aprobó	No aprobó
3	63	27	10			No aprobó	No aprobó
4	59.5	25.5	15			Aprobó	No aprobó
5	64.4	27.6	8				
6	66.5	28.5		5			
7	63	27		10			
8	59.5	25.5		15			
9	64.40	27.6		8			
10	56	24	20			Aprobó	Aprobó
11	56	24		20			
12	52.5	22.	25			Aprobó	Aprobó
13	52.5	22.5	5	20			
14		30			70		
15		27	10		63	Aprobó	Aprobó
16		25.5	15		59.5	Aprobó	Aprobó
17		24	20		56	Aprobó	Aprobó
18		27		10	63	No aprobó	
19		25.5		15	59.5	No aprobó	
20		24		20	56	No aprobó	
21		50			50	Aprobó	No aprobó
22		45	10		45	Aprobó	No aprobó
23		47.5	5		47.5	No aprobó	
24		42.5	15		42.5	Aprobó	Aprobó
25		95	5			No aprobó	
26		92	8			Aprobó	
27		90	10			Aprobó	Aprobó
28		88	12			Aprobó	No aprobó
29		85	15			Aprobó	Aprobó
30		80	20			Aprobó	Aprobó

2.7 Bloque resultante

Tras realizar las pruebas se optó por fabricar bloques con una proporción de cemento del 10%, esto para obtener una resistencia adicional por tratarse de una obra de infraestructura educativa. Esta proporción a su vez permite disponer de las propiedades de confort de la tierra para los espacios interiores sin que el cemento las anule.

Tabla 3. Dimensiones de BTC propuesto

Ítem	Medidas (cm)
Alto	7
Largo	28
Ancho	14
Proporción cemento	10%

4 CONCLUSIONES O CONSIDERACIONES FINALES

Fue posible aligerar la máquina CINVA-Ram reemplazando algunos elementos por láminas de acero de mayor resistencia y reforzando algunas partes con elementos redundantes que contrarresten los esfuerzos a los que son sometidas. Descomponer la máquina en partes para ensamblarla in situ facilita su transporte y permite reemplazar partes específicas que requieran ser cambiadas por fallas o cambios en el diseño, especialmente el molde. Sin embargo, el proceso de ensamble in situ genera articulaciones en la máquina que requieren vigilancia frecuente por parte del operario para identificar posibles desajustes que alteren la geometría del bloque. Estas pequeñas diferencias, aunque imperceptibles a simple vista, pueden representar inconvenientes al construir los muros, generando diferentes espesores de morteros de pega.

El aligeramiento en los bloques permite reforzar los muros por medio de concreto y varillas de acero en diferentes puntos del muro sin debilitar el bloque individual, ya que este aún conserva su capacidad portante original. Esta posibilidad de refuerzo permite tener construcciones más seguras y buenas prácticas asociadas a la técnica constructiva.

El mecanismo de la máquina CINVA-Ram permite reemplazar o alterar su molde para producir bloques de diferentes geometrías. Para esto, se debe considerar la relación de las partes con el mecanismo en ejecución evitando interferencias y las implicaciones que puedan tener dichas alteraciones en partes como el pistón y la tapa. Dentro de las modificaciones que se deseen hacer para obtener un bloque diferente, no es recomendable aumentar las dimensiones del bloque, ya que esto podría dificultar la expulsión y retiro exitoso del bloque y someter el molde y el mecanismo a esfuerzos mayores de los considerados en el dimensionamiento original de los elementos.

La implementación de la máquina CINVA-Ram continúa vigente y los desarrollos que la hagan visible y difundan su utilización permiten el fortalecimiento de las comunidades y sus procesos de autoconstrucción y desarrollo tecnológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beltrán, S. G.; Omaña, M. O.; Diaz, E. A.; Copaleda, D.Z.; Londoño, A. P.; Turbay, M. M. (1983) Autoconstrucción. Modulo 6: prefabricados; Unidad 10: bloques y tubos. Senafad: formación abierta y a distancia. Colombia: SENA

Lou Ma, Roberto (1981). Manual para la construcción de la CETA-RAM. Guatemala: Centro de Investigación de Ingeniería.

UNE 41410 (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. España: Asociación Española de Normalización y Certificación

AGRADECIMIENTOS

A los fundadores de LET'S BUILD MY SCHOOL, Leila Meroue y Abdul-Karim, por su compromiso con la fidelidad del diseño original del proyecto, a el equipo de SOM Studio arquitectos por su participación en el desarrollo del diseño para la escuela y posterior construcción. También se agradece a Barbara Giordano por su abnegada labor en la dirección de la obra, a toda la comunidad de Marsassoum por su participación en el proyecto y a todos los voluntarios que participaron en la construcción y recaudación de fondos, gracias a los cuales fue posible construir una nueva escuela.

AUTORES

Carlos Darío Peña Martínez, arquitecto de la universidad del valle, integrante del equipo para la coordinación técnica y el diseño del proyecto Sambou Toura Drame school LET'S BUILD MY SCHOOL

Santiago Osorio Medina, master in design for work, reatil and learning enviroments, arquitecto de la universidad del valle, integrante del equipo para la coordinación técnica y el diseño del proyecto Sambou Toura Drame school LET'S BUILD MY SCHOOL, Fundador de la firma SOM Studio arquitectos

Mauricio Suarez Jaramillo, arquitecto de la universidad del valle, integrante del equipo para la coordinación técnica y el diseño del proyecto Sambou Toura Drame school LET'S BUILD MY SCHOOL, Fundador de la firma SOM Studio arquitectos