

# Viabilidad Técnica De Vivienda Campesina Con Muros De Gaviones En Los Llanos Orientales De Colombia

*Technical Viability Of Country Housing With Gabion Walls In The Colombia Eastern Plains*

\*Julián S. Bolívar  Universidad Santo Tomas

Alexander Solarte  Universidad Santo Tomas

## RESUMEN

El presente estudio tiene el objetivo de determinar la viabilidad técnica de un sistema constructivo de muros en gaviones aplicados a viviendas campesinas ubicadas en los llanos orientales de Colombia. Se realizó un diseño arquitectónico y estructural mediante un modelo en elementos finitos (MEF) de una vivienda que cumpla las necesidades básicas. Se determinó que los esfuerzos generados sobre los muros en gaviones debido a las cargas de diseño según la norma sismo resistente de Colombia (NSR-10), corresponde a 11,4% de su capacidad y que sus derivas corresponden a un valor del 61% del valor máximo exigido. La capacidad de los muros se determinó con base a una recopilación de información del estado del arte sobre investigaciones de propiedades mecánicas de gaviones con materiales similares que se encuentren en la zona de estudio. Finalmente se realizó un estudio económico de los costos de construcción de viviendas con el sistema propuesto y se obtuvo una reducción del 60% con respecto a una vivienda convencional, debido a que la mano de obra se asume que la realiza la misma comunidad.

**Palabras clave:** Viabilidad, gavión, esfuerzo, deformación, modelación

## ABSTRACT

The objective of this study is to determine the technical feasibility of a gabion wall construction system applied to rural houses located in the eastern plains of Colombia. An architectural and structural design was developed through a finite element model (FEM) of a house that presents the basic requirements. It was determined that the forces generated on the gabion walls due to the design loads according to the Colombian seismic resistant standard (NSR-10), corresponds to 11.4% of their capacity and that their drifts correspond to a value of 61% of the maximum required value. The capacity of the walls was determined based on a compilation of state-of-the-art information on research on the mechanical properties of gabions with similar materials found in the study area. Finally, an economic study of the construction costs of houses with the proposed system was carried out and a 60% reduction was obtained with respect to a conventional house, since the labor is assumed to be done by the community itself.

**Keywords:** Viability, gabion, stress, deformation, modeling.

1. *Ingeniero Civil, Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, Colombia,*  
[julianbolivar@usantotomas.edu.co](mailto:julianbolivar@usantotomas.edu.co), 

*dirección: Calle 5 sur #28-149*

*\*Autor para correspondencia.*

2. *Magister en Ingeniería, Docente Tiempo Completo Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, Colombia,*  
[alexandersolarte@usantotomas.edu.co](mailto:alexandersolarte@usantotomas.edu.co)

 *\*Autor para correspondencia.*

*Fecha recepción:*

*Fecha aceptación:*



© 2022 Universidad de Córdoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

## INTRODUCCIÓN

Los gaviones, son grandes contenedores de piedras confinadas por medio de una malla de alambre galvanizado, estos, se han venido implementando desde su aparición en el año 700 A.C. en Egipto [1], hasta el día de hoy como muros de contención para evitar deslizamientos de taludes, bien sean naturales o intervenciones artificiales.

En los últimos años se han venido reconociendo a los gaviones como elementos con cualidades estéticas y arquitectónicas propias, haciendo de ellas obras llamativas por sus novedosos diseños. Algunas aplicaciones de estos son: “Diseño de escaleras en gaviones”, “Muros decorativos con plantas incorporadas”, “Estructura de horno hecha con gaviones”, “Cama de gaviones para cultivar plantas” [2] y demás. Los anteriores son algunos ejemplos de construcciones no convencionales utilizando este material, el cual nos indica, que el gavión ha ganado espacio en usos diversos, no solo como muros de contención.

Actualmente existen investigaciones realizadas a la estructura del gavión, la cual, ha sido sometida a diferentes ensayos de laboratorio con la finalidad de estudiar estos materiales y obtener sus propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas, están dirigidos al estudio de la resistencia, eficiencia y funcionamiento de tales estructuras. Pero, cabe destacar que estas investigaciones han sido realizadas para el uso de gaviones como material de relleno, de drenaje y de contención, mas no para uso de construcción de muros de vivienda [3].

Los muros en gaviones pueden actuar como

elemento estructural de una vivienda, que le confiere a la edificación unas condiciones estéticas y arquitectónicas propias y únicas; lo que, sumado a temas de comportamiento mecánico, bioclimático y de ahorro energético, se convierte en una alternativa viable para la construcción de viviendas para poblaciones vulnerables y de bajos recursos. Este sistema puede brindar una alternativa novedosa y particular para el desarrollo del hábitat rural en los Llanos Orientales de Colombia, donde el tipo de roca que se encuentra en la zona de estudio son sedimentarias y metamórficas [4]. Adicionalmente el uso de este sistema constructivo puede facilitar la obtención de viviendas de bajo costo y además la reducción de la contaminación ambiental, debido a que permitiría una reducción significativa en el uso de cemento y del acero en la producción de vivienda, que son los materiales de mayor costo económico y generan una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en su fabricación.

Por ello, mediante este documento se presenta el diseño sismo resistente de una vivienda con muros en gaviones mediante un modelo numérico en elementos finitos (MEF) como lo permite el título A.5.2 de la NSR-10 [5], generando con el uso de este sistema una reducción de costos y aportando en la conservación del medio ambiente. Este trabajo, hace parte del Proyecto de investigación “VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MUROS DE GAVIÓN APLICADOS A LA PRODUCCIÓN DE VIVIENDA CAMPESINA EN LA REGIÓN DE LOS LLANOS ORIENTALES”, el cual es desarrollado por el grupo de GEOAMENAZAS de la facultad de

Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas en convenio con la Universidad Antonio Nariño de Villavicencio-Meta.

### PROPUESTA ARQUITECTÓNICA

Para el desarrollo de esta etapa, se proponen recomendaciones de diseño y distribución de espacios para una vivienda campesina que permitan contribuir a la satisfacción de las necesidades y expectativas de esta población. Entre las recomendaciones se propone que la estructura debe ser flexible para permitir que la vivienda se adecue de forma progresiva, donde involucre la participación del usuario como principal protagonista de la mano con el profesional del proyecto. Además, la vivienda debe estar condicionada a la evolución de las

necesidades y expectativas de esta población, cumpliendo con sus tradiciones, costumbres y gustos. Lo anterior, teniendo en cuenta su estilo de vida, incluyendo las limitaciones económicas, los cuales son los encargados de finalmente determinar parámetros como funcionamiento y la estética del espacio. Esto nos indica entonces que para la correcta evaluación y diseño de esta vivienda se deben relacionar la escala rural con la arquitectónica. En la Ilustración 1, se muestra una imagen de viviendas de una comunidad campesina ubicada en la región de los llanos orientales donde se puede apreciar las condiciones en las que vive dicha población.



Ilustración 1 Condiciones De Viviendas Actuales De Los Campesinos Ubicados En La Región De Los Llanos Orientales

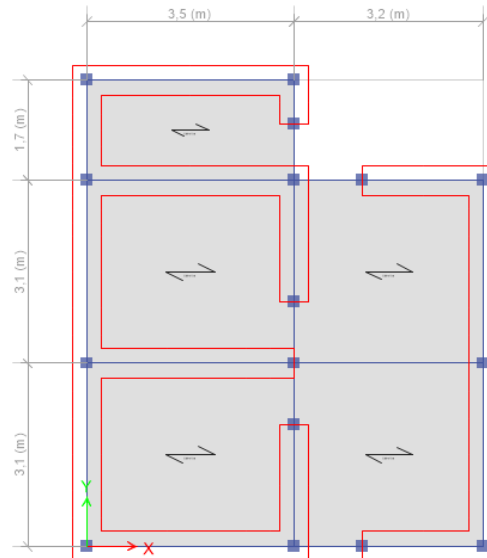
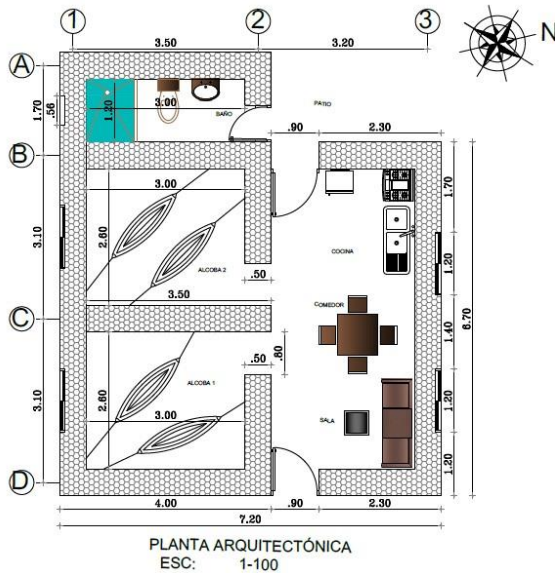
De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se buscó realizar una propuesta arquitectónica de una vivienda con muros

de gavión con el objetivo de suplir todas las necesidades básicas que requiere esta comunidad campesina en la zona rural de

Villavicencio, los cuales suelen vivir en condiciones estructurales poco optimas (de acuerdo a la anteriores ilustraciones) brindando una alternativa novedosa y particular para el desarrollo del hábitat rural en los Llanos Orientales de Colombia y además brindar una viabilidad técnica y económica para los ocupantes.

Para la realización de la propuesta arquitectónica, se optó por la utilización de dos diferentes softwares, los cuales fueron, AutoCAD y Skectchup. El primer software

fue utilizado para la construcción del plano arquitectónico de la vivienda con vista en planta, donde se determinó la distribución de los diferentes espacios que conforman la vivienda con sus dimensiones como se puede observar (a). Una vez determinadas las dimensiones de la vivienda campesina, se procedió a su diseño en 3D en Sketchup, para brindar una concepción más realista de la propuesta arquitectónica de la estructura, como se muestra en la Ilustración 2.



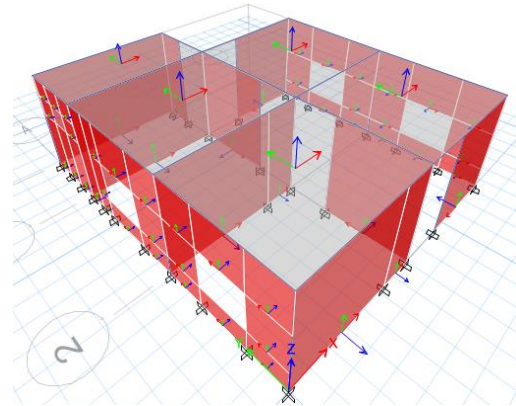
(a)

(b)

Ilustración 2 Vista En Planta Del Plano Arquitectónico Y Del Mef De La Vivienda



(a)



(b)

Ilustración 2 Vista Isométrica Del Diseño Arquitectónico Y Del Mef De La Vivienda

### Caracterización del material

Esta segunda etapa consistió en la búsqueda y recopilación de información relacionada con la caracterización de las propiedades mecánicas del material que se encuentra en la zona de estudio a partir del estado del arte, las cuales se determina que el tipo de roca que se encuentran en dicha zona son sedimentarias y metamórficas, de acuerdo al estudio realizado por G. Chicangana [4]. A partir de lo anterior y de la búsqueda realizada para la obtención de información sobre parámetros técnicos de los gaviones, se recurrió a un proyecto de investigación realizado en Taiwán, titulado “DEFORMATION ANALYSES OF GABION STRUCTURES” realizado por los ingenieros Der-Guey Lin, Bor-Shun Huang y Shin-Hwei Lin, el cual consiste en las medidas y modelación en elementos finitos de gaviones con y sin restricciones sometidos a un esfuerzo de compresión y a cargas laterales con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de dicha estructura, ya que los laboratorios de

la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio no cuenta con la dotación de equipos para realizar este tipo de ensayos [6].

**Esfuerzo a compresión máximo resistente**  
La información puntual que se tuvo en cuenta del estudio del estado del arte fue con el objetivo específico de determinar la curva esfuerzo-deformación representativa que represente el comportamiento mecánico de los gaviones. La curva esfuerzo-deformación de las diferentes condiciones se muestra en la Ilustración 3, donde la función de color rojo y negro representa el comportamiento que se obtiene de los gaviones a partir de un esfuerzo sometido a compresión con restricción lateral de manera experimental y modelado, respectivamente. Mientras que la función de color azul y verde representa el comportamiento que se obtiene de los gaviones a partir de un esfuerzo sometido a compresión sin restricción lateral de manera experimental y modelado, respectivamente. A partir de los ensayos

experimentales se construyó una función matemática que representara el comportamiento mecánico del material, el cual se usó como insumo para construir el MEF. Los datos utilizados en esta investigación según las condiciones a las

cuales va a estar sometidos los muros de gaviones corresponden a la curva de color rojo como se muestran en la Tabla 1, debido a que los muros en gaviones de las viviendas van a estar confinados por columnas y viguetas de concreto reforzado.

Grafica Esfuerzo - Deformacion

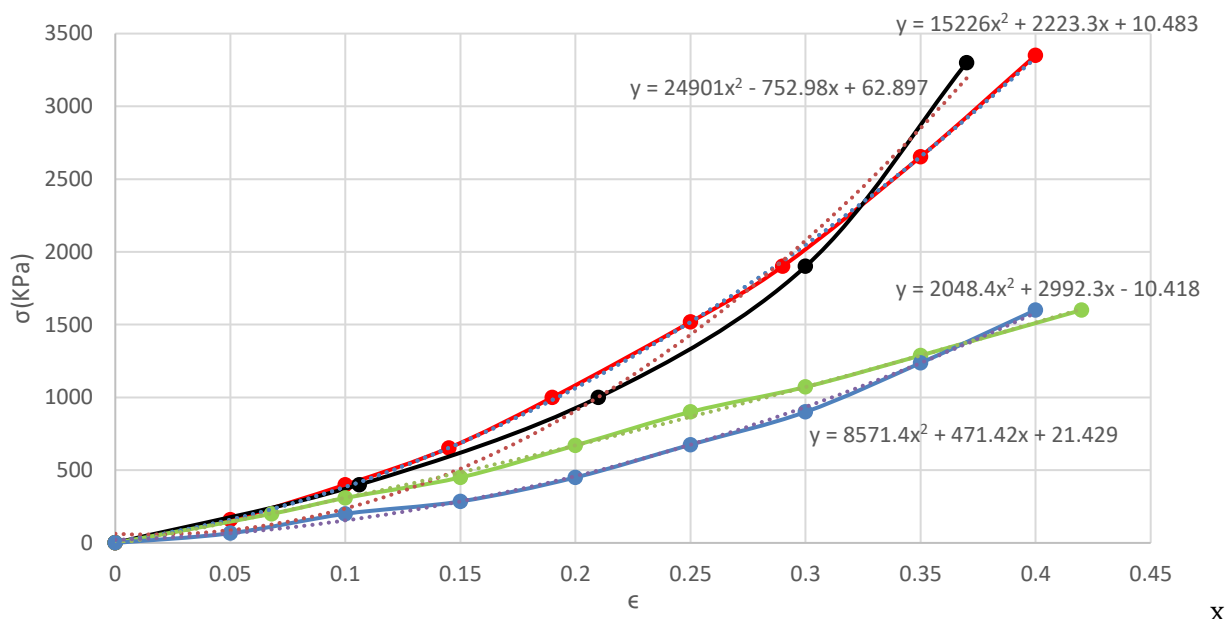


Ilustración 3. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN CON SUS RESPECTIVAS LÍNEAS DE TENDENCIA Y ECUACIONES CUADRÁTICAS. ADAPTADO DE [6].

Tabla 1 DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA CURVA ESFUERZO A COMPRESIÓN-DEFORMACIÓN. ADAPTADO DE [6].

$\epsilon$	0	0,050	0,100	0,145	0,190	0,250	0,290	0,350	0,400
$\sigma$ (kPa)	0	159,72	400,00	653,00	1000,00	1517,96	1900,00	2653,86	3350,00

Donde

$\epsilon$ : deformación unitaria

$\sigma$ : esfuerzo de compresión

Una vez determinados los datos a utilizar, se establece que la carga máxima a

compresión que soporta el gavión al ser sometido a un esfuerzo de compresión es de

3350 kPa. Adicionalmente, se determinó el módulo de elasticidad (E) como la pendiente del rango lineal de la curva esfuerzo-deformación, obteniendo un resultado aproximado de 8324,09 kPa.

Cabe destacar, que se optó por trabajar con la curva obtenida a partir de gaviones con restricciones laterales medido en laboratorio, debido a que anteriormente se había planteado la implementación de estos muros gaviones sin restricciones laterales, pero esta condición fue poco viable ya que se generaba un desplazamiento lateral excesivo en la estructura. Por tal motivo se optó por realizar el análisis con muros en gaviones con restricción lateral mediante el confinamiento con columnetas.

Esfuerzo a cortante máximo resistente

La segunda información puntual obtenida de la investigación realizada fue la obtención de la curva Esfuerzo a cortante ( $\tau$ ) – Modulo a cortante (G) [6].

La anterior curva especificada, fue necesaria para la obtención del esfuerzo a cortante resistente del muro, el cual se determinó hallando el módulo a cortante del muro usando la siguiente ecuación.

Ecuación 1 MÓDULO A CORTANTE DE UN MATERIAL [7]

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Donde G es el módulo a cortante de un material, E es el módulo de elasticidad determinado anteriormente y  $\nu$  es el coeficiente de poisson (0,3). Este último

valor determinado del estado del arte anteriormente mencionado [6].

$$G = \frac{8324,09}{2(1 + 0,3)} = 3201,5 \text{ kPa}$$

Una vez determinado este parámetro, se opta por calcular el esfuerzo cortante resistente del muro despejando de la siguiente ecuación.

Ecuación 2 ESFUERZO A CORTANTE RESISTENTE DEL MURO

$$G = 5,333\tau + 0,44$$

$$\tau = \frac{G-0,44}{5,333}$$

$$\tau = \frac{3201,5-0,44}{5,333} = 600,57 \text{ kPa} = 0,60 \text{ Mpa}$$

Donde finalmente el resultado obtenido del esfuerzo cortante resistente del muro fue de 0,60 Mpa.

Parámetros adicionales

Otros parámetros necesarios para la realización de este trabajo fueron: Peso específico del material (canto rodado) y ángulo de fricción. El peso específico fue obtenido a partir del estudio de investigación de V. Villegas, presentado en la revista Ciencia, Cultura, Tecnología e Innovación del año 2012, donde aseguran que el peso específico del canto rodado es de 1797 Kg/m<sup>3</sup>. El ángulo de fricción fue determinado a partir de la búsqueda de información del estado del arte mismo donde se realizaron los ensayos de compresión y carga lateral anteriormente visto [6].

Análisis sísmico y modelación de la estructura

En esta etapa se realizó el respectivo análisis sísmico y modelación numérica de la estructura como requisito primordial para dar viabilidad técnica a la vivienda diseñada con muros gavión a partir de información obtenida en las etapas anteriores. Dicho modelo numérico fue realizado utilizando el software ETABS siguiendo las recomendaciones del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), como se puede observar en la (b) e Ilustración 2 (b).

#### Descripción de la estructura

La estructura es una vivienda de 1 piso diseñada con muros portantes en gaviones sin revestimiento de espesor de 50cm. La estructura cuenta con un área total de 47 m<sup>2</sup>, una altura máxima de 2.7 metros con los espacios necesarios para para generar una vida digna a dicha comunidad campesina. Estos espacios están conformados por dos habitaciones, una cocina, un comedor, un baño y un patio trasero.

#### Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada en la región de los llanos orientales, más específico en las zonas rurales cercanas a Villavicencio, municipio y capital del departamento del Meta.

#### Espectro de diseño

Para la obtención del espectro de diseño, se tomó en cuenta las recomendaciones exigidas por la NSR-10 para la obtención de los diferentes parámetros que lo conforman. Villavicencio se clasifica como zona de amenaza sísmica Alta según la tabla A.2.3-2 de la NSR-10, la aceleración horizontal

pico efectiva ( $A_a$ ) igual a 0,35, la velocidad horizontal pico efectiva ( $A_v$ ) igual a 0,3, el perfil del suelo D,  $F_a$  igual a 1,15,  $F_v$  igual a 1,8, un coeficiente de importancia 1 y los periodos de vibración  $T_o = 0,134$ ,  $T_c = 0,644$  y  $T_L = 4,32$ .

Cabe aclarar, que, para la determinación del tipo del suelo, se optó por la recopilación de información sobre estudios de suelos realizados en diferentes puntos de la ciudad de Villavicencio, donde se encontró en cada uno de los estudios que el perfil de suelo correspondiente es tipo D.

Para el diseño de la cimentación. se basó en el título E de la NSR-10 implementando vigas de cimentación de 50cmx50cm.

#### Determinación de las irregularidades según A.3 NSR-10

Un factor importante para que una edificación tenga un comportamiento estructural óptimo durante un evento sísmico, es que su sistema estructural tenga una tipología regular. Por tal motivo a continuación se presenta la verificación de las irregularidades en planta, altura y por ausencia de redundancia de la estructura en estudio.

#### Revisión irregularidades en planta

No presenta irregularidad torsional.

No presenta irregularidad torsional extrema.

Si presenta irregularidad por retroceso en las esquinas.

No presenta irregularidad del diafragma.

No presenta irregularidad por desplazamientos de los planos de acción.



No presenta irregularidad por sistemas no paralelos.

Esto nos indica que el valor del coeficiente de irregularidad en planta es igual a 0,9.

Revisión de irregularidades en altura

No presenta irregularidad por rigidez.

No presenta irregularidad por distribución de masa

No presenta irregularidad por geometría

No presenta irregularidad por desplazamiento de los planos de acción

No presenta irregularidad por cambios de rigidez

Esto nos indica que el valor del coeficiente de irregularidad en altura es igual a 1.

Revisión de irregularidades por ausencia de redundancia

No presenta irregularidad por ausencia de redundancia

Esto nos indica que el valor del coeficiente de irregularidad por ausencia de redundancia es igual a 1.

Coeficiente de disipación de energía (R)

El coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico,  $R_o$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura, en planta, y por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica. Para determinar el valor de  $R_o$ , se consideró que los muros de carga construidos con

gaviones no presentan disipación de energía, por lo tanto,  $R_o$  se tomó como uno (1), finalmente, el valor del coeficiente de disipación de energía en X y en Y fue igual a  $R=0,9$ .

Fuerza Horizontal Equivalente

En este punto, se realizó el cálculo del cortante Basal según el espectro de diseño y el periodo aproximado de la estructura empleando la ecuación A.4.2-3 de la NSR-10. Se obtuvo el valor del cortante en la base como 507,215 kN para un periodo natural aproximado de 0,497 segundos.

Verificación de derivas

La deriva de una estructura es la relación entre los desplazamientos relativos por piso con respecto a la altura del piso. Los valores obtenidos de derivas a partir del MEF en la dirección X fue igual a 0,61% y en dirección Y igual a 0,58%.

Cabe aclarar, que según el apartado A.6.4.1.5 de la NSR-10 para edificaciones de un piso no existen límites de deriva. Sin embargo, se hizo el respectivo análisis donde se puede observar que las derivas no exceden el valor máximo permitido de 1,00%.

Distribución simétrica de los muros a partir del título E de la NSR-10

Longitud mínima de muros

Para el cálculo de la longitud mínima requerida para los muros, se tuvo en cuenta la ecuación E.3.6-1 de la norma:

$$\text{Ecuación 3 } L_{\min} = \frac{M_o A_p}{t}$$

Donde  $M_o$  y  $A_p$  se toman de acuerdo a las recomendaciones exigidas por la norma, los valores fueron los siguientes  $M_o = 30$ ,  $A_p$

= 36,70 m<sup>2</sup> y t = 0,50 m.

De acuerdo a los datos anteriormente obtenidos, se procede al cálculo de la longitud mínima y la verificación de su cumplimiento, donde de acuerdo a lo empleado por la norma su longitud mínima requerida fue de 2,2 metros para posteriormente dar cumplimiento con la distribución de muros.

Una vez determinada la longitud mínima de los muros, se procede a verificar a distribución simétrica de los muros exigida por la norma con la ecuación E.3.6-2, la cual nos dice que la distribución simétrica tiene que ser menos al 15% tanto para X como para Y de acuerdo a la ecuación recomendada por la norma, estos valores fueron iguales a 3,6% y 0,9%  
Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2 COMPARACIÓN DEMANDA – CAPACIDAD DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN

F'm (Compresión)	Esfuerzo parte superior	Esfuerzo parte inferior
DEMANDA (Mpa)	0,06	0,06
CAPACIDAD (Mpa)	3,4	3,4
ISE (%)	1,8%	1,9%

Tabla 3 COMPARACIÓN DEMANDA – CAPACIDAD DEL ESFUERZO A CORTANTE

$\tau$ (Cortante)	Esfuerzo parte superior	Esfuerzo parte inferior
DEMANDA (Mpa)	0,067	0,069
CAPACIDAD (Mpa)	0,600	0,600
ISE (%)	11,1%	11,4%

Se obtuvieron valores de ISE máximos de 1,9% y de 11,4% para compresión y cortante respectivamente en comparación a un 100% de su capacidad.

Análisis de esfuerzos a tensión

respectivamente, dando así cumplimiento a lo exigido.

Análisis de esfuerzos a compresión y a cortante

A partir del modelo en elemento finitos se determinaron los valores máximos de esfuerzos a compresión y a cortante generados debido a las diferentes solicitaciones. Estos valores se compararon con respecto a los valores resistentes determinados anteriormente como  $f'm = 3,4\text{MPa}$  a compresión y  $\tau = 0.6\text{MPa}$  a cortante. El índice de sobreesfuerzo (ISE) es la relación de la demanda máxima y la capacidad del muro. La comparación se puede evidenciar en la

La capacidad a tensión de los muros en gaviones la brinda la malla electrosoldada. Para su análisis se determinó el valor máximo del momento de diseño al que están siendo sometidos los muros, el cual tuvo un valor de  $M_u = 0,627\text{ kN}\cdot\text{m}$ . Una vez

obtenido el momento actuante máximo del MEF, se procede a calcular el área de acero mínimo requerido para la construcción de las canastas con malla electrosoldada de los gaviones, las cuales a su vez aportaran resistencia a los gaviones ante los esfuerzos de tensión a los que están sometidos. El área de acero fue determinada mediante la igualación del momento de diseño  $M_u$  y el momento nominal resistente  $M_n$ , el cual es mostrado a continuación.

Ecuación 4 Momento actuante = Momento resistente

$$M_u < M_n = A_s F_y \left( \frac{H}{2} - d' \right)$$

Donde:

As: Área de acero de refuerzo longitudinal (m<sup>2</sup>).

Fy: Limite elástico (420000 kPa).

H: Altura (0,5 m).

d': Altura efectiva del acero (0,06 m).

De la anterior ecuación, se despejo el área de acero para su respectivo calculo.

$$\text{Ecuación 5 } A_s = \frac{M_{act}}{F_y \left( \frac{H}{2} - d' \right)}$$

Reemplazando los datos, el valor obtenido para el área de acero de refuerzo longitudinal fue de 0,08 cm<sup>2</sup>.

Una vez determinado el acero de refuerzo mínimo requerido, se plantea un área de acero para las mallas electrosoldadas que conforman las canastas de los gaviones. Lo anterior, teniendo en cuenta las exigencias de la norma INVIAS.

De acuerdo a las dimensiones mínimas y máximas que permite la norma para el acero, se opta por barras calibre 10 (3,4 mm) separadas cada 10 cm en ambos sentidos y un área de acero por metro

cuadrado de 0,91 cm<sup>2</sup>.

Una vez obtenida el área de acero propuesta para la construcción de la malla de los gaviones se procede a calcular el momento resistente de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 6 } M_n = A_s F_y \left( \frac{H}{2} - d' \right)$$

$$M_n = 9,1 \times 10^{-5} * 420000 * \left( \frac{0,5}{2} - 0,06 \right) \\ = 0,712 \text{ kN-m}$$

Finalmente, se determinó el índice de sobre esfuerzo al comparar el momento actuante con respecto al momento resistente, el cual dio un resultado igual al 88%. De acuerdo a el resultado anterior, se evidencia que la capacidad máxima de momento nominal resistente es suficiente para los momentos actuantes a los cuales están sometidos los muros.

Debido a que los muros en gaviones presentan ductilidad a tensión muy baja, se planteó la construcción de este sistema de muros gavión confinados mediante columnas y viguetas de concreto reforzado, bajo las recomendaciones exigidas del título E de la norma sismo resistente (NSR-10), con el objetivo de que estos elementos sean los que brinden la ductilidad necesaria de la estructura durante un evento sísmico y permita la evacuación de la edificación. Dichos elementos se diseñaron con secciones de 20x20 (cm) y de 20x25(cm), cada uno reforzado con cuatro barras de diámetro ½" (1.27 cm).

## ANALISIS ECONOMICO

En esta cuarta etapa se busca determinar el presupuesto necesario para la construcción de la vivienda campesina con muros gavión

sin revestimiento, mediante la realización de un análisis de precios unitarios (APU) de un metro cúbico de este tipo de muros. Para ello, se tuvo en cuenta el costo directo de los materiales para la construcción de los gaviones determinado a partir de la base de datos de la empresa de ingeniería CYPE

Ingenieros, S.A.

Teniendo en cuenta la anterior información, se procede a determinar el precio unitario de los muros gavión sin revestimiento, donde, el costo para la construcción de estos es de 165.726\$/m3.

Tabla 4 APU DE 1M3 DE MURO EN GAVIÓN.

PRESUPUESTO DE VIVIENDA CAMPESINA CON MUROS DE GAVIONES		ITEM N°		Muro de Gaviones	
		3.1		UND	m3
MATERIALES EN OBRA					
	DESCRIPCION	UND	VR. UND	RENDI M	VALOR ITEM
1	Caja de 1x0,5x2 de malla electrosoldada con alambre galvanizado	UND	\$56.982,00	1	\$ 56.982,00
2	Cable de acero galvanizado de 2mm	M	\$2.110,00	6	\$ 12.660,00
3	Puntilla acero 2"	KG	\$2.464,00	0,5	\$ 1.232,00
4	Tablón madera 20x7,2 cm	M	\$8.320,00	2	\$ 16.640,00
5	Canto rodado seleccionados de 10 a 20 cm	M3	\$73.814,00	1	\$ 73.814,00
				Sub total	\$ 161.328,00
EQUIPO					
	DESCRIPCION	UND	TARIFA HORA	RENDI M	VALOR ITEM
1	Herramienta mayor	JGO	\$350,00	5,00	\$70,00
2	Herramienta menor	JGO	\$350,00	5,00	\$70,00
				Sub total	\$ 140,00
MANO DE OBRA					
	TRABAJADOR	CAN T	SALARIO HORA	RENDI M	VALOR ITEM
1	CUADRILLA 06; 1O+1A	1	\$ 21.288,58	5,00	\$

				4.257,72
			Subtotal	\$ 4.257,72
			TOTAL	\$ 165.725,72

Finalmente se procedió a la realización del presupuesto para la construcción de esta vivienda, donde las actividades que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

Actividades preliminares.

Movimiento de tierras.

Estructuras y Carpintería metálica.

Donde el precio de la estructura construida con gaviones fue de \$25.202.265,86 de pesos colombianos. Se determinó que el costo de construcción de una vivienda convencional de un piso tiene un valor aproximado de \$65.000.000 de pesos colombianos. Teniendo en cuenta lo anterior se evidencia una reducción de costos del 61%.

#### ESPECIFICACIONES TECNICAS SEGÚN NORMA INVIAS

##### Materiales

Previo a la realización del proceso constructivo, a continuación, se muestran los materiales requeridos para la construcción de este proyecto.

##### Canastas metálicas

Estas serán realizadas con barras de acero de calibre 10 con espaciamiento de 10 cm en ambos sentidos, las canastas tendrán dimensiones de 1 metro de altura, 0,5 metros de espesor y la longitud será de 2 metros mínimo (H – t – L), cabe resaltar que

la soldadura de la misma se recomienda realizar bajo las exigencias de la norma ASTM A185.

De acuerdo a las normas y especificaciones de INVIAS 2012, donde clasifican a las canastas metálicas de acuerdo a su recubrimiento, se opta por gaviones con canastas metálicas clase 3, debido a que la soldadura genera desgaste del zinc en los puntos de soldado y esto a su vez lo hace susceptible de corrosión en las uniones, entonces, el PVC ayuda a mitigar dicha falencia.

La cantidad de recubrimiento metálico y de PVC serán tenidos en cuanto bajo lo establecido por la norma INVIAS en el capítulo 6 artículo 681 numeral 681.2.1.3.3 y 681.2.1.3.4 [8].

##### Material de llenado

La norma por lo general permite dos tipos de relleno que son: canto rodado o piedras trituradas. Para este proyecto se opta por la utilización de canto rodado las cuales deberán tener un tamaño de entre 10 a 20 cm (4" – 8") de acuerdo al reglamento INVIAS en la tabla 681-8 donde mencionan las características que debe tener el material granular para el relleno de gaviones [8].

##### Proceso Constructivo

A continuación, se presenta el proceso constructivo de los muros en gaviones, según la Ilustración 4 [9].

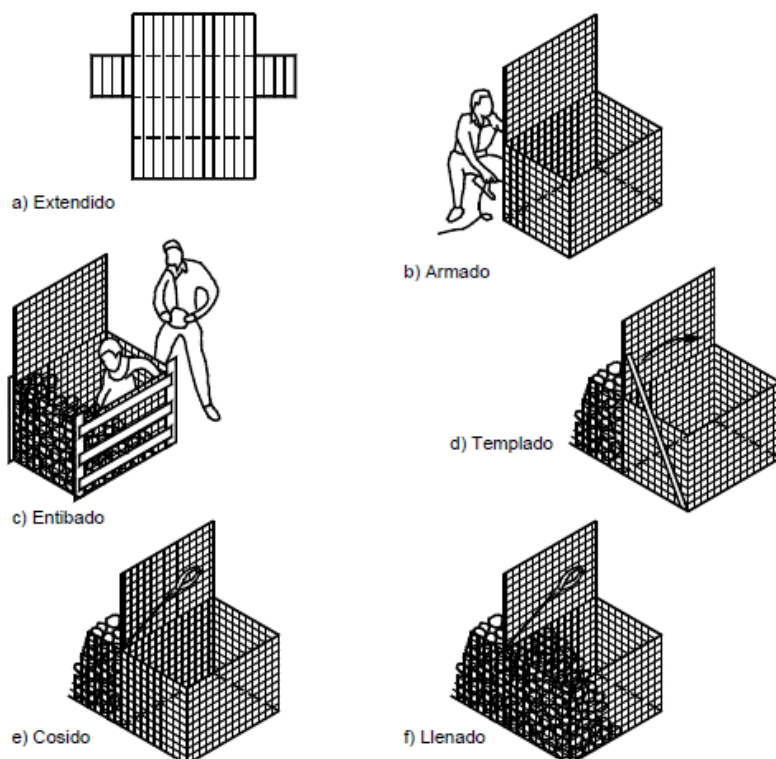


Ilustración 4 PROCESO CONSTRUCTIVO DE GAVIONES [9].

#### Paso 1 Preliminares

Previo a la construcción de los gaviones, se da inicio a los trabajos de excavación con el objetivo de adecuar el terreno y construir la cimentación, teniendo en cuenta las cotas especificadas por el plano y que los gaviones queden enterrados máximo un metro.

#### Paso 2 Instalación de canastas

Se instalarán las canastas completamente vacías y ensambladas sobre la superficie preparada. Las canastas metálicas de los gaviones tendrán que ser amarradas por los paneles que la conforman por medio de las cuatro aristas en contacto.

Previo al llenado las mallas tendrán que ir

amarradas entre sí a lo largo de las aristas en contacto de forma vertical y horizontal, y para poder lograr una mejor terminado de la malla, se procederá a tensarlas con algún tipo de palanca para facilitar su llenado. Cabe resaltar, que será necesario la instalación de formaleta en las caras que no esté en contacto con otros gaviones.

#### Paso 3 Llenado de las canastas

Para el llenado de las canastas, se deberá ejecutar de manera manual, asegurándose de que las piedras de mayor tamaño se coloquen en los bordes del gavión, distribuyéndose de manera que queden lo más compactadas posibles, logrando que las de menor tamaño queden en el centro de

este, para lograr una adecuada compactación, las piedras serán apisonadas por capas de 30 cm y no deberá haber espacios en la superficie de la canasta.

Para evitar la deformación de las canastas al momento del llenado, se deberán colocar tirantes internos de forma vertical, horizontal y diagonales para lograr que los paneles opuestos a las canastas sean solidarios.

#### Paso 4 Sellado y estabilización de los gaviones

Al terminar el proceso de relleno, se deberá colocar la tapa de la canasta y coserla a los diafragmas y a los bordes de la base. Estas costuras deben ser de forma continua donde atraviesen las mallas con el alambre, alternativamente con una vuelta simple y una doble.

Una vez sellado las canastas de los gaviones, se deberán amarrar unos con otros con el objetivo de que lograr una mejor estabilidad al formarlos como un solo cuerpo. Dichos amarres, deberán ser lo suficientemente resistentes y apta para soportar fuertes solicitaciones y deformaciones.

#### CONCLUSIONES

La propuesta arquitectónica se diseñó con el objetivo de suplir las necesidades básicas de vivienda para una familia campesina ubicada en la región de los llanos orientales. El sistema estructural de la vivienda con muros en gaviones implementando elementos de confinamiento lateral genera un desplazamiento del 61% con respecto al

máximo permitido, es por ello que se recomienda siempre optar por el uso de estos.

Los esfuerzos de los muros obtenidos a partir del análisis sísmico del MEF bajo las solicitaciones de la NSR-10, llegaron a un valor máximo de 11,4% de su capacidad. Además, se determinó que la cuantía de acero que brinda la malla electrosoldada era suficiente para soportar los momentos a flexión que generan esfuerzos a tensión, llegando a un 88% de su momento nominal resistente.

Al analizar la comparación de los costos de construcción de la vivienda con muros en gaviones con respecto a una vivienda convencional de un piso, se evidencia una reducción de costos del 61%, ya que los muros de una vivienda son el elemento de mayor cantidad utilizado en este proceso.

La implementación de este tipo de proceso constructivo permite la producción de viviendas de bajo costo, generando una mayor oportunidad de alcance para las poblaciones de escasos recursos.

El proyecto se puede plantear como una propuesta para la construcción de viviendas de interés social (VIS).

Se presenta el proceso constructivo del sistema estructural planteado con el objetivo de que sirva como guía para la comunidad en el caso de que opten por implementarlo en la construcción de sus viviendas.

•

#### REFERENCIAS

- [1]. GEOSTINSER AMB, «Geostinser AMB, S.L. Ingeniería y

- arquitectura paisajística,» [En línea]. Available: <https://murogavion.com/historia.html>. [Último acceso: 31 julio 2020].
- [2]. M. DIY, «IDEAS PERFECTAS,» 21 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://perfectaidea.com/estructuras-hechas-con-gaviones-de-piedra-para-exterior/>. [Último acceso: 05 Agosto 2020].
- [3]. P. L. Prof. Dr. de Almeida Barros, «OBRAS DE CONTENCIÓN».
- [4]. G. Chicangana, «LA AMENAZA SISMICA DE VILLAVICENCIO Y EL PIEDEMONTES LLANERO DEL CENTRO DE COLOMBIA,» Publicaciones de la Universidad del Meta, vol. 116, n° 25, Enero 2010.
- a. C. D. I. S. (AIS), Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá, 2010.
- [5]. M. I. Ortiz, «La sombra de la coca no ha desaparecido de Meta y Guaviare,» EL TIEMPO, 08 Abril 2019.
- [6]. B.-S. H. S.-H. L. Der-Guey Lin, «DEFORMATION ANALYSES OF GABION STRUCTURES».
- [7]. R. I. Gutierrez, «UNIVERSIDAD DE CANTABRIA,» 2013. [En línea]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1101/course/section/1308/Tema%206%20Resistencia.pdf>.
- [8]. INVIAS, «Artículo 6 - ESTRUCTURAS Y DRENAJES,» NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS, 2012.
- [9]. Secretaria de infraestructura, «Mantenimiento y obras de protección de puente de villa julia en el municipio de Villavicencio - Meta,» 2020.
- [10]. V. Villegas, «Aporte Santiaguino,» Ciencia, cultura, tecnología e innovación, 2012.