

**Curva de Colapso de las Viviendas de Mampostería No Estructural Debido a la Presión de  
la Corriente de Agua de una Inundación Pluvial**

**Christian Danilo Joya Serpa**

**Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**Gustavo Chio Cho**

**Ingeniero Civil, PhD.**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2018**

*A mi madre, Dalia Serpa Torres*

*A mi padre, Benito Joya Duarte*

*Y a mis hermanos*

### **Agradecimientos**

A Dios por darme fortaleza para poder cumplir mis objetivos.

A mi familia por su apoyo incondicional durante todos estos años.

A mi director de proyecto Gustavo Chio Cho, por su orientación durante la realización de mi proyecto de grado.

A todos los profesores de la Universidad Industrial de Santander por los conocimientos que me brindaron para mi formación profesional.

A mis amigos por su gran acompañamiento durante todos mis estudios.

A Rossenys Rodríguez por apoyarme en cada momento de dificultad para seguir adelante.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	13
1.1 General .....	13
1.2 Específicos .....	13
2. Marco Teórico.....	13
2.1 Fenómeno de Inundación:.....	13
2.2 Daño y Vulnerabilidad de Viviendas:.....	14
2.3 Mampostería No Estructural: .....	14
2.4 Material: .....	14
2.4.1 Resistencia de la mampostería a la compresión $f^m$ :.....	15
2.4.2 Esfuerzos de trabajo máximos para los muros de mampostería: .....	16
2.5 Fuerzas ejercidas por la corriente sobre los muros: .....	18
2.5.1 Fuerza hidrostática: .....	19
2.5.2 Fuerza hidrodinámica: .....	20
2.6 Modelamiento del sistema de muros de mampostería que conforman la vivienda: .....	20
2.6.1 Tipo de apoyos asignados a los muros:.....	22
2.6.2 Asignación de fuerzas sobre el modelo: .....	23
3. Análisis de resultados para la determinación de la curva de colapso. ....	25

3.1 Esfuerzos obtenidos en la cara interna del muro por carga concentrada. ....	25
3.2 Esfuerzos obtenidos en la cara interna por carga distribuida:.....	28
3.3 Esfuerzos obtenidos en la cara exterior del muro por carga concentrada: .....	29
3.4 Esfuerzos obtenidos en la cara exterior por carga distribuida: .....	32
3.5 Esfuerzo cortante en el muro: .....	32
3.6 Índices de Sobresfuerzos: .....	34
3.7 Curva de colapso:.....	36
4. Conclusiones. ....	40
Referencias Bibliográficas .....	42

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Parámetros de resistencia de los componentes del muro de mampostería. ....	16
Tabla 2. Propiedades de la mampostería a utilizar en el análisis. ....	16
Tabla 3. Esfuerzos de ruptura a tracción en juntas de mortero. ....	17
Tabla 4. Parámetros de la corriente para el calcular las fuerzas a aplicar. ....	18
Tabla 5. Dimensiones de la vivienda tipo para el modelamiento. ....	21
Tabla 6. Fuerzas producidas por la corriente. ....	24
Tabla 7. Esfuerzos a compresión sobre líneas de falla ....	27
Tabla 8. Esfuerzos en la cara interior del muro por carga concentrada. ....	27
Tabla 9. Esfuerzos en la cara exterior del muro por cargas concentradas. ....	31
Tabla 10. Esfuerzo cortante por cargas concentradas. ....	33
Tabla 11. Índices de sobreesfuerzo en la cara exterior. ....	34
Tabla 12. Índices de sobreesfuerzo en la interior. ....	35
Tabla 13. Índices de sobreesfuerzo a cortante. ....	36
Tabla 14. Alturas de corrientes experimentales y teóricas. ....	38

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Dimensiones Tolete de Arcilla en posición de canto. Elaboración propia.....	15
Figura 2. Esfuerzos por pandeo en muros de mampostería. Elaboración propia.....	17
Figura 3. Parámetros para calcular las fuerzas.....	20
Figura 4. Vivienda Tipo en mampostería no reforzada. ....	21
Figura 5. Vista en planta de la distribución de muros.....	22
Figura 6. Dirección de flujo e impacto de corriente. ....	23
Figura 7. Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas concentradas. Tomada de modelo ETABS. Elaboración propia .....	26
Figura 8. Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas distribuidas .....	28
Figura 9. Líneas a compresión en la cara exterior. ....	29
Figura 10. Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas concentradas.....	30
Figura 11. Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas distribuidas. .....	32
Figura 12. Curva de colapso .....	37
Figura 13. Curva de Colapso definitiva. ....	39

## Resumen

**TÍTULO:** CURVA DE COLAPSO DE LAS VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL DEBIDO A LA PRESIÓN DE LA CORRIENTE DE AGUA DE UNA INUNDACIÓN PLUVIAL\*

**AUTOR:** CHRISTIAN DANILO JOYA SERPA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** VULNERABILIDAD, CURVA DE COLAPSO, MAMPOSTERÍA NO REFORZADA, INUNDACIÓN, VELOCIDAD, ESFUERZOS MÁXIMOS.

### DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se determinó la curva de colapso para las viviendas de tipo mampostería no reforzada de tolete de arcilla generada por el impacto de una corriente de agua debida a una inundación pluvial utilizando como parámetros para el análisis la velocidad y la altura de esta misma, para determinar las fuerzas que actúan sobre la vivienda se utilizó la norma técnica chilena para la construcción de edificaciones en zonas de amenaza por inundación en donde se considera la acción de fuerzas hidrostáticas y las fuerzas hidrodinámicas que genera la corriente de inundación, para determinar la resistencia de los muros de mampostería que conforman la vivienda se aplicaron los criterios de la NSR-10 título D, modelando el sistema de muros de mampostería en el software ETABS al cual se le aplicaron las fuerzas calculadas a partir de los parámetros indicados. La curva es una función de la altura y velocidad de la corriente que representa las condiciones mínimas a las cuales este tipo de estructura colapsara bajo este fenómeno natural.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio Cho, Ingeniero Civil, PhD

## Abstract

**TITLE:** CURVE OF COLLAPSE OF NON-STRUCTURAL MASONRY HOUSING DUE TO THE PRESSURE OF THE WATER CURRENT OF A RAIN FLOOD\*

**AUTHOR:** CHRISTIAN DANILO JOYA SERPA

\*\*

**KEYWORDS:** VULNERABILITY, COLLAPSE CURVE, NON-REINFORCED MASONRY, FLOOD, VELOCITY, STRESSES.

### DESCRIPTION:

In this research, the collapse curve was determined for non-reinforced masonry dwellings of clay masonry generated by the impact of a water flow due to a rain flood, using the velocity and height of the flood as parameters for the analysis. In order to determine the forces acting on the dwelling, the Chilean technical norm was used for the construction of buildings in flood threat zones where the action of hydrostatic forces and the hydrodynamic forces generated by the flood current are considered, to determine the resistance of the masonry walls that make up the house the criteria of the NSR-10 title D were applied, modeling the masonry walls system in the ETABS software to which the calculated forces will be applied based on the parameters indicated. The curve is a function of the height and velocity of the stream that represents the minimum conditions at which this type of structure collapses under this natural phenomenon.

.

.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio Cho, Ingeniero Civil, PhD

## Introducción

En Colombia los desbordamientos de ríos han provocado grandes inundaciones dejando miles de damnificados, aunque se cuantifican las pérdidas, no hay estudios que muestren el comportamiento de las diferentes estructuras que fueron afectadas, pues estos deben ser previos a las catástrofes ya que son impredecibles y así poder tomar medidas de la forma más oportuna, lo cual lleva a preguntarnos, ¿son seguras las viviendas contra este tipo de fenómenos?, ya hemos visto los daños que puede dejar estos eventos como en el caso de Mocoa o el desbordamiento del río de Oro en Girón.

Tomando como referencia la Norma Técnica Chilena (Urbanismo, 2013), que presenta la forma en que las estructuras son sometidas a otro tipo de fenómeno natural y las fuerzas a las que son sometidas por este mismo, como lo son las inundaciones, en el caso del país chileno, son producto de tsunamis debido a la alta actividad sísmica de su territorio.

La curva de colapso es una forma de medir el riesgo y vulnerabilidad que puede presentar una vivienda en una zona de amenaza, este tipo de estudios para la determinación de curvas de colapso por inundación en diferentes tipos de estructuras lo realiza la federación de gestión de emergencias de los Estados Unidos (FEMA).

Este estudio determina la curva de colapso para viviendas de mampostería sin refuerzo, debido a que estas presentan un mayor riesgo a fallar, ya que muchas de las construcciones que se ven más afectadas son aquellas que no tienen ningún sistema estructural reglamentado en la norma sísmoresistente colombiana (Sísmica, 2010).

## 1. Objetivos

### 1.1 General

Determinar la curva de colapso de una vivienda de mampostería no estructural sometida a las presiones de la corriente de agua de una inundación pluvial.

### 1.2 Específicos

- Evaluar el índice de sobreesfuerzo de una vivienda de mampostería no estructural al variar los parámetros (altura y velocidad) de la corriente de agua de una inundación pluvial.
- Construir la curva de colapso de una vivienda de mampostería no estructural

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Fenómeno de Inundación:

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y

generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las zonas aledañas (IDEAM).

## **2.2 Daño y Vulnerabilidad de Viviendas:**

Este estudio se realizó sobre un tipo de vivienda en mampostería no estructural ya que son aquellas más vulnerables a sufrir daños en mayor magnitud debido a las fuerzas a las que puede ser sometida una vivienda en el caso se una inundación.

## **2.3 Mampostería No Estructural:**

Es un sistema de construcción de muros en bloques de arcilla o concreto los cuales no cuentan con el refuerzo requerido para soportar las fuerzas de diseño, se usan principalmente para muros divisorios y fachadas.

## **2.4 Material:**

El material del cual se encuentran construidas las viviendas es el tolete de arcilla que es una unidad de mampostería común empleada en la zona de referencia para el análisis, en la figura 2 se encuentran las dimensiones de la unidad de mampostería.

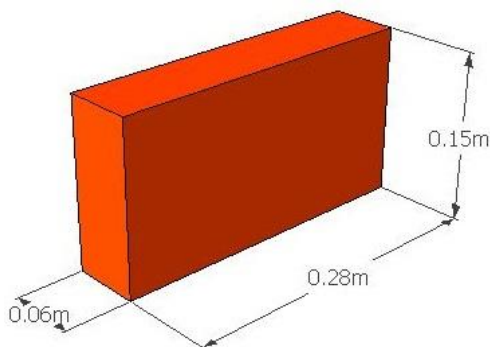


Figura 1. Dimensiones Tolete de Arcilla en posición de canto.

**2.4.1 Resistencia de la mampostería a la compresión  $f'_m$ :** La resistencia a la compresión se calcula por medio la siguiente ecuación (1) basada en la calidad de los materiales:

$$f'_m = 0.75 R_m \quad (1)$$

$R_m$  se calcula mediante la ecuación 2 el cual debe ser menor a  $0.8 f'_{cu}$  tomando los parámetros presentados en la tabla 1 y las dimensiones mostradas en la figura 2 para posteriormente calcular la resistencia a la compresión de muros de mampostería  $f'_m$ .

$$R_m = \left( \frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left( \frac{50K_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \quad (2)$$

Tabla 1.

*Parámetros de resistencia de los componentes del muro de mampostería.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Factor de corrección por absorción $K_p$	0.8
Resistencia especificada a compresión de motero de pega tipo N $f'_{cp}$ (MPa)	7.5
Resistencia especificada a compresión de la unidad de mampostería $f'_{cu}$ (MPa)	15.0

*Nota.* La resistencia a compresión de la unidad de mampostería es la mínima especificada en el Título D de la NSR-10, así como los demás parámetros de la tabla se encuentran en el mismo título.

Para calcular el módulo de elasticidad  $E_m$  del muro de mampostería se utiliza la ecuación 3.

$$E_m = 750f'_m \leq 20000 \text{ MPa} \quad (3)$$

Los valores de las propiedades obtenidas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2.

*Propiedades de la mampostería a utilizar en el análisis.*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
<b>Rm</b>	9.14
<b>0.8 f 'cu</b>	12.00
<b>f 'm MPa</b>	6.86
<b>Em MPa</b>	5142.86

**2.4.2 Esfuerzos de trabajo máximos para los muros de mampostería:** Los esfuerzos que se usaron para determinar la falla en los muros fueron tomados teniendo en cuenta que la fuerza

aplicada es perpendicular al plano del muro, los esfuerzos que muestran en la figura 3, son producidos por la flexión o pandeo del muro sometido a la carga.

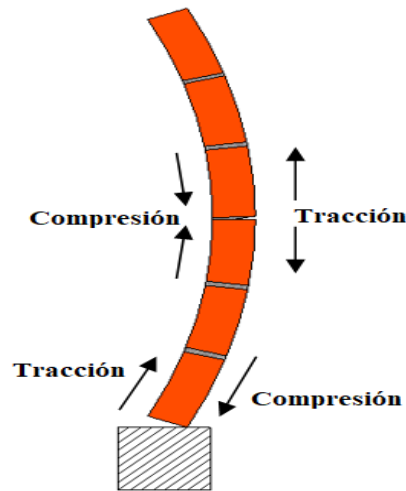


Figura 2. Esfuerzos por pandeo en muros de mampostería.

**2.4.2.1 Esfuerzo a tracción máximo por flexión:** Se estableció como esfuerzo máximo a tracción el módulo de ruptura del mortero de pega tanto en dirección vertical como horizontal para este análisis, ya se está sometiendo a cargas que produzcan la falla total del elemento.

Tabla 3.

*Esfuerzos de ruptura a tracción en juntas de mortero.*

<b>Esfuerzos de Tracción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Horizontal</b>	0.26	MPa
<b>Vertical</b>	0.52	MPa

Nota. Adaptada de Tabla D.5.8-1, NSR-10 Titulo D

**2.4.2.2 Esfuerzo a compresión por flexión en la mampostería:** El esfuerzo a compresión utilizado para determinar la falla es el  $f_m$  que se muestra en la tabla 2, ya que los valores admisibles son para efectos de diseño y en este caso se asume que las viviendas no fueron diseñados bajo los parámetros adecuados y se van a llevar al estado de falla por lo cual se deberá superar su máxima resistencia a la compresión.

**2.4.2.3 Esfuerzo cortante máximo:** Se asumió como máximo esfuerzo a cortante para la mampostería el valor máximo permitido por esfuerzos cortante de trabajo admisible de la norma [3] igual a 0.56 MPa.

## 2.5 Fuerzas ejercidas por la corriente sobre los muros:

Estas fuerzas actúan de forma perpendicular al plano del muro y varían con respecto a la profundidad y velocidad que alcanza la inundación al momento de entrar en contacto con el muro, para calcularlas se aplicaron los criterios mencionados en (Urbanismo, 2013), las cuales para ser calculadas se deben considerar los siguientes parámetros de la tabla 4.

Tabla 4.

*Parámetros de la corriente para el calcular las fuerzas a aplicar.*

Parámetro	Valor	Unidades
Densidad del agua incluyendo sedimentos $\rho$	1200.00	Kg/m <sup>3</sup>
Aceleración (g)	9.81	m/s <sup>2</sup>
Peso Específico de fluido incluyendo sedimentos $g$	11.77	KN/m <sup>3</sup>

Parámetro	Valor	Unidades
Velocidad mínima de flujo (Teórica) $V$	1.00	m/s
Coefficiente de arrastre hidrodinámico $Cd$	2.00	

*Nota.* Adaptada de Norma Técnica MINVU, “Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche”. Chile, 2013.

**2.5.1 Fuerza hidrostática:** Está fuerza depende de la altura de la corriente cuando entra en contacto con los muros, medida desde la lámina de agua hasta la base de la vivienda. En este trabajo el objetivo fue encontrar la curva de colapso de la vivienda por lo que la fuerza hidrostática se calculó para diferentes profundidades mediante la ecuación 5 y su punto de aplicación en el muro (5-1) para los casos en los que la altura alcanzada por el flujo es menor a la altura de los muros analizados y la ecuación 6 y su punto de aplicación (6-1) cuando supera la altura de los muros, es decir el elemento se encuentra totalmente sumergido.

$$FH = \frac{1}{2} \rho g l H^2 \quad (5)$$

$$y = \frac{1}{3} H \quad (5 - 1)$$

$$FH = \frac{1}{2} \rho g l h(2H - h) \quad (6)$$

$$y = \frac{1}{3} h[(3H - 2h)/(2H - h)] \quad (6 - 1)$$

La variable se indica en la figura 4 y los parámetros constantes en la tabla 4, donde H es la variable independiente.

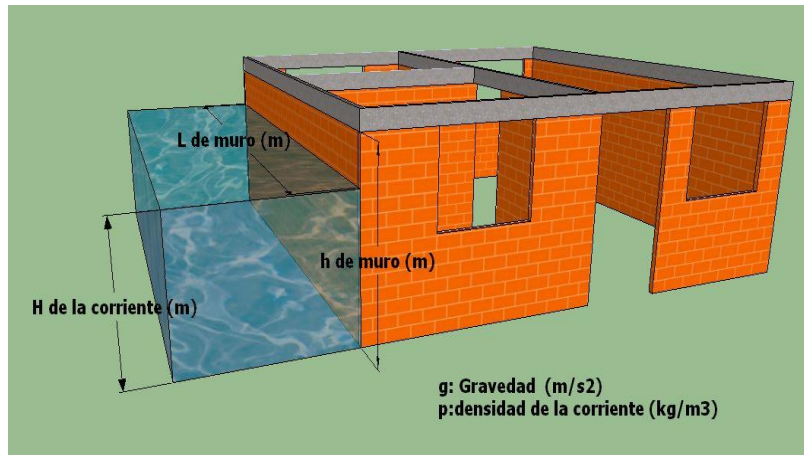


Figura 3. Parámetros para calcular las fuerzas.

**2.5.2 Fuerza hidrodinámica:** Esta fuerza es producida por la velocidad de la corriente generando sobre la vivienda una fuerza de arrastre que la lleva al colapso, se determinó mediante la ecuación 7 la cual varía con la altura debido al perfil de velocidad que se genera en la corriente y su punto de aplicación se determina por medio de la ecuación 7-1, donde los parámetros para fuerza se encuentran en la tabla 4 y la figura 4, donde V y H son las variables independientes.

$$FHD = \frac{1}{2} \rho C_d l H V^2 \quad (7)$$

$$y = \frac{2}{3} H \quad (7 - 1)$$

## 2.6 Modelamiento del sistema de muros de mampostería que conforman la vivienda:

El modelamiento del conjunto de muros se realizó en el software ETABS [4], la vivienda tipo empleada se muestra en la figura 5, la cual acumula los parámetros más comunes encontrados en diferentes viviendas de la zona de la vereda El Dique en el Municipio de Yondó Antioquia a orillas del río Magdalena, las características de la vivienda se encuentran descritas en la tabla 5.



Figura 4. Vivienda Tipo en mampostería no reforzada.

Tabla 5.

*Dimensiones de la vivienda tipo para el modelamiento.*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Unidades</b>
Ancho de vivienda	6	m
Profundidad de vivienda	6	m
Altura hasta vigas amarre	2	m
Ventanas	1.2x1	m
Puerta principal y trasera	1x2	m
Puertas de habitaciones	0.8x2	m
Puerta del baño	0.7x2	m

El modelamiento se realizó hasta las vigas de amarre ya que se consideró que son los muros por debajo de estas quienes deben soportar las cargas aplicadas para que la estructura no colapse, la cubierta se aplicó como carga axial en los muros sobre los cuales se encuentra apoyada.

Los parámetros de resistencia calculados fueron asignados en el software para definir el material de los elementos tipo *Shell* que simularan a los muros de mampostería que conforman la vivienda. En la figura 6 se observa cómo se encuentran distribuidos los muros los cuales se encuentran

empotrados en la base y en la parte superior unidos por las vigas de amarre como se ve en la figura 5.

A los muros se les asigno una malla de elementos finitos dividida de la forma más aproximada al tamaño de las unidades de mampostería para calcular esfuerzos promedios sobre las líneas más críticas de forma más precisa.

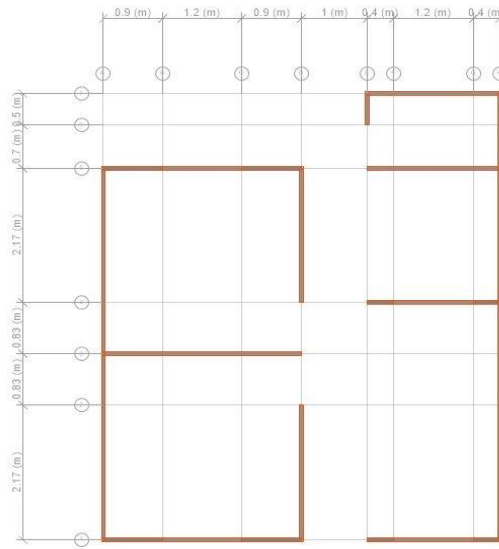
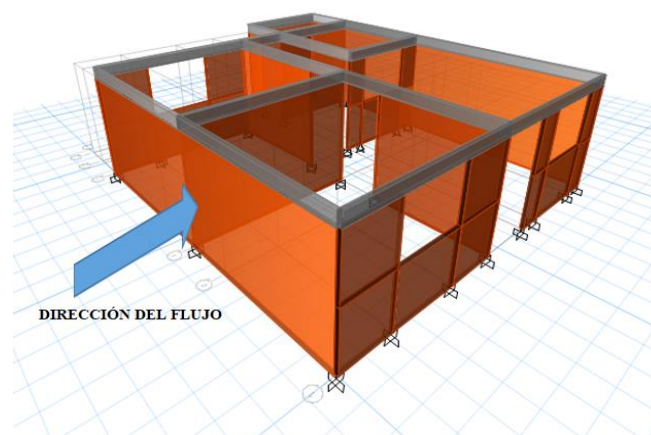


Figura 5. Vista en planta de la distribución de muros.

**2.6.1 Tipo de apoyos asignados a los muros:** Los muros se modelaron con empotramiento en la base y en la parte superior están enlazados a través de las vigas de amarre las cuales le ofrecen a una mayor rigidez a los muros ya que algunos poseen una gran longitud por lo cual sufrirían el efecto de flexión con mayor facilidad, estas vigas se comportan igual que el muro ya que están adheridas la mampostería de la misma forma que las juntas de pega, siendo estas de concreto y no de mortero.

**2.6.2 Asignación de fuerzas sobre el modelo:** Generalmente las viviendas en las zonas aledañas a los ríos se encuentran orientadas en forma perpendicular a la corriente, por lo que un desbordamiento aguas arriba provocaría que la corriente golpeará la vivienda por una de las caras laterales, siendo esta la que reciba la fuerza dinámica generada por la velocidad que alcanza la corriente al impactar contra la vivienda, a su vez al estar en contacto con el agua esta produce la fuerza hidrostática sobre la pared.

Las fuerzas calculadas en 2.3 de este documento fueron cargadas como se menciona en el párrafo anterior, la dirección del flujo asumida para realizar el análisis se muestra en la figura 6, considerando que esta cara lateral presenta menos apoyos por parte de muros perpendiculares a esta, además de su simetría la cual permite aplicar fuerzas de igual magnitud lo cual provocara que colapsen al mismo tiempo al llegar a su resistencia máxima. La altura de la corriente se itero con una variación de 10 cm y la velocidad se aumentó progresivamente hasta llegar a los límites máximos del muro, hasta encontrar las combinaciones de velocidad y altura de la inundación que provocaran el colapso de la vivienda, estos esfuerzos deberán ser lo más cercanos posibles a los máximos ya que la curva dividirá la región de no colapso y colapso.



*Figura 6.* Dirección de flujo e impacto de corriente.

A continuación se presentan los valores de cargas y sus respectivos puntos de aplicación que se utilizaron en este análisis para definir la curva de colapso.

Tabla 6.

*Fuerzas producidas por la corriente.*

Atura (m)	Velocidad de la corriente (m/s)	Fuerza		Punto de Aplicación de la fuerza	
		Hidrostática (KN)	Hidrodinámica (KN)	y H	y HD
3.0	1.0	141.264	10.800	0.833	2.000
2.9	1.0	134.201	10.440	0.825	1.933
2.8	1.0	127.138	10.080	0.815	1.867
2.7	1.0	120.074	9.720	0.804	1.800
2.6	1.0	113.011	9.360	0.792	1.733
2.5	1.0	105.948	9.000	0.778	1.667
2.4	1.0	98.885	8.640	0.762	1.600
2.3	1.0	91.822	8.280	0.744	1.533
2.2	1.0	84.758	7.920	0.722	1.467
2.1	1.4	77.695	14.818	0.697	1.400
2.0	2.0	70.632	28.800	0.667	1.333
1.9	2.4	63.745	39.398	0.633	1.267
1.8	2.8	57.212	50.803	0.600	1.200
1.7	3.2	51.032	62.669	0.567	1.133
1.6	3.5	45.204	70.560	0.533	1.067
1.5	3.9	39.731	82.134	0.500	1.000
1.4	4.4	34.610	97.574	0.467	0.933
1.3	5.0	29.842	117.000	0.433	0.867
1.2	5.5	25.428	130.680	0.400	0.800
1.1	6.2	21.366	152.222	0.367	0.733

Atura (m)	Velocidad de la corriente (m/s)	Fuerza	Fuerza	Punto de Aplicación de la fuerza	
		Hidrostática (KN)	Hidrodinámica (KN)	y H	y HD
1.0	7.0	17.658	176.400	0.333	0.667

*Nota.* Se presentan los valores de carga que posteriormente produjeron los esfuerzos de falla requeridos para determinar la curva de colapso.

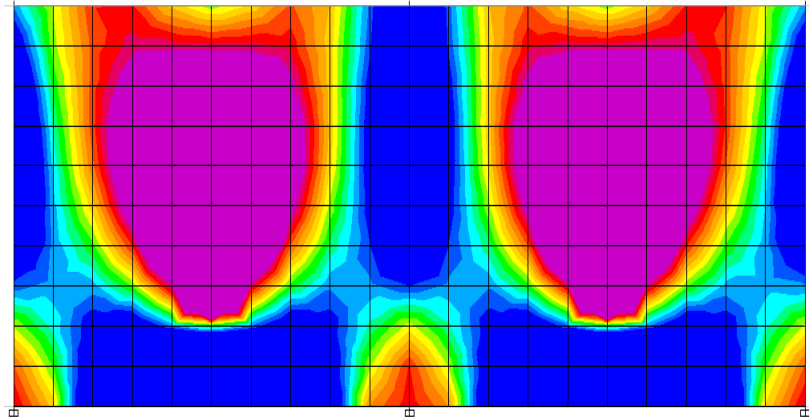
### 3. Análisis de resultados para la determinación de la curva de colapso.

Para definir el estado de colapso de la vivienda se usó el siguiente criterio: si los esfuerzos en los muros sometidos al impacto de la corriente sobrepasan los esfuerzos máximos establecidos la vivienda se considerara en colapso, ya que si estos seden ante la presión ejercida, la corriente pasaría a impactar el interior de la vivienda y golpeando los muros internos causando un "efecto domino". Para determinar el colapso en los muros se compararon los esfuerzos promedios obtenidos en las líneas de apoyo de los muros con los esfuerzos máximos calculados, las líneas de falla a analizar son en la base del muro, y toda la longitud de los apoyos laterales.

#### 3.1 Esfuerzos obtenidos en la cara interna del muro por carga concentrada.

Los esfuerzos sobre esta cara son de compresión en los puntos de apoyo ya que la carga aplica provoca que los muros se deformen hacia el interior de la vivienda, este esfuerzo se mide en cada uno de los puntos extremos de la malla de elementos finitos en las líneas de falla definidas, en la

figura 8 se muestran los esfuerzos en la cara interior provocados por la aplicación de las fuerzas combinadas que actúan sobre el muro.



*Figura 7.* Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas concentradas. Tomada de modelo ETABS.

Como se aprecia en la figura 8 la distribución de los esfuerzos es simétrica ya que los apoyos laterales de los muros se encuentran a igual distancia del apoyo central por lo que la carga aplicada es igual en cada muro ya que su longitud es la misma, por lo tanto los esfuerzos promedio serán iguales en ambos extremos y en las bases, y tomando el mismo esfuerzo promedio central para ambos.

Los esfuerzos promedios obtenidos para esta cara a una altura de 2m y velocidad de 2m/s se muestran en la tabla 7.

Tabla 7.

*Esfuerzos a compresión sobre líneas de falla*

<b>Esfuerzos a Compresión en la cara Interior</b>	<b>Valor Mpa</b>	<b>Esfuerzo Max. A Compresión</b>
$\sigma_{cp}$ BASE Mpa	27.55	6.86
$\sigma_{cp}$ LI Mpa	12.74	
$\sigma_{cp}$ LD Mpa	7.019	

Como se aprecia en la tabla, el esfuerzo máximo a compresión ha sido superado en las tres líneas de falla trazadas para este análisis por lo que se afirma que el muro falla a compresión.

En la tabla 8 se presentan los esfuerzos promedio obtenidos en la cara interior del muro para todas las diferentes combinaciones de velocidad y altura de la corriente que producen la falla en los muros de mampostería.

Tabla 8.

*Esfuerzos en la cara interior del muro por carga concentrada.*

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b><math>\sigma_{cp}</math> BASE</b>	<b><math>\sigma_{cp}</math> LI</b>	<b><math>\sigma_{cp}</math> LD</b>
3.0	1.0	23.915	19.385	18.405
2.9	1.0	22.944	17.471	16.771
2.8	1.0	21.889	15.645	14.377
2.7	1.0	19.653	13.230	12.961
2.6	1.0	18.740	11.921	11.783
2.5	1.0	18.574	11.168	11.312
2.4	1.0	16.860	9.547	9.653
2.3	1.0	16.140	8.419	7.681
2.2	1.0	15.062	7.504	7.591
2.1	1.4	14.799	6.862	7.529

Altura (m)	Velocidad (m/s)	$\sigma_{cp}$ BASE	$\sigma_{cp}$ LI	$\sigma_{cp}$ LD
2.0	2.0	15.710	7.093	9.005
1.9	2.4	13.429	7.005	9.645
1.8	2.8	17.060	7.040	9.423
1.7	3.2	17.909	7.085	10.989
1.6	3.5	18.756	6.871	10.992
1.5	3.9	19.875	6.902	11.388
1.4	4.4	22.052	6.969	11.889
1.3	5.0	24.441	7.152	12.627
1.2	5.5	25.761	7.011	12.564
1.1	6.2	27.550	7.019	12.737
1.0	7.0	31.935	6.941	12.624

### 3.2 Esfuerzos obtenidos en la cara interna por carga distribuida:

Los esfuerzos obtenidos al asignar la carga en forma distribuida son menores con respecto a la carga concentrada ya que en este caso la fuerza se distribuye de forma homogénea a lo largo de todo el muro provocando que los esfuerzos se distribuyan en toda su longitud y no se concentren en un solo punto lo cual es mucho más crítico para el muro analizado.

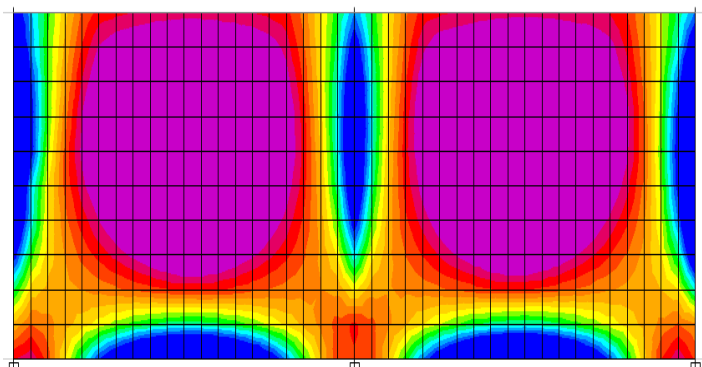


Figura 8. Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas distribuidas

Como se puede apreciar en las figuras 7 y 8 los esfuerzos son mayores en la carga concentrada por lo cual el análisis por cargas concentradas es mucho más crítico que al asignar las fuerzas en forma distribuida, debido a esto la curva obtenida por fuerzas concentradas tendrá una zona de colapso mucho más baja, donde se podrá considerar como una reducción de seguridad de su comportamiento real para efectos de diseño para este tipo de modelos.

### 3.3 Esfuerzos obtenidos en la cara exterior del muro por carga concentrada:

En la cara exterior predomina el esfuerzo a tracción ya que la fuerza ejercida por la corriente empuja el muro hacia el interior de la vivienda provocando que la mampostería trate de desprenderse principalmente en los puntos de apoyo, este efecto depende del punto de aplicación de la fuerza, de forma que entre más alejada esté aplicada la fuerza de los apoyos, mayor será el esfuerzo de tracción generado en estos, mientras que cuando está más cerca de las zonas de apoyo puede generar líneas de compresión como se observa en la figura 9 debido a la deformación por la carga puntual aplicada.

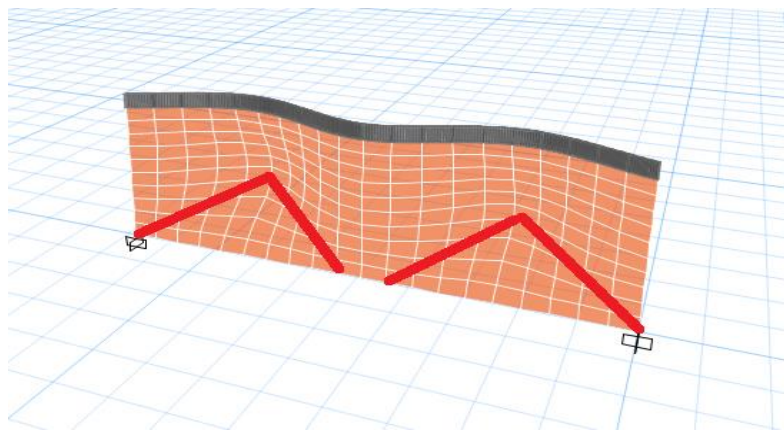
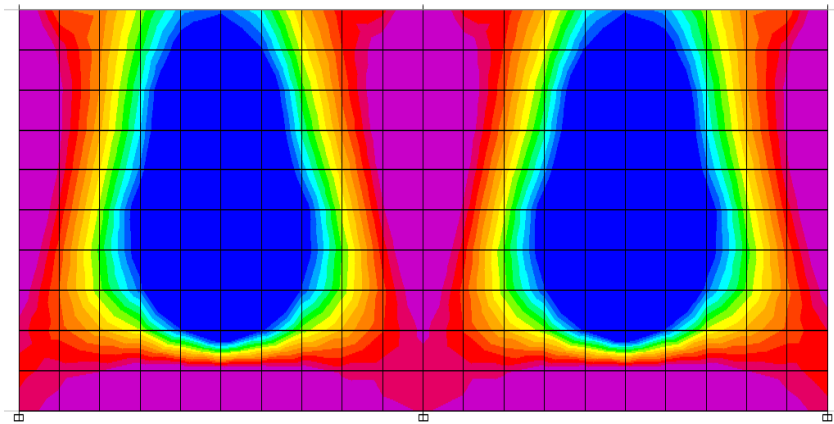


Figura 9. Líneas a compresión en la cara exterior.

Este efecto de deformación en el muro provoca que no toda la línea de falla definida para el análisis este a tracción, sino que se encuentre simultáneamente trabajando tanto a tracción como a compresión por lo cual solo se calcula el esfuerzo promedio a tracción en la zona sometida a este efecto el cual deberá superar el esfuerzo a tracción máximo establecido tanto en las juntas verticales como en las horizontales. En la figura 10 se observan los esfuerzos obtenidos en la cara exterior del muro.



*Figura 10.* Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas concentradas.

Al igual que los esfuerzos a compresión en la cara interior, la distribución de los esfuerzos a tracción en la cara exterior también es simétrica por lo cual los esfuerzos promedios serán iguales en los extremos y la base en cada muro donde se aplican las fuerzas, los esfuerzos promedio obtenidos en las líneas a tracción se muestran a continuación en la tabla 9.

Tabla 9.

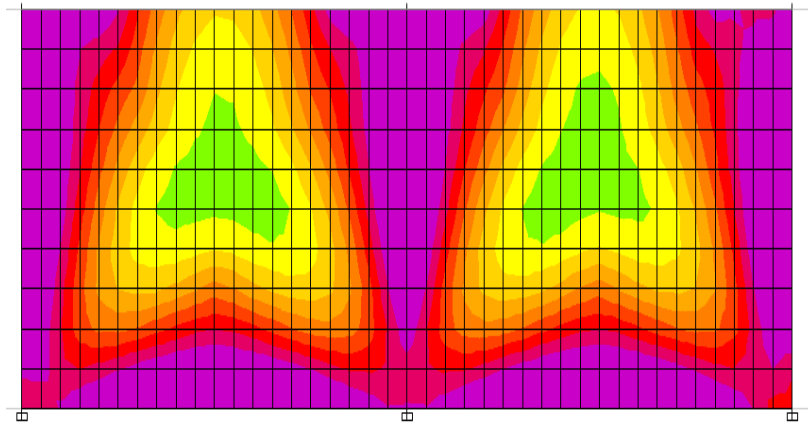
*Esfuerzos en la cara exterior del muro por cargas concentradas.*

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b><math>\sigma_{tp}</math> BASE</b>	<b><math>\sigma_{tp}</math> LI</b>	<b><math>\sigma_{tp}</math> LD</b>
<b>3.0</b>	1.0	6.084	4.913	4.189
<b>2.9</b>	1.0	6.644	4.372	4.184
<b>2.8</b>	1.0	5.583	3.930	3.811
<b>2.7</b>	1.0	5.043	3.296	2.894
<b>2.6</b>	1.0	4.254	2.976	2.629
<b>2.5</b>	1.0	4.213	2.762	2.522
<b>2.4</b>	1.0	3.933	2.391	2.156
<b>2.3</b>	1.0	3.753	2.104	1.921
<b>2.2</b>	1.0	3.440	1.868	1.712
<b>2.1</b>	1.4	3.388	1.633	1.682
<b>2.0</b>	2.0	3.644	1.708	1.940
<b>1.9</b>	2.4	3.748	1.611	2.139
<b>1.8</b>	2.8	3.889	1.623	2.289
<b>1.7</b>	3.2	4.124	1.594	2.403
<b>1.6</b>	3.5	4.326	1.450	2.416
<b>1.5</b>	3.9	4.606	1.366	2.502
<b>1.4</b>	4.4	5.184	1.334	2.592
<b>1.3</b>	5.0	5.600	1.349	2.764
<b>1.2</b>	5.5	5.752	1.333	2.762
<b>1.1</b>	6.2	6.737	1.271	2.806
<b>1.0</b>	7.0	7.248	1.214	2.670

Los valores obtenidos a tracción superan los esfuerzos máximos establecidos en las dos direcciones de las juntas por lo cual se afirma que el muro falla a tracción.

### 3.4 Esfuerzos obtenidos en la cara exterior por carga distribuida:

Al igual que los esfuerzos en la cara interior obtenidos al asignar las fuerzas en forma distribuida, los esfuerzos en la cara exterior también son menores a los obtenidos en comparación con la fuerza concentrada como se ve a continuación en la figura 11.



*Figura 11.* Esfuerzos por corriente de agua de altura 2m y velocidad de 2m/s fuerzas distribuidas.

### 3.5 Esfuerzo cortante en el muro:

Se calculó como la fuerza total aplicada en el muro sobre el área de la sección transversal paralela a la base. En la tabla 9 se muestra el esfuerzo cortante obtenido.

Tabla 10.

*Esfuerzo cortante por cargas concentradas.*

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Esfuerzo Cortante (MPa)</b>
<b>3.0</b>	1.0	0.845
<b>2.9</b>	1.0	0.804
<b>2.8</b>	1.0	0.762
<b>2.7</b>	1.0	0.721
<b>2.6</b>	1.0	0.680
<b>2.5</b>	1.0	0.639
<b>2.4</b>	1.0	0.597
<b>2.3</b>	1.0	0.556
<b>2.2</b>	1.0	0.515
<b>2.1</b>	1.4	0.514
<b>2.0</b>	2.0	0.552
<b>1.9</b>	2.4	0.573
<b>1.8</b>	2.8	0.600
<b>1.7</b>	3.2	0.632
<b>1.6</b>	3.5	0.643
<b>1.5</b>	3.9	0.677
<b>1.4</b>	4.4	0.734
<b>1.3</b>	5.0	0.816
<b>1.2</b>	5.5	0.867
<b>1.1</b>	6.2	0.964
<b>1.0</b>	7.0	1.078

### 3.6 Índices de Sobresfuerzos:

Los índices de sobresfuerzo obtenidos son mayores a 1 lo cual indica que los muros se encuentran en estado de falla.

Tabla 11.

*Índices de sobresfuerzo en la cara exterior.*

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>BASE</b>	<b>LI</b>	<b>LD</b>
3.0	1.0	23.399	9.449	8.056
2.9	1.0	25.555	8.408	8.046
2.8	1.0	21.471	7.558	7.329
2.7	1.0	19.394	6.338	5.566
2.6	1.0	16.363	5.722	5.056
2.5	1.0	16.205	5.312	4.850
2.4	1.0	15.128	4.598	4.145
2.3	1.0	14.436	4.047	3.694
2.2	1.0	13.231	3.592	3.293
2.1	1.4	13.030	3.141	3.235
2.0	2.0	14.017	3.284	3.731
1.9	2.4	14.415	3.099	4.113
1.8	2.8	14.957	3.121	4.402
1.7	3.2	15.863	3.066	4.622
1.6	3.5	16.637	2.788	4.645
1.5	3.9	17.714	2.626	4.812
1.4	4.4	19.940	2.566	4.985
1.3	5.0	21.538	2.593	5.316
1.2	5.5	22.124	2.563	5.312

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>BASE</b>	<b>LI</b>	<b>LD</b>
1.1	6.2	25.910	2.445	5.395
1.0	7.0	27.876	2.335	5.135

Tabla 12.

*Índices de sobreesfuerzo en la interior.*

<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>BASE</b>	<b>LI</b>	<b>LD</b>
3.0	1.0	3.488	2.827	2.684
2.9	1.0	3.346	2.548	2.446
2.8	1.0	3.192	2.282	2.097
2.7	1.0	2.866	1.929	1.890
2.6	1.0	2.733	1.738	1.718
2.5	1.0	2.709	1.629	1.650
2.4	1.0	2.459	1.392	1.408
2.3	1.0	2.354	1.228	1.120
2.2	1.0	2.197	1.094	1.107
2.1	1.4	2.158	1.001	1.098
2.0	2.0	2.291	1.034	1.313
1.9	2.4	1.958	1.021	1.407
1.8	2.8	2.488	1.027	1.374
1.7	3.2	2.612	1.033	1.603
1.6	3.5	2.735	1.002	1.603
1.5	3.9	2.899	1.007	1.661
1.4	4.4	3.216	1.016	1.734
1.3	5.0	3.564	1.043	1.841
1.2	5.5	3.757	1.022	1.832
1.1	6.2	4.018	1.024	1.858
1.0	7.0	4.657	1.012	1.841

Tabla 13.

*Índices de sobreesfuerzo a cortante.*

Altura (m)	Velocidad (m/s)	Índice de Sobreesfuerzo
3.0	1.0	1.509
2.9	1.0	1.435
2.8	1.0	1.361
2.7	1.0	1.288
2.6	1.0	1.214
2.5	1.0	1.140
2.4	1.0	1.067
2.3	1.0	0.993
2.2	1.0	0.919
2.1	1.4	0.918
2.0	2.0	0.986
1.9	2.4	1.023
1.8	2.8	1.072
1.7	3.2	1.128
1.6	3.5	1.148
1.5	3.9	1.209
1.4	4.4	1.311
1.3	5.0	1.457
1.2	5.5	1.549
1.1	6.2	1.722
1.0	7.0	1.925

**3.7 Curva de colapso:**

La curva de colapso está definida por cada una de las de las combinaciones de velocidad y altura de la corriente que llevan a la vivienda a colapsar según los criterios descritos, esta curva tiene una

zona completamente lineal donde hace referencia a los valores donde se considera que la corriente fluye a una velocidad mínima establecida, por lo cual considerar un evento aleatorio con velocidad menor a esta, no haría referencia a un caso de este análisis, ya que para velocidades tan bajas no se pueden presentar alturas hidráulicas muy altas para un fluido en movimiento.

El la figura 12 se presenta la curva de colapso obtenida a partir de todos los puntos en donde analizo la vivienda y provocaron falla en la vivienda siendo los esfuerzos obtenidos los más cercanos posibles a los esfuerzos máximos de tal forma que separe con gran precisión la zona de colapso de la zona de no colapso

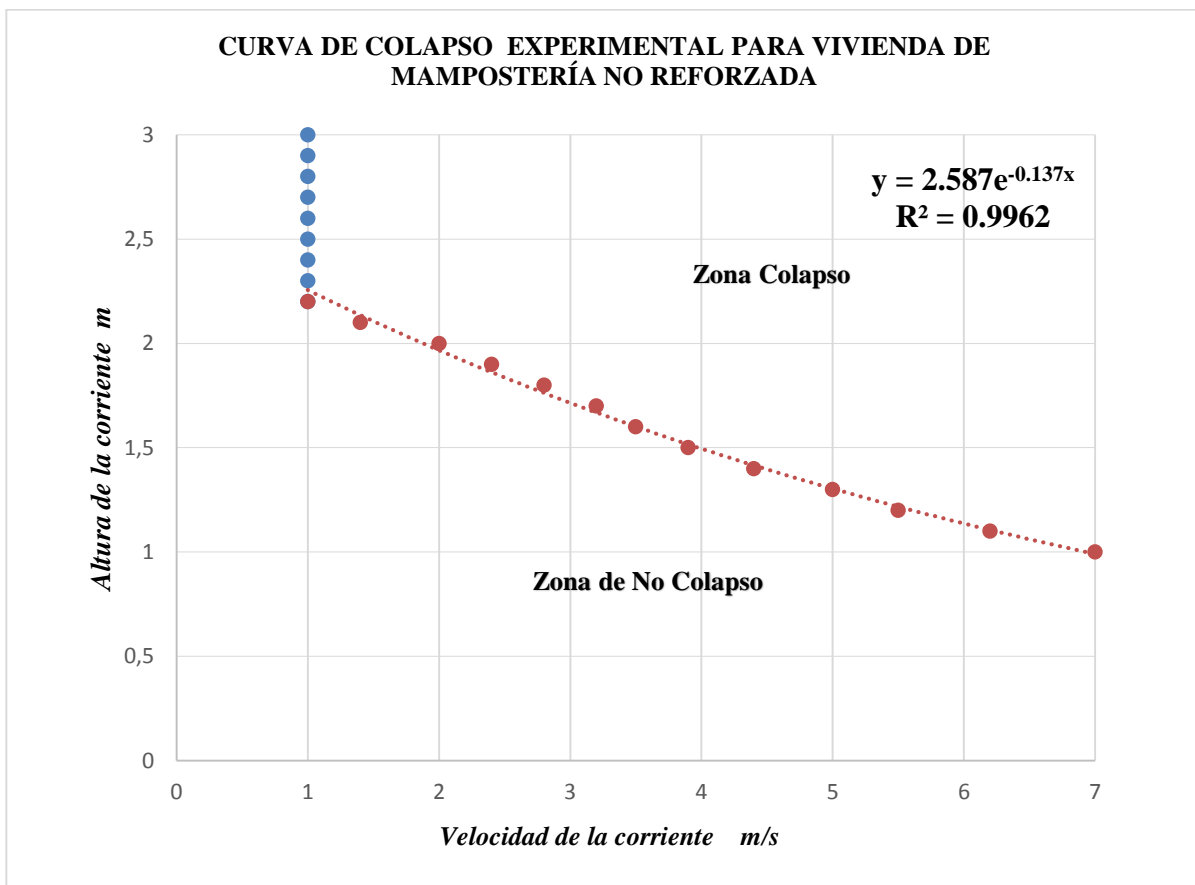


Figura 12. Curva de colapso

Como se observa en la figura 12 la curva de colapso está ajustada a una línea de tendencia exponencial la cual tiene una función definida que en algunos puntos es superior a algunos de los puntos de colapso calculados, para evitar que valores de falla se presenten sobre la zona de no colapso es necesario hacer un ajuste ya que la función presenta un coeficiente de determinación bastante cercano al 100% de exactitud entre el comportamiento aleatorio de los puntos de falla y la línea de tendencia.

El ajuste se realizó tomando el punto más distante de la línea de tendencia y calcular su diferencia, esta diferencia se resta sobre toda la línea de tendencia es decir la curva quedara definida por la siguiente ecuación:

$$y = 2.857 * e^{-0.137x} - 0.055787 \quad (8)$$

Con este ajuste los valores obtenidos en el análisis de esfuerzos estarán por encima de la curva de forma correspondiente ya que esos valores de altura y velocidad son puntos en los cuales colapsa la vivienda. En la tabla 13 se puede observar la diferencia entre los valores usados en el análisis de esfuerzos y los calculados a partir de función de tendencia ajustada.

Tabla 14.

*Alturas de corrientes experimentales y teóricas.*

<b>Velocidad</b> <b>(m/s)</b>	<b>Altura Exp.</b> <b>(m)</b>	<b>Altura Cal.</b> <b>(m)</b>
1.0	2.2	2.200
1.4	2.1	2.080
2.0	2.0	1.911
2.4	1.9	1.806
2.8	1.8	1.707
3.2	1.7	1.613

Velocidad (m/s)	Altura Exp. (m)	Altura Cal. (m)
3.5	1.6	1.546
3.9	1.5	1.460
4.4	1.4	1.360
5.0	1.3	1.248
5.5	1.2	1.162
6.2	1.1	1.051
7.0	1.0	0.936

Con estos valores calculados construimos la curva de colapso ajustada que será la definitiva de este trabajo (figura 13).

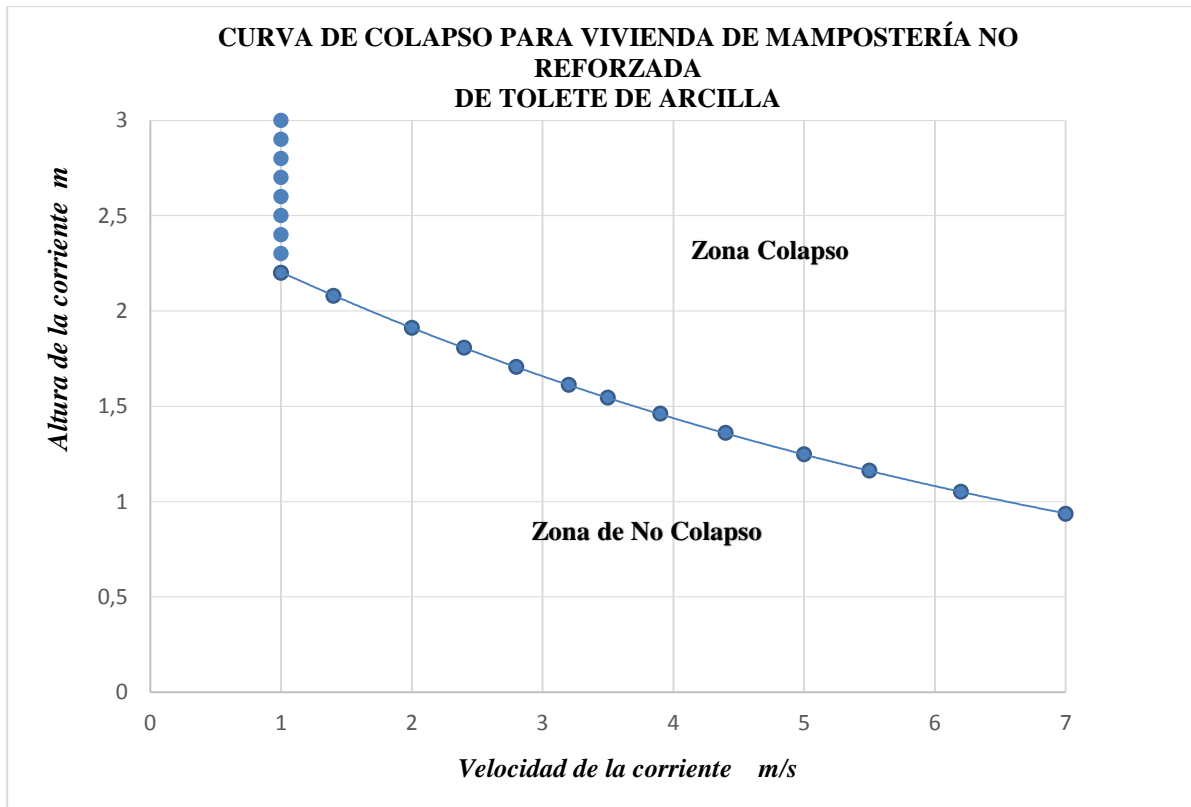


Figura 13. Curva de Colapso definitiva.

#### 4. Conclusiones.

- Se cumplió con el objetivo general del plan de proyecto al determinar la curva de colapso para mampostería no estructural (no reforzada) la cual se puede evidenciar en la figura 12 en donde están definidas las zonas de colapso y no colapso de la vivienda.
- Los esfuerzos fueron evaluados bajo los criterios establecidos indicados en este documento, en donde se demuestra que el índice de sobreesfuerzo es mayor o igual a 1, lo cual indica que los muros están fallando a las fuerzas que fueron sometidas, En los índices de sobreesfuerzo a cortante se observa que el muro soporta el esfuerzo a cortante para ciertas fuerzas aplicadas pero esto no es suficiente para considerar que se evita el colapso ya que falla con respecto a los demás esfuerzos analizados
- Este trabajo sirve de referencia para observar el riesgo al cual se encuentran algunas viviendas contra un fenómeno natural de este tipo cuando no se construyen bajo criterios apropiados de ingeniería.
- A medida que disminuye la altura de la inundación la velocidad para que produzca el colapso debe ser muy alta, por lo cual esta curva no se debe proyectar hacia el infinito ya que la velocidad máxima que puede alcanzar la corriente está en función de la pendiente del terreno sobre la cual se desplaza.
- Este tipo de estudio también se puede asociar con avalanchas de agua producidas por el desbordamiento de quebradas que generalmente se presentan en zonas de alta pendiente

desarrollando velocidades altas y el arrastre de gran cantidad de sólidos y sedimentos en comparación con las inundaciones en zonas de pendientes bajas.

- Se debe estudiar este tipo de fenómenos al igual que los sísmicos ya que nos encontramos expuestos a todos ellos y son impredecibles, así como hay diferentes zonas de amenaza sísmica, también se establecen las zonas de amenaza de riesgo de inundación las cuales en muchos casos están habitadas.

### Referencias Bibliográficas

CSI, C. &. (s.f.). ETABS Ultimate Versión 17.0.1 [software].

FEMA, F. E. (s.f.). *Hazus-MH Flood Technical Manual*. Washington, D.C.

IDEAM. (s.f.). *AMENAZAS INUNDACIÓN*. Obtenido de  
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

Sísmica, A. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10*. Bogotá.

Urbanismo, M. d. (2013). *Diseño estructural para edificaciones en áreas de Inundación por tsunami o seiche*. Santiago de Chile.