



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONSIDERACIONES PARA EL
ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIVIENDAS DE UN NIVEL CON SISTEMA DE
PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÌO PARA SU APLICACIÓN Y
REGULACIÓN EN GUATEMALA**

José Gabriel García Morales

Asesorado por el Ing. Francisco Eduardo Arrecis Sosa

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONSIDERACIONES PARA EL
ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIVIENDAS DE UN NIVEL CON SISTEMA DE
PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÌO PARA SU APLICACIÓN Y
REGULACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ GABRIEL GARCÍA MORALES

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO EDUARDO ARRECIS SOSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONSIDERACIONES PARA
EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIVIENDAS DE UN NIVEL CON SISTEMA DE
PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO PARA SU APLICACIÓN Y
REGULACIÓN EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de noviembre de 2015.

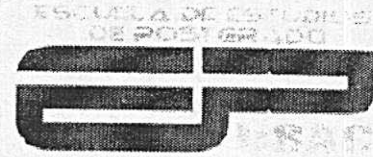


José Gabriel García Morales



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
 Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-ESTPP-001-2015

Guatemala, 06 de noviembre de 2015.

Director:
Hugo Leonel Montenegro Franco
 Escuela de Ingeniería Civil
 Presente.

Estimado Director:


Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **José Gabriel García Morales** con carné número **2011-14059**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Estructuras**.

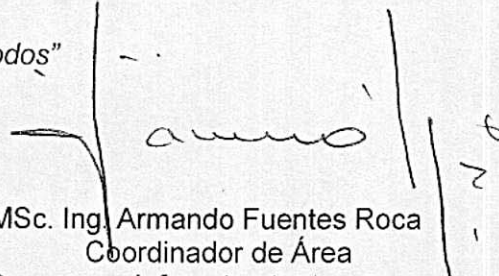
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

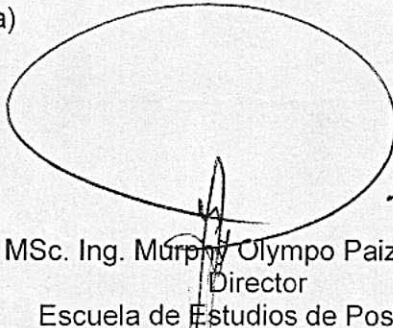
Sin otro particular, atentamente,

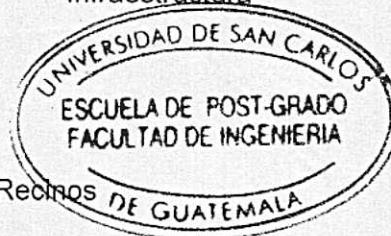
Francisco E. Arrecis Sosa
 INGENIERO CIVIL
 COLEGIADO 9556

"Id y enseñad a todos"


 MSc. Ing. Francisco E. Arrecis Sosa
 Asesor (a)


 MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
 Coordinador de Área
 Infraestructura


 MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos
 Director
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /la



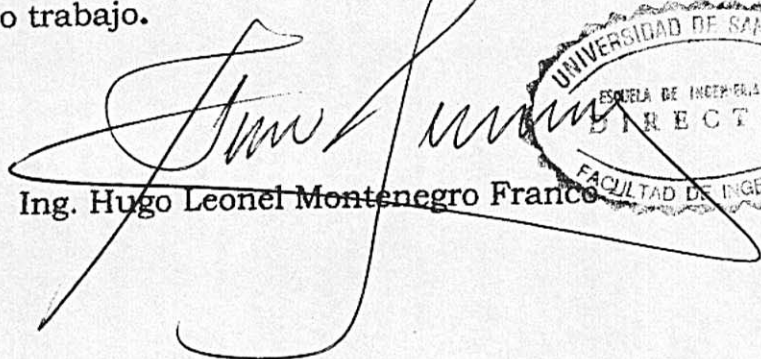
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor MSc. Ing. Francisco E. Arresis Sosa y del Coordinador del Área de Infraestructura MSc. Ing. Armando Fuentes Roca, al trabajo de graduación del estudiante José Gabriel García Morales, titulado **CONSIDERACIONES PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIVIENDAS DE UN NIVEL CON PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO Y PROPUESTA DE NORMATIVO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2016

/mrrm.

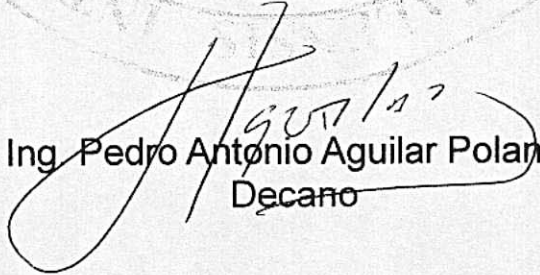
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIVIENDAS DE UN NIVEL CON SISTEMA DE PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO PARA SU APLICACIÓN Y REGULACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Gabriel García Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2016

/cc



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme y darme sabiduría para alcanzar mis metas.
- Mi madre** Sylvia Judith Morales García-Salas, por ser el pilar de mi vida, acompañarme, instruirme y formar la persona que soy hoy, por su amor y apoyo incondicional.
- Mi familia** Por apoyarme en todo momento y ser lo más importante en mi vida.
- Mis amigos** Por acompañarme en las diferentes etapas de mi vida y por ser parte de todas las experiencias que he vivido.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma máter, lugar de formación personal e intelectual.

Facultad de Ingeniería

Por ser el centro de mi formación profesional y académica.

Ing. Francisco Arrecis

Al apoyarme en la formación de mi maestría y por su valiosa asesoría, dedicación y paciencia en el presente trabajo.

Ing. Francisco Mayorga

Gran ejemplo de profesional y ser humano que me brindó la oportunidad de empezar mi aprendizaje profesional.

**Grupo Corporativo
Altamira**

A mis jefes y compañeros de trabajo, cuyas enseñanzas y apoyo me han ayudado a crecer profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	17
6. ALCANCES	19
7. MARCO TEÓRICO.....	23
7.1. Acero conformado en frío	23
7.2. Propiedades del acero conformado en frío.....	24
7.3. Viviendas de acero conformado en frío	25
7.4. Metodologías de diseño.....	26
7.5. Normativas	27
8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	31
8.1. Variable independiente cuantitativa	31
8.2. Variable dependiente cuantitativa.....	32

9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	33
10.	METODOLOGÍA	37
10.1.	Diseño de estudio	37
10.2.	Tipo de estudio.....	38
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	51
11.1.	Técnicas de estudio y análisis numéricos	51
12.	CRONOGRAMA	55
13.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cronograma	55
----	------------------	----

TABLAS

I.	Presupuesto de gastos de la investigación	58
----	---	----

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en investigar los aspectos técnicos necesarios para el análisis y diseño de viviendas de un nivel, utilizando perfiles de acero conformado en frío, como una solución económicamente viable para su construcción en Guatemala. Puesto que en el país aún no existe una normativa para este tipo de sistema estructural, es necesario desarrollar un procedimiento y especificaciones de análisis y diseño compatible con las regulaciones actuales de Agies.

Guatemala cuenta con un déficit habitacional alto, ya que un 44 % de personas no poseen una vivienda adecuada (Instituto Nacional de Estadística, 2011). Además es un país con alto nivel de actividad sísmica y de sistemas tradicionales constructivos que poseen mucha incertidumbre acerca de la calidad de materiales y mano de obra utilizados, por lo que se busca una opción competitiva que disminuya los factores que inciden en su calidad, y que busquen disminuir el tiempo de aplicación, siempre cubriendo las garantías mínimas de seguridad.

Este estudio aporta una opción más para reducir el déficit habitacional, que permitirá competir con otros sistemas constructivos utilizados en el país, y se desarrolla la base técnica para el análisis y diseño de este sistema estructural en Guatemala. Dentro de los nuevos conocimientos, aportes y beneficios está la normativa y procedimientos de análisis y diseño del sistema constructivo para Guatemala.

El estudio consistirá en investigar los materiales utilizados en Guatemala, dentro de la primera parte se realizará un proceso iterativo para determinar la cantidad de muros necesario respecto al área techada para garantizar la seguridad de la estructura. Posteriormente se establecerán los cálculos para diseñar una vivienda de un nivel con el sistema estructural. Además se busca establecer estadística de análisis de costos para determinar si el sistema es viable económicamente.

El capítulo 1 describe las características del sistema constructivo de acero conformado en frío, para determinar los alcances y limitantes del sistema, y que se pueda observar la aplicación de este sistema constructivo. Asimismo, describir los materiales utilizados y características de estos para tener un panorama general del sistema constructivo.

Para pasar a la parte técnica, el capítulo 2 delimitará las variantes del sistema constructivo y establecerá los materiales a utilizarse en el país, también se determinarán los parámetros, gráficas, fórmulas y demás características técnicas de los materiales para utilizar en los cálculos, para lo cual se utilizará información de los proveedores y productores locales.

En el capítulo 3 se especificarán las bases para el diseño estructural, es decir, todos los fundamentos teóricos y la metodología que se utilizará para realizar los cálculos del sistema estructural. Además, un análisis iterativo de la cantidad de muros y de los arriostramientos necesarios para poder resistir cargas laterales, con el objetivo de tener un parámetro del mínimo necesario para que el sistema pueda resistir con los esfuerzos inducidos.

El capítulo 4 es un caso de estudio que será un modelo de una vivienda básica por medio del cual se determinarán todos los cálculos estructurales para

poder construir la vivienda, por lo que se establecerán todos los chequeos y la resistencia de los elementos y uniones del sistema basados en las condiciones de Guatemala, para generar un modelo completo y detallado del sistema.

Para comparar si el sistema de acero conformado en frío es rentable, en el capítulo 5 se presenta un análisis de costo, donde se presupuestará la vivienda del caso de estudio, contra una vivienda de mampostería reforzada de iguales dimensiones. Posteriormente un análisis de costos de materiales y mano de obra para determinar su viabilidad, finalmente se analizará cada sistema constructivo durante el tiempo, mediante el análisis histórico de los precios de sus materiales principales y mano de obra.

En el capítulo 6 se presenta una normativa compatible con las NSE de Agies, que permita regular la vivienda y así incentivar el uso correcto del sistema constructivo, para que la Agies tenga la capacidad de limitar el uso y garantizar la buena aplicación del sistema y la garantía de la seguridad estructural.

Se espera finalmente, aportar la base técnica para implementar y aplicar un sistema nuevo para la construcción de viviendas, que sea técnica y económicamente viable, que tenga una gran capacidad de desarrollo a largo plazo, y que la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (Agies), tenga la capacidad de regular el sistema y establecer una base para la supervisión que permita la construcción de viviendas.

2. ANTECEDENTES

El acero es uno de los materiales utilizado por excelencia dentro del área de construcción desde la revolución industrial en el siglo XIX. Desde esta época se empezó a trabajar masivamente para uso en edificaciones y otras obras de construcción, pero el trabajo del acero como material se utilizaba en fabricación en caliente, (Corporacion Aceros Arequipa, 2007).

Conforme el avance del tiempo, la investigación y la tecnología, empezó el auge del acero conformado en frío, y en la década de 1940, este material empezó a tener gran aceptación para la industria, aunque empezó siendo utilizada, principalmente en aplicaciones como automóviles, bicicletas y electrodomésticos, (Kalpakjian & Schmid, 2002).

En 1946, George Winter de la Universidad de Cornell empezó a trabajar en la investigación para el diseño de miembros de perfiles de acero de bajo espesor conformado en frío. Sus resultados abrieron la puerta para la introducción y producción de dicho material en el área constructiva, principalmente utilizado como elementos secundarios, (Pfenniger, 2010).

Los elementos estructurales de lámina delgada conformados en frío han sido de gran aceptación en el medio debido a que presentan diferentes ventajas como bajo peso, economía de producción, mejor relación con el medio ambiente y estandarización de la producción, pero también deben enfrentarse a los inconvenientes de su bajo espesor y las diferencias del cálculo de esfuerzos comparado con los perfiles trabajados en caliente, (Molina & Ortiz Porras, 2006).

Estudios e investigaciones recientes han ido determinando que las propiedades del acero como la fluencia, resistencia a tracción y el alargamiento, son modificadas por el conformado en frío. Mediante ensayos de laboratorio se ha ido mejorando la información acerca de la capacidad elástica e inelástica de los materiales, lo que ha permitido el desarrollo de normas para su producción y para su utilización, (Cassano, Hernán, & Grzelak, 2006).

Por los avances tecnológicos, los elementos de acero conformado en frío han ido ganando importancia y generando sistemas constructivos para viviendas, aun en países con alta amenaza sísmica, y compiten directamente con sistemas constructivos como mampostería y concreto fundido, generando una gama de ventajas, incluyendo su capacidad de deformación, lo que lo hace ser una opción para construcción de viviendas, (Hernández Castillo & Ortiz Lozano, 2014).

Actualmente en Guatemala, el acero es un material que se utiliza comúnmente en la construcción, no obstante, fue en 1960, que nace la primera planta de laminación de acero, la cual funcionaba en caliente. (Fábrica de productos de acero para la construcción, 2014). Antes de esa época todo el material era importado, lo cual abrió las puertas para que el país empezara a aumentar el auge del uso del acero.

El uso del acero laminado en caliente es muy común en muchos productos como varillas de acero, alambre y otros perfiles. Pero actualmente se está importando y elaborando perfiles conformados en frío en Guatemala, pues estos presentan otras características tanto de producción, así como cualidades y capacidades diferentes respecto a los perfiles de acero conformado en caliente, (Grupo AP, 2009).

La producción y uso de elementos conformados en frío ha ido aumentando en la actualidad, pues estos son utilizados en diferentes áreas como elementos no estructurales o secundarios, y se tienen elementos como costaneras y otros perfiles utilizados en estructuras de techos, también es muy común el uso de perfiles conformados en frío como canales, postes y angulares que son utilizados en el área de tablayeso o materiales de tablavamento en tabiques, (Corporación Aceros de Guatemala, 2012).

A pesar de ser materiales muy utilizados, únicamente se utilizan en aplicaciones sencillas y como elementos secundarios y no estructurales, pero en muchos países se ha estado investigando y trabajando con elementos conformados en frío como elementos estructurales. El material tiene la capacidad de trabajar como elemento principal para la construcción de viviendas, siendo un sistema completo e integral que permite la construcción de todo tipo de viviendas, que entra a competir directamente con sistemas tradicionales como mampostería, y que presenta diferentes ventajas, (Bautista Cepeda, 2013).

El sistema constructivo ha empezado a investigarse y a trabajarse en varios países, en cuanto a la parte de especificaciones para acero conformado en frío, los Códigos AISI y AISC de los Estados Unidos son de los más importantes en cuanto a investigación y publicaciones, los cuales periódicamente revisan y actualizan. Es por eso que, los países debido a su reciente uso, están tomando las medidas para adaptar el sistema en su medio, y velar y garantizar el adecuado uso del sistema conforme a los materiales locales, países como Chile (Instituto Chileno del Acero, 2009) o Ecuador (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) han creado documentos que normen el uso y garanticen que se cumplan los requisitos para garantizar la seguridad de las personas y que no se abuse del sistema constructivo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de vivienda y el déficit habitacional es una de las principales problemáticas que necesitan ser cubiertas para mejorar la calidad de vida de las personas. Actualmente, muchas personas se encuentran viviendo en condiciones precarias y con viviendas que no son dignas y que generan otra gama de problemas.

Actualmente en Guatemala se construyen viviendas unifamiliares con sistemas tradicionales, tipo mampostería, que han mejorado las condiciones de vida y la seguridad familiar, y otros sistemas constructivos que han ingresado a Guatemala como viviendas de concreto monolíticas que han mejorado los tiempos de construcción, pero tienen otras limitantes, tales como gran cantidad de fisuras y filtraciones de agua en invierno, necesidad de utilización de formaletas de alto costo de inversión, limitantes de diseño arquitectónico para poder adaptar la formaleta, entre otros.

A pesar de que existen opciones para construir viviendas, los materiales utilizados y la forma de construcción permiten mucha variación en el tipo y calidad de las construcciones, por lo que es necesario investigar nuevas tecnologías que ayuden a brindar soluciones y ventajas adicionales para solventar la problemática.

En Guatemala, aún hace falta investigación e inversión en nuevas tecnologías constructivas, ya que se puede observar que en otros países desarrollan y aplican sistemas constructivos nuevos para obtener otras ventajas y así tener opciones para construcción de casas.

La construcción de viviendas de acero ha tenido auge en otros países por ser un sistema estructural fácilmente adaptable a diferentes condiciones, y porque presenta ventajas como seguridad estructural, durabilidad, disminución de desperdicios de materiales, facilidad de construcción, ahorro de tiempo en procesos constructivos y muchas otras ventajas, pudiendo obtener viviendas para todo tipo de posibilidades.

Por ellos es importante analizar los parámetros y configuraciones del sistema para resistir fuerzas laterales en construcción de viviendas con acero conformado en frío para su uso en Guatemala, asimismo, los elementos constructivos y generar metodologías de análisis que trabajen de la mano con normativas de construcción y reglamentos que regulen el diseño.

El hecho de que sea una tecnología nueva en Guatemala, requiere que se analice el sistema constructivo basado en investigaciones de otros países, pero adaptado a las condiciones y a los materiales que se trabajan en Guatemala. Por lo que se espera generar un normativo que sea compatible con la reglamentación actual de viviendas de Guatemala de Agies, ya que esta no desarrolla este sistema constructivo.

La investigación de este sistema constructivo permitirá cuestionar sobre lo que sería necesario proponer y regular su uso para el país. Y de la mano de la regulación, debe haber una normativa para velar porque la introducción del sistema cumpla y sea garante de medidas que provean una adecuada respuesta estructural al ser un país altamente sísmico.

Ante lo expuesto se plantea responder a la siguiente interrogante:

¿Cuáles son las condiciones necesarias para el análisis y diseño resistente a cargas laterales de viviendas, construidas con acero conformado en frío, que permitan introducir el sistema a Guatemala?

Lo anterior conduce a formular preguntas secundarias:

¿Las propiedades y características de los perfiles y materiales complementarios existentes en el país son congruentes con las disposiciones para cargas laterales exigidas por las normativas internacionales?

¿Cuál es la cantidad mínima de muros y arriostramientos que garanticen un límite mínimo de seguridad estructural de una vivienda?

¿Cuál es la metodología de análisis y diseño para una vivienda, y cómo se puede adaptar para su aplicación en Guatemala?

¿Es posible que esta metodología de construcción pueda ser rentable técnica y económicamente, para competir con los métodos tradicionales utilizados en Guatemala?

¿Se puede aplicar el sistema de viviendas de acero conformado en frío en Guatemala?

¿Cómo regular los parámetros técnicos de manera compatible con las normativas NSE 2010 de Agies?

4. JUSTIFICACIÓN

La construcción de viviendas unifamiliares con perfiles de acero conformado en frío, es un tema que entra dentro de las líneas de investigación vigentes en la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, enmarcado dentro de nuevas tecnologías en ingeniería estructural, ya que se puede considerar en el país como de sistemas estructurales novedosos, debido a que el mismo aún no es utilizado en Guatemala como sistema estructural para construcción de viviendas.

Conviene decir que, a pesar de que la construcción de viviendas en Guatemala ha tenido auge en los últimos años, el déficit habitacional sigue siendo también alto, ascendiendo a 1 312 759 hogares, para un 44 % de déficit (Instituto Nacional de Estadística, 2011). Otro elemento considerado preocupante es la seguridad habitacional de las personas, debido a que existen muchas viviendas que se construyen con materiales de baja calidad o con sistemas constructivos inadecuados, por lo que la búsqueda tecnológica industrializada y con disminución de incertidumbres de viviendas es necesaria.

Es por esto que muchos países han optado por buscar nuevas tecnologías e invertir en la investigación y desarrollo de métodos constructivos que cumplan con altos estándares de calidad, y que también sean competitivos en el plano económico. Aquí es donde el desarrollo de la construcción de viviendas con acero conformado en frío, como elemento estructural, es una opción viable y que se utiliza en gran magnitud en otros países. El sistema también tiene la

ventaja de ahorrar tiempo, incluso en emergencias sería una opción clave para responder de inmediato a las catástrofes.

Este tipo de construcción no se limita a usos pequeños, es por eso que conviene investigar las diferentes opciones y variedades de estilos de viviendas, siempre con enfoque a una vivienda integral, segura y económica, por lo que el uso de diferentes materiales complementarios y distintas consideraciones puede incidir en la estructura.

Existen numerosas variantes de configuraciones para la construcción de viviendas, lo que incluye varios materiales tanto para cerramiento como para la cubierta, por ello se pretende dar a conocer los distintos sistemas existentes. Para efectos de la presente investigación, se enfocará en el sistema de paneles de fibrocemento y un sistema de cubierta a dos aguas que pueda construirse con *plywood*, shingle o lámina de zinc.

Se optará por investigar, específicamente este sistema constructivo, porque son materiales que se pueden conseguir con facilidad en el medio y ser un sistema constructivo económico que beneficie a personas con menor poder adquisitivo.

Teniendo en cuenta el sistema constructivo seleccionado, es necesario determinar las consideraciones para los análisis de sismo y de viento de la vivienda, según las Normas de Seguridad Estructural de Agies.

Llegado a este punto, habría que establecer un caso de estudio para generar el análisis y diseño estructural, y posteriormente la cuantificación y costo de la construcción de la misma y compararla con la misma vivienda, pero construida con un método constructivo de mampostería utilizado en la

actualidad, para generar una comparación de costos y analizar las ventajas y desventajas de ambos métodos constructivos.

Por último, para contribuir con la Agies, se realizará un apéndice que contenga directrices, parámetros y otras condiciones especiales a tomar en consideración para el diseño y construcción de viviendas de acero conformado en frío, pues el código menciona el sistema constructivo, pero no lo aborda, y por ser una tecnología que está teniendo auge en otros países, es necesario investigar y establecer parámetros mínimos para regular la construcción y garantizar la seguridad de las mismas.

5. OBJETIVOS

General

Establecer las consideraciones para el análisis y diseño resistente a cargas laterales de viviendas, construidas con perfiles de acero conformado en frío, para introducir el sistema en Guatemala.

Específicos

1. Determinar si las propiedades y características de los perfiles y de los materiales complementarios existentes en Guatemala son congruentes con las disposiciones exigidas por las normativas internacionales.
2. Realizar análisis para establecer una recomendación de cantidad mínima de muros y arriostramientos que permitan garantizar un límite mínimo de seguridad estructural de la vivienda.
3. Explicar mediante un caso de estudio, la metodología de análisis y diseño estructural para una vivienda, adaptando su aplicación para la región de Guatemala.
4. Comparar los costos del sistema de perfiles de acero conformado en frío contra los costos del sistema de mampostería reforzada, mediante un análisis de costo y una proyección en el tiempo de los sistemas, para determinar su rentabilidad técnica y económica.

5. Desarrollar una normativa compatible con las NSE 2010 de Agies que permita regular los parámetros y condiciones necesarias para el diseño de viviendas de acero conformado en frío, para la aplicación del sistema constructivo en Guatemala.

6. ALCANCES

Este estudio incluirá una investigación general sobre las distintas tecnologías y sistemas de perfiles de acero conformado en frío aplicado a viviendas. Se incluirá un resumen de las diferentes variantes del sistema estableciendo las diferencias entre cada componente que puede variarse, y se establecerán los criterios de aplicación de cada variante.

Se investigarán los materiales que actualmente se producen o distribuyen en el país para poder entender el mercado actual, y visualizar las limitantes que se podría tener a la hora de aplicar el sistema constructivo en el país. En esta exploración se debe establecer los materiales para uso estructural del sistema, los materiales secundarios que se utilizan como cerramientos y cubiertas, y la otra parte importante del sistema que son las uniones y materiales para realizar conexiones.

Finalmente se analizará la construcción de viviendas con perfiles de acero conformado en frío con paneles de fibrocemento, pues es un material que se utiliza con mucha frecuencia en el medio, y que puede servir para lograr acabados arquitectónicos, desde tradicionales hasta muy específicos. Además, que el material se maneja con frecuencia en la construcción y presenta buena durabilidad ante los agentes climáticos.

El objetivo es establecer los parámetros estructurales para análisis y diseño de viviendas de un nivel, para cargas de sismo y de viento que permitan garantizar la seguridad de la estructura. Investigar los parámetros es

fundamental para establecer una normativa compatible con las condiciones materiales locales.

El caso de estudio corresponde a una vivienda con dimensiones reales que establecerá el proceso que debe servir para analizar y diseñar una estructura, y también identificará las limitantes del sistema o puntos críticos a considerar para aplicarlo a otros modelos.

Una parte clave de la investigación es identificar una cantidad mínima de muros y de rigidizantes que debe contener una vivienda para garantizar el buen desempeño de la estructura con este sistema, por lo que se deberá aplicar estadística de varias distribuciones para establecer una relación matemática que brinde una cantidad mínima de muros a colocarse.

Por otra parte, se investigará el sistema constructivo o solución estructural, considerando el aspecto financiero, pues se quiere evaluar el sistema constructivo como respuesta al déficit habitacional. También se evaluará la factibilidad económica y las ventajas como disminución de la incidencia de la calidad de los materiales y mano de obra en el proceso constructivo, ahorro de tiempo y protección del medio ambiente. Se generará un presupuesto de la vivienda del caso de estudio, y se comparará con el presupuesto de la vivienda con un sistema utilizado en el medio como mampostería reforzada.

Cabe mencionar, que lo más importante de la investigación es el apéndice que se realizará para apoyar a la normativa de Agies, la cual describirá los parámetros necesarios mínimos que deben considerarse para el análisis y diseño de estructuras de acero conformado en frío. También se incluirán otros parámetros a utilizar y medidas necesarias para la construcción que estén

basadas en normativas internacionales, pero adaptadas a las condiciones de Guatemala.

7. MARCO TEÓRICO

El acero es un material que se ha utilizado en la construcción desde hace muchos años, y como elemento estructural se ha utilizado, principalmente conformado en caliente, para lo cual se emplean diferentes métodos de cálculo para diseñar tanto los elementos estructurales como las conexiones. Sin embargo, dentro de los perfiles de acero con uso estructural, existe un método de producción que trabaja el acero perfilado o conformado en frío, el cual trae consigo una serie de variantes tanto de producción como de propiedades del material.

7.1. Acero conformado en frío

El acero conformado en frío es producido mediante el rolado, extruido o estirado a una temperatura debajo de la recristalización del metal, normalmente este proceso es dado a temperatura ambiente, pero debido al proceso en sí, el metal llega a alcanzar temperaturas hasta de 200 °C. El trabajo en frío del metal produce fragmentaciones del grano, movimiento de los átomos y distorsión de la malla, que básicamente distorsiona el grano y reduce su tamaño, a diferencia del proceso en caliente que refina la estructura del grano, por lo que, para trabajo en frío se requiere mayor presión que para el trabajo en caliente, (Mantilla, Mejía, Rodríguez, Vaca, 2011).

El acero conformado en frío es un material con propiedades totalmente distintas al acero conformado en caliente, por lo cual su comportamiento es distinto, y a lo largo del tiempo ha tenido una gran cantidad de investigaciones que logran adecuar los análisis numéricos a las capacidades y comportamiento

del material (Walker, 1975). La investigación y los datos numéricos que respalden el material es básico, además sirve para establecer límites y debilidades que hay que tomar en consideración para restringir el uso de los materiales en construcción.

Los ensayos e investigaciones de laboratorio han apoyado la utilización del acero conformado en frío en los últimos años, ya que el acero conformado en frío ha sido usado, principalmente como elementos estructurales secundarios, y no como elementos estructurales principales. El comportamiento del material ha incidido en su utilización, por lo que se requiere conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. (Martínez Contreras, 2002).

7.2. Propiedades del acero conformado en frío

El acero producido en frío posee propiedades naturales diferentes comparadas con el acero tradicional utilizado en construcción, teniendo como principales atractivos alta resistencia y un bajo peso que permite adaptarlo debido a su disminución de costos de traslado y manipulación, (Yu; LaBoube, 2010).

Este material adquiere deformaciones en el rango plástico en su proceso de producción, por lo que adquiere una resistencia mayor, y esto permite obtener secciones con acero en frío de chapa más delgada con altas resistencias, pero, por ser chapas más delgadas, la condición crítica es el pandeo local, lo que le da limitantes de su uso.

Una parte fundamental del material es su peso, son perfiles livianos que permiten reducir el peso muerto de la estructura, lo que incide directamente en los aspectos sísmicos de la edificación y su comportamiento. Debido a que son

perfiles delgados, esto incide en la forma de los perfiles, que están relacionados directamente con sus formas geométricas, como la propiedad de inercia que afecta la resistencia de la estructura.

La principal característica que diferencia el acero conformado en frío, es que debido a que sufre de pandeo local, posterior a que existe algún daño en los perfiles, estos continúan desarrollando capacidades postelásticas, las cuales son tomadas en consideración en el diseño.

7.3. Viviendas de acero conformado en frío

La tecnología ha permitido buscar soluciones para la construcción de viviendas, siendo el sistema de construcción con acero conformado en frío una de las soluciones actuales en muchos países, incluso en Latinoamérica. El uso del acero como material estructural está en auge, y el material al complementarse con otros permiten la construcción de viviendas atractivas y con altos estándares de calidad.

El acero conformado en frío tiene la ventaja de que tiene una gama de variedad de elementos y formas de responder estructuralmente a las solicitaciones necesarias, por lo cual se puede ajustar fácilmente a diferentes tipos de arquitectura y ser versátil para elegir lo más conveniente para la seguridad y economía de las viviendas. (Sarmanho Freitas; Moraes de Crasto, 2007).

Al observar ejemplos de viviendas construidas en acero conformado en frío, se puede ver la cantidad de detalles que hay que cuidar, por lo que conocer las diferentes formas con las que se puede trabajar es vital para brindar una

solución adecuada a las diferentes formas de construcción, (eTeams International Ltd., 2006).

El uso adecuado del sistema constructivo y las investigaciones que se han desarrollado permiten su uso para zonas de riesgo alto sísmico, por lo que es un sistema viable para utilización en viviendas de uno y dos niveles.

7.4. Metodologías de diseño

El diseño de elementos de acero conformado en frío siguen la misma filosofía que las de acero conformado en caliente, utilizando las metodologías LRFD (diseño por factores de carga y resistencia) y ASD (diseño por esfuerzos permisibles), por sus siglas en inglés.

La metodología LRFD aplica factores de mayoración a las cargas de servicio que se utilizan en el diseño estructural, y las propiedades de los materiales que intervienen son afectadas por un factor que reduce su capacidad, para lograr que un miembro sea satisfactorio las cargas factorizadas deben ser menores a la resistencia del elemento factorizado.

En cambio la metodología ASD es considerada más conservadora, utilizando el método para dosificar cargas, se busca que los elementos tengan propiedades suficientemente altos para prevenir que el esfuerzo máximo exceda el esfuerzo permisible, utilizando factores que afectan las cargas de servicio y la resistencia del material, (McCormac, 2002).

Los elementos de acero conformado en frío están sometidos principalmente a esfuerzos de flexocompresión, los cuales son más complicados que los esfuerzos de compresión pura o flexión pura, porque

involucra problemas de estabilidad así como el pandeo, así como deformaciones producidas, (Yong Ayón, 2007).

Asimismo, el diseño estructural de la estructura de acero conformado en frío está basado en que el techo debe actuar como diafragma de las paredes, para garantizar la transmisión de las cargas a los muros. Es importante entender que este tipo de perfiles fallan principalmente por pandeo local, pero continúan con sus capacidades pospandeo, lo cual es clave en el análisis estructural.

Además, los muros de la estructura se diseñan como muros portantes, es decir muros que poseen una función estructural dentro del sistema, y que soportan otros elementos estructurales. Los muros portantes del sistema de acero conformado en frío están diseñados para resistir las fuerzas producidas por cargas gravitacionales. El muro portante debe ser complementado por alguna alternativa que resista fuerzas laterales.

La alternativa para resistir cargas laterales como el viento y el sismo son los arriostramientos, los cuales se diseñan de manera que estos fallen en condiciones predeterminadas, con el fin de garantizar que la estructura se mantenga utilizable durante los percances.

7.5. Normativas

- Agies busca cumplir la premisa de proteger la vida humana, para lo cual inicialmente trabajó con las normas recomendadas Normas para la Reducción de Desastres (NRD), las cuales eran un conjunto de documentos que brindaban recomendaciones en materia de diseño

estructural, las cuales eran coordinadas con la Conred (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres).

Posteriormente, en 2010, Agies con colaboración de Conred y del Instituto Nacional de Vulcanología, Sismología e Hidrología (Insivumeh) presentan el documento de *Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala*, las cuales son normativas que regulan parámetros, metodologías de cálculo y supervisión para la construcción de diferentes obras de infraestructura, (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2010).

Las Normas de Seguridad Estructural (NSE) de Agies son exigidas para trabajos del Estado de Guatemala, y también han sido adoptadas por Municipalidades para el cumplimiento de garantías mínimas constructivas, por lo que estas tienen carácter legal en gran parte del país, y son ejemplo de buena práctica constructiva. Agies se ha encargado de ir construyendo normativas específicas para las diferentes obras, teniendo muchas normas aún en investigación.

Para la parte de viviendas se tiene la Norma NSE 4-10 que da los requisitos para viviendas y edificaciones menores de uno y dos niveles, donde habla de criterios, lineamientos y demás parámetros para regular los materiales en el país y algunas especificaciones generales para elementos constructivos como cimentación, muros y cubiertas. Por otro lado, para sistemas constructivos puntuales, se trabaja una normativa específica, como es el caso de la NSE 7,4, que trabaja mampostería reforzada, la cual brinda requisitos de materiales empleados, así como metodologías de diseño y parámetros de análisis y diseño estructural.

Actualmente, Agies reconoce la existencia de nuevos sistemas constructivos, pero habla de que debe ser revisado y aprobado por la Asociación previo a su utilización, por lo que un sistema constructivo nuevo debe tener un Certificado de aptitud o idoneidad técnica extendida por la asociación.

- El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) trabaja con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE, donde en su Norma NTE INEN 1 623:2009 de perfiles estructurales conformados en frío, ha trabajado la parte técnica de los materiales del país, ayudando a observar los requisitos e inspección del material. Regula los requisitos y tolerancias en cuanto a dimensiones y propiedades de las secciones, así como requisitos mecánicos de los materiales, brindando tablas y otras especificaciones, (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).
- El Instituto de Ingeniería Estructural y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (SEI/ASCE) es una de las entidades que han invertido en la investigación y desarrollo de normativas de acero conformado en frío. En Specification for the Design of Cold-Formed Stainless Steel Structural Members proporcionan los criterios de diseño para determinar los parámetros de miembros estructurales y conexiones para uso en edificaciones y otras estructuras con cargas estáticas.

Los criterios para cargas de tensión y compresión, así como miembros a flexión, y otras propiedades como corte y desplazamientos para combinaciones de cargas están dados por esta normativa, (SEI, Structural Engineering Institute; ASCE, American Society of Civil Engineers, 2002).

- Instituto Estadounidense de Hierro y Acero (AISI) son una serie de documentos que se encargan de actualizar, investigar y desarrollar para el uso de acero conformado en frío, siendo el más importante la Norma: North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. Que son especificaciones que tienen mucha aceptación, para la cual recopilamos información de Canadá, Estados Unidos y México. Actualmente, las últimas actualizaciones son de 2013, el cual incluye guías y manuales para los materiales de acero conformado en frío e incluso hay un estudio que se llevó a cabo durante 3 años acerca del diseño sísmico, para componentes principales y secundarios (American Iron and Steel Institute, 2013).

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

El sistema de construcción de viviendas unifamiliares de un nivel con perfiles de acero conformado en frío puede ser técnica y económicamente viable para su aplicación en Guatemala, debido a que presenta capacidades técnicas que garantizan la resistencia, seguridad y durabilidad del sistema, asimismo, ventajas económicas al ser un sistema que busca la reducción de desperdicios, industrialización de los materiales y procesos de ensamblaje sencillos, por lo que es una opción que puede ser adaptable a nuestro medio constructivo.

8.1. Variable independiente cuantitativa

Análisis estructural, diseño estructural y costo de viviendas con sistema estructural de acero conformado en frío.

- Indicadores
 - Fuerza lateral de carga de sismo
 - Fuerza lateral de carga de viento
 - Deformaciones del sistema estructural
 - Resistencia de esfuerzos del sistema
 - Costo de los materiales
 - Variación en el tiempo de costos

8.2. Variable dependiente cuantitativa

Comportamiento estructural del sistema de perfiles de acero conformado en frío.

- Indicadores
 - Ductilidad del sistema estructural
 - Capacidad de disipación de energía
 - Pandeo local de los elementos
 - Parámetros numéricos de los materiales
 - Rigidez del sistema estructural
 - Espesores de los perfiles de acero
 - Capacidad resistente de los materiales

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y MATERIALES UTILIZADOS

- 1.1. Historia y antecedentes del acero conformado en frío
- 1.2. Antecedentes del sistema
- 1.3. Caracterización del sistema constructivo
- 1.6. Materiales utilizados y propiedades

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

- 2.1. Elementos estructurales y aplicaciones
- 2.2. Tipología del sistema y configuraciones
- 2.3. Perfiles utilizados en Guatemala
- 2.4. Predimensionamiento de elementos

- 2.5. Uniones y montaje
- 2.6. Consideraciones para montaje

- 3. BASES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL
 - 3.1 Fundamentos teóricos del sistema
 - 3.2 Metodología de cálculo estructural
 - 3.3 Chequeos y revisión de estructura
 - 3.4 Análisis de cantidad de muros y arriostramientos

- 4. CASO PRÁCTICO
 - 4.1 Descripción caso de estudio
 - 4.2 Parámetros y consideraciones
 - 4.3 Análisis estructural de la vivienda
 - 4.4 Resultados estructurales y modelo final

- 5. ANÁLISIS DE COSTOS
 - 5.1 Cuantificación y presupuesto de caso de estudio
 - 5.2 Cuantificación y presupuesto de vivienda de mampostería reforzada
 - 5.3 Análisis de costos

- 6. APÉNDICE PARA NORMATIVA AGIES.
 - 6.1 Alcance, contenido y supervisión técnica
 - 6.2 Materiales, perfiles y propiedades
 - 6.3 Métodos de análisis del sistema
 - 6.4 Parámetros y consideraciones para diseño
 - 6.5 Requisitos de sismorresistencia
 - 6.6 Requisitos de viento

- 7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación busca adaptar un sistema constructivo de vivienda que no se utiliza en Guatemala, para lo cual se requiere determinar parámetros, condiciones y especificaciones basados en los materiales locales. En la misma línea, se pretende analizar un caso de estudio en el cual se pueda ver todos los análisis y cálculos que intervienen en el análisis y diseño de la estructura. Se pretende además, analizar la cantidad de muros y arriostramientos mínimos con los que debe contar una vivienda de un nivel, para resistir las cargas laterales a las que es sometida una estructura.

Por otro lado, se quiere realizar un análisis de costo en el cual se compare este sistema constructivo con el de mampostería reforzada, este es un sistema tradicional utilizado en el país, con el propósito de determinar si es rentable técnica y económicamente. Para finalizar, se generará un normativo para que sea utilizado por Agies para regular el uso de este sistema constructivo y garantizar su buen uso.

10.1. Diseño de estudio

El tipo de investigación a realizarse es de tipo mixta, pues se evalúan tanto parámetros cuantitativos como cualitativos en materia de determinar la adaptación del sistema constructivo al medio guatemalteco, y la capacidad técnica y económica que tiene el sistema en el país.

De acuerdo a la metodología de investigación será tipo no experimental, ya que no se prueba una relación de causa entre las variables.

10.2. Tipo de estudio

- Exploratorio: se determinarán todos los parámetros necesarios o incidentes para el análisis de estructuras como el proceso de producción de materiales, dimensiones y geometría, materiales utilizados y propiedades mecánicas de los mismos, datos que deben ser proporcionados por productores o importadores del producto.
- Descriptiva: se debe exponer la capacidad del sistema y sus diferentes configuraciones que pueden generarse mediante la variación de los diferentes componentes como muros, estructura de techo, elementos de resistencia a fuerzas laterales, entre otros. Además se busca establecer las ventajas y desventajas del sistema para poder tener claro los puntos fuertes del sistema y las limitantes que deben considerarse para aplicarlo correctamente como solución de ingeniería en construcción de viviendas.

Además, con base en la investigación se busca proponer una normativa que regule la aplicación y construcción de viviendas del sistema de acero conformado en frío.

- Correlacional: determinar una cantidad mínima de muros y arriostramientos para poder establecer un parámetro de distribución de longitudes de muros con base al área de techo, para garantizar el buen comportamiento y desempeño del sistema estructural, mediante el análisis de diferentes plantas arquitectónicas.
- Explicativo: en primer lugar se realizará un caso de estudio que permita establecer todo el proceso analítico necesario para calcular una estructura con sistema de acero conformado en frío, para ir buscando la

adaptación de parámetros y cálculos con las condiciones del país, y buscando que el análisis de fuerzas laterales como sismo y viento sea aplicado conforme a las condiciones locales, y que sirva para generar la propuesta de normativo.

Por otro lado, también se busca comparar la parte económica del sistema contra uno de mampostería reforzada, para determinar la capacidad técnica y económica del sistema y establecer si este puede ser competitivo en el medio actual, y analizando las diferentes variables conforme el tiempo que permitan sustentar su aplicación actual o futura en el país.

- Alcances: se espera tener una base de datos de los materiales, características y propiedades basados en los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño de estructuras con acero conformado en frío. Luego debe empezarse la parte descriptiva del sistema constructivo, enmarcar sus diferentes componentes y sus variantes en configuraciones y materiales, delimitando también, la metodología de análisis de dicho sistema.

A continuación se realizará un análisis de diferentes configuraciones de muros, iterando cantidad de muros y largos de los mismos con el fin de determinar un parámetro mínimo que sea necesario para resistir las fuerzas laterales, para posteriormente establecer una arquitectura de una vivienda mínima, que será la que se analice en el caso de estudio.

El caso de estudio tiene como finalidad establecer todo el proceso de cálculo de la estructura, analizando los componentes que intervienen, cargas, resistencias y sollicitaciones estructurales, y posteriormente analizar la

estructura con cálculos de fuerzas laterales de viento y sismo, que sirva para generar un modelo final donde se tome en cuenta materiales secundarios, perfiles utilizados en toda la estructura, uniones y montaje. El objetivo, aparte de demostrar todo el proceso analítico del sistema, es también ir adaptando todo a las condiciones locales del país.

Luego de tener establecido un modelo final de la estructura con todos sus detalles técnicos y estructurales, se procederá a utilizar el modelo de la misma vivienda, pero construida con mampostería reforzada, para lo cual se determinará el costo de cada una de las viviendas, y posteriormente analizar el costo de los materiales y de la mano de obra. Dentro de los materiales se analizará la tendencia histórica de los precios de los principales materiales utilizados en cada sistema en gráficas separadas, recopilando el incremento o disminución de los mismos, para sacar una tendencia futura de los mismos. A continuación se compararán los costos de los materiales en conjunto por sistema y se analizará el precio actual y futuro para determinar su rentabilidad económica, de igual manera se hará con el caso de la mano de obra.

Como último punto se determinará una normativa para que sea adoptada por Agies y que se tengan garantías mínimas que permiten aplicar el sistema en Guatemala y delimitar el uso del mismo como sistema constructivo, con el fin de garantizar que las construcciones con este sistema sean coherentes con criterios técnicos y estructurales adaptados al país.

- Indicadores: propiedades técnicas y mecánicas de los materiales del país. Normativas internacionales de las propiedades mecánicas de los materiales. Normativas internacionales de diseño de acero conformado en frío. Normativa nacional de análisis de cargas laterales. Costos de mano de obra y materiales del sistema. Variación de precios de

materiales conforme el tiempo. Variación del salario mínimo y salarios de mano de obra conforme el tiempo.

- Fases:
 - Primera fase: determinación de propiedades y características de perfiles y materiales complementarios de Guatemala.
 - Revisión documental: determinar ensayos, fichas técnicas y documentos para obtener parámetros, tablas, gráficas y fórmulas que ayuden a comprender el comportamiento de los materiales, propiedades físicas y mecánicas de los materiales producidos en el país o importados.
 - Plan de muestreo: se utilizará muestra no probabilística, ya que se pretende acercarse a proveedores y productores de materiales de construcción, principalmente los que producen los perfiles de acero en frío, y otros proveedores grandes que importan materiales como paneles de tablayeso, paneles de fibrocemento, plywood, shingle, clavos y tornillos. Para tener un muestreo más adecuado de las propiedades hay que tener, por lo menos 2 proveedores para cada material con la respectiva información técnica.

Diseño y validación de instrumentos de recolección de información

- Entrevistas: buscar a expertos en la materia para obtener ayuda de la parte técnica de los materiales, pero, también es valiosa la experiencia con los materiales y recomendaciones de cálculo y de instalación.

- Documentos: es de las partes más importantes, puesto que se necesita acceso a resultados de ensayos, manuales técnicos, tablas, gráficas y fórmulas de comportamiento físico y mecánico de los materiales.
- Datos estadísticos: de contarse con los datos de comportamientos de los materiales bajo sollicitaciones de carga, estadísticas del proceso de construcción, tolerancias y otros datos de interés para el cálculo.

- Marco metodológico

Es importante reunir la información de los proveedores y establecer las condiciones más críticas de los materiales, para cotejarlo con la bibliografía de normativas y tabular los datos en tablas y gráficas.

- Resultado esperado

Se espera obtener una base de datos de las principales propiedades y características de los materiales, que serán clasificados en tablas y gráficos dentro de la investigación, y tener un orden que permita su consulta simplificada durante los cálculos, para su posterior uso en la normativa.

- Variable independiente
Perfiles y materiales de Guatemala
- Variable dependiente
Propiedades, características, tablas y gráficas

- Segunda fase: análisis de configuración de muros para recomendar cantidad mínima de muros y arriostramientos.

- Revisión documental: para poder completar el proceso de iteración y análisis de configuración, es necesario tener la documentación de las propiedades de los perfiles y materiales que intervienen en el análisis, y es necesario leer normativas y manuales de diseño de viviendas de acero conformado en frío, para determinar el proceso de análisis fuerzas laterales.
- Plan de muestreo: se utilizará muestra probabilística debido a que se emplearán modelos diferentes de muros con arriostramientos, los cuales serán aleatorios, que se irán calculando y chequeando para solicitaciones de cargas mínimas exigidas para una vivienda, el objetivo es empezar con una configuración básica de una planta de 3 x 3 m e ir variando la dimensión de las plantas y longitudes de muros para poder ver la incidencia de los parámetros en el análisis de cargas laterales.

Diseño y validación de instrumentos de recolección de información

- Experimentos: debido al proceso iterativo que se emplearán, será en forma de experimentación que se utilizarán los muros, suponiendo condiciones básicas de muros, y se irá experimentando mediante el cambio de configuraciones, longitudes de muros, áreas de techo y número de arriostramientos.
- Documentos: será necesario la consulta de normativos internacionales tanto de diseño de viviendas como del cálculo y uso de propiedades de los materiales, además puede consultarse bibliografía para análisis de cargas laterales para determinar el proceso de cálculo a utilizarse.
- Marco metodológico: para determinar parámetros de cantidad de metros cuadrados de muros se establecerán diferentes plantas arquitectónicas

con longitudes de muros diferentes y cantidad de arriostramientos laterales, con el objetivo de evaluar su capacidad de resistir cargas laterales y establecer un índice de longitudes de muros basados en el área de techo, que sean necesarios para resistir cargas laterales.

Con base en las diferentes plantas y longitudes de muro, junto con la cantidad de arriostramientos necesarios, se realizará un proceso iterativo de cálculo con el cual se busca establecer la cantidad mínima necesaria para garantizar que la estructura resista cargas laterales.

- Resultado esperado: el objetivo de dicho experimento es establecer un índice o coeficiente mínimo, el cual se multiplica por los metros cuadrados de techo, para obtener la cantidad de metros lineales y de arriostramientos mínimos necesarios para poder garantizar la distribución correcta de cargas y el funcionamiento del sistema, y tener un diseño que permita tener una base de cálculo para empezar a diseñar estructuras eficientes.
 - Variable independiente:
Cantidad de muros y arriostramientos
 - Variable dependiente:
Análisis de configuraciones y cálculos

- Tercer fase: metodología de análisis y diseño estructural de vivienda mediante un caso de estudio.
 - Revisión documental: se necesita investigar en códigos y normativas los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño de una estructura, desde el diseño de la cubierta, hasta los

muros portantes y arriostramientos para cargas laterales, pasando por todas las uniones de los elementos. Es necesario también el análisis de las normativas nacionales de sismo y de viento para establecer las cargas laterales del diseño.

- Plan de muestreo: se utilizará muestra no probabilística, ya que se empleará un modelo arquitectónico de una vivienda básica ya establecida, se buscará un modelo de una vivienda que ya esté diseñada en mampostería reforzada para comparar el rendimiento del sistema estructural. Se trabajará el modelo con base en las normativas adaptadas a Guatemala, buscando establecer los parámetros mínimos que garanticen el buen funcionamiento del sistema.

Diseño y validación de instrumentos de recolección de información

- Documentos: se utilizarán las normativas necesarias para garantizar el correcto análisis y diseño estructural, de la misma manera se emplearán las normativas guatemaltecas para buscar utilizar los parámetros locales en el análisis de cargas laterales. Se utilizará la base de datos de los materiales locales para el cálculo.
- Datos estadísticos: se emplearán gráficos y estadísticos contenidos en fichas técnicas de materiales y en las normativas para establecer parámetros a utilizar dentro del cálculo.
 - Marco metodológico: se establecerá una planta arquitectónica basada en un diseño de vivienda básica previamente calculada de mampostería, para adoptar la misma arquitectura y adaptarla al sistema de vivienda de acero conformado en frío. Se procederá a

empezar con el predimensionamiento de la estructura, para realizar los cálculos pertinentes de análisis y diseño de la estructura. Se establecerán todos los chequeos necesarios para obtener una vivienda estructuralmente adecuada, y se determinarán los detalles técnicos y constructivos para tener un diseño final.

- Resultado esperado: se espera que mediante el caso de estudio se puedan analizar todas las variantes y cálculos necesarios para poder establecer que una estructura de acero conformado en frío para viviendas de un nivel es adecuado y se pretende adaptar todos los parámetros requeridos a las condiciones guatemaltecas, y finalmente presentar un modelo constructivo detallado de la vivienda.
 - Variable independiente:
Análisis y diseño estructural de vivienda
 - Variables dependientes:
Metodologías para cálculo, caso de estudio para ejemplo.
- Cuarta fase: comparación de costos del sistema de acero conformado en frío contra el sistema de mampostería reforzada.
- Revisión documental: principalmente en el caso de este estudio, los datos necesarios serán recabados de proveedores y productores de materiales, pues se necesitan obtener los precios de los materiales en el mercado actual, además contactar empresas con experiencia en estructuras metálicas livianas, para poder obtener precios de mano de obra para instalaciones. De

igual manera se obtendrán registros históricos de materiales, por lo que los mismos proveedores podrían facilitar estos datos, o instituciones como la Cámara Guatemalteca de la Construcción.

- Plan de muestreo: se utilizará muestra probabilística aleatoria simple, ya que la información que se espera obtener será de los proveedores, otorgándole igual peso a cada dato obtenido, para poder obtener los costos necesarios y realizar el análisis. Se pretende recaudar información y generar tablas con las tarifas obtenidas.

Diseño y validación de instrumentos de recolección de información

- Documentos: se necesita consultar bases de datos y catálogos de precios de materiales para poder generar el presupuesto de la construcción actual de la vivienda en estudio.
 - Expedientes: se necesitan informes y registros históricos de precios de materiales para poder generar presupuestos de acorde al mercado pasado, actual y futuro que permitan realizar el estudio de tendencia.
 - Datos estadísticos: se pueden obtener datos estadísticos de la tendencia de variación de precios conforme el tiempo, además investigar la variación de salarios mínimos de los últimos años.
-
- Marco metodológico: es necesario generar el presupuesto de ambos sistemas estructurales, para lo cual hay que cuantificar cantidades de materiales y de trabajo, por lo que se necesitará el modelo detallado de la vivienda de acero conformado en frío, y de igual manera el diseño final del modelo de mampostería reforzado

que ya estaba previamente calculado y firmado por un ingeniero estructural.

Se procederá a establecer montos totales de costo, y posteriormente generar gráficas y estadísticas respecto al costo de mano de obra y materiales respecto del tiempo.

- Resultado esperado: se espera que los resultados del análisis de costos actual determine que el sistema sí es competitivo dado sus condiciones técnicas que permiten ventajas tangibles, así como el costo que sea adecuado acorde a la demanda actual, por lo que se espera, que el sistema sea competitivo e incluso más económico que los sistemas tradicionales.
- Variable independiente:
Costos de los sistemas constructivos
- Variable dependiente:
Comparación de parámetros de los costos
- Quinta fase: establecer una normativa guatemalteca que permita regular los parámetros y condiciones necesarias para aplicación del sistema en Guatemala.
 - Revisión documental: para realizar un trabajo adecuado es necesario leer documentos de varias instituciones internacionales que trabajen el tema y que hayan desarrollado proyectos de investigación y experimentación. Por otro lado, también es clave conocer las normativas de Agies para ver los alcances de las mismas y seguir la misma línea de normativas.

- Plan de muestreo: se utilizará muestra no probabilística debido a que las normativas que se consultarán serán las que posean más documentación que sustente sus bases y teorías además, con base al caso de estudio se utilizará la información que sea necesaria para regular los cálculos y establecer parámetros acordes al país.

Diseño y validación de instrumentos de recolección de información

- Documentos: consultar normativas y manuales con normas internacionales que hayan trabajado el tema en material y que hayan desarrollado programas de investigación para sustentar las bases del sistema.
 - Marco metodológico: se trabajará la normativa buscando redactar regulaciones acerca de los materiales y sus propiedades físicas de mecánicas, así como establecer las metodologías de cálculo que permiten utilizarse. De igual manera se incluirán las tablas y datos requeridos para realizar los cálculos, así como fórmulas y gráficas necesarias para realizar el análisis y diseño estructural del sistema.
 - Resultado esperado: la normativa a establecerse debe ser redactada a manera de regular los alcances del sistema, así como regular todos los parámetros y consideraciones que inciden en el análisis, diseño y construcción del sistema de viviendas, por lo que se espera tener una normativa que ayude a la correcta implementación del sistema en el país y que ayude a fomentar el

uso correcto del sistema como solución a la problemática de déficit de vivienda.

- Variable independiente:
Normativa guatemalteca
- Variable dependiente:
Regulación de parámetros y condiciones, aplicación del sistema constructivo en Guatemala

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Revisión documental: recabar todos los datos acerca del sistema de acero conformado en frío con el motivo de enmarcar y presentar todo el panorama del sistema constructivo, además se debe investigar los materiales utilizados junto con sus características y propiedades. Se debe leer documentos que abarquen el estudio o aplicación del sistema constructivo como manuales, guías y normativos.

Trabajo de campo: es necesario entrevistar a proveedores e ingenieros que tengan experiencia en el uso de perfile de acero conformado en frío y sus materiales complementarios, para poder obtener experiencias y comentarios de ellos para tomar en consideración para el caso de estudio.

Plan de muestreo: se debe recopilar información acerca de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales producidos o importados en Guatemala para poder tener una base limitada y acorde al mercado local, por lo que se generarán tablas, gráficas y otros datos de interés que sirvan en el cálculo. Además se utilizará una planta arquitectónica de un modelo de mampostería reforzada ya diseñado, que sirva como base arquitectónica para trabajar el caso de estudio, y los posteriores cálculos a tratarse.

11.1. Técnicas de estudio y análisis numéricos

- Creación de base de datos: se utilizarán los datos de los proveedores o productores de los materiales y se cotejarán con los datos contenidos en las normativas, se emplearán los valores más críticos entre los datos

recopilados para generar tablas o gráficos que permitan utilizarse en los análisis y cálculos.

- Formulación de metodología de análisis de cargas laterales: para el proceso de determinar la cantidad mínima de longitudes de muros que permitan resistir cargas laterales se deben delimitar los cálculos necesarios para iterar basados en cargas estandarizadas, es decir con condiciones mínimas exigidas por la normativa para analizar las cargas laterales.
- Determinación de longitudes mínimas: basados en la iteración y cambio de geometrías de techo y de longitudes de muro, además de variar la cantidad de arriostramientos, se procederá a trabajar con varios modelos de viviendas mínimas para establecer longitudes mínimas de muro que permitan resistir las fuerzas laterales, es decir, que sean aptas para soportar la acción del viento y los sismos.
- Análisis de caso de estudio: basado en una planta arquitectónica de un diseño en mampostería reforzada, se procederá a determinar todos los cálculos pertinentes para poder establecer el diseño de los elementos y de las conexiones a utilizarse para la estructura de una vivienda de un nivel. El objetivo es evaluar todos los parámetros exigidos por una normativa, y adaptar los mismos a Guatemala, de manera que se pueda garantizar la integridad y seguridad de la estructura. Se debe obtener un diseño terminado y con especificaciones para poder edificarla.
- Análisis de costos: determinar la viabilidad técnica y económica del sistema constructivo, se elaborará un presupuesto para la vivienda de acero conformado en frío, y un presupuesto para la vivienda de

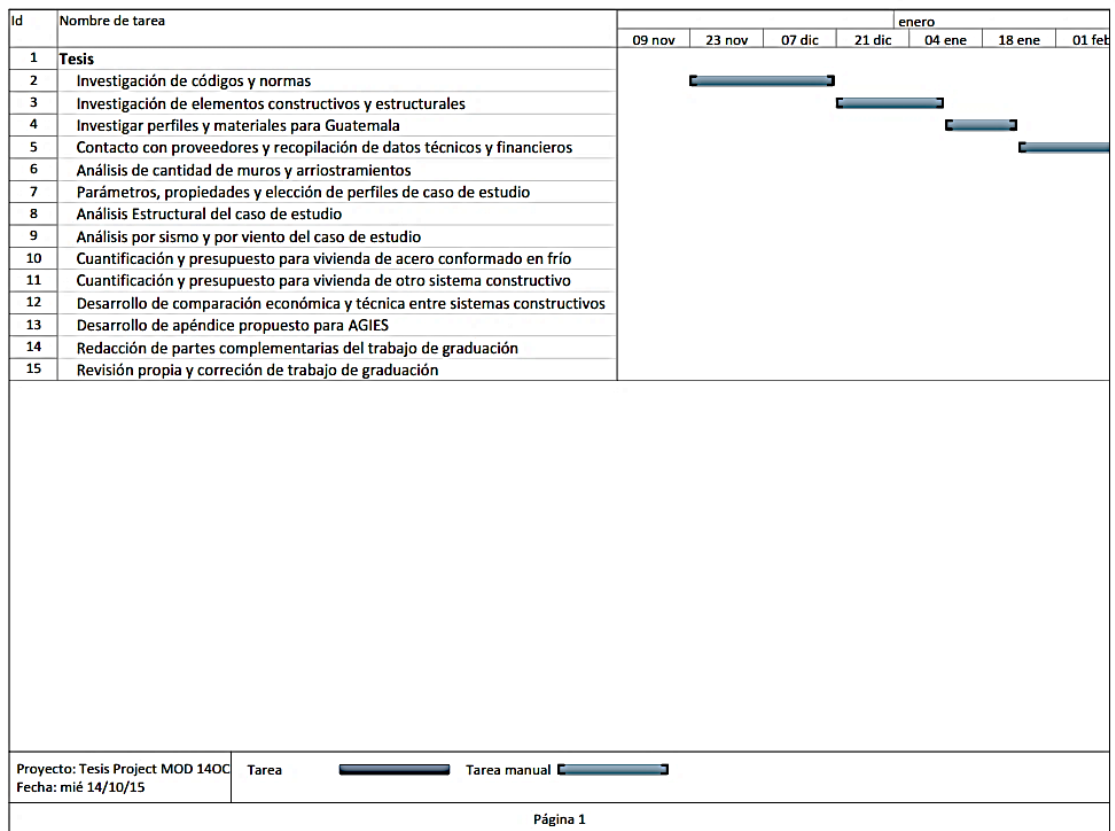
mampostería reforzada que ya estaba diseñado, estableciendo precios de materiales actuales y mano de obra del mercado. Se presentará la comparación mediante diagrama de barras, analizando precios de mano de obra y materiales.

- Predicción de costos en el tiempo: visualizar el avance del sistema constructivo a través del tiempo, se procederá a analizar el precio histórico de los principales materiales constituyentes de cada sistema, es decir los que tengan más incidencia en el precio final, se realizarán dos gráficas por separado donde se predecirá la tendencia de cada precio individual a futuro, y de igual manera se establecerá una gráfica de tendencia con los precios de mano de obra. Finalmente se realizará un promedio ponderado de dichas tendencias para predecir el precio de cada sistema a lo largo del tiempo y establecer conclusiones de la factibilidad de aplicar el sistema en el presente y a futuro.
- Redacción de normativa: como punto final para regular el sistema constructivo y aplicar el sistema constructivo en Guatemala, se redactará una normativa para que sea utilizada por Agies, donde se establezcan los parámetros tanto de los materiales, así como las consideraciones para analizar y diseñar estructuras con sistema de acero conformado en frío.

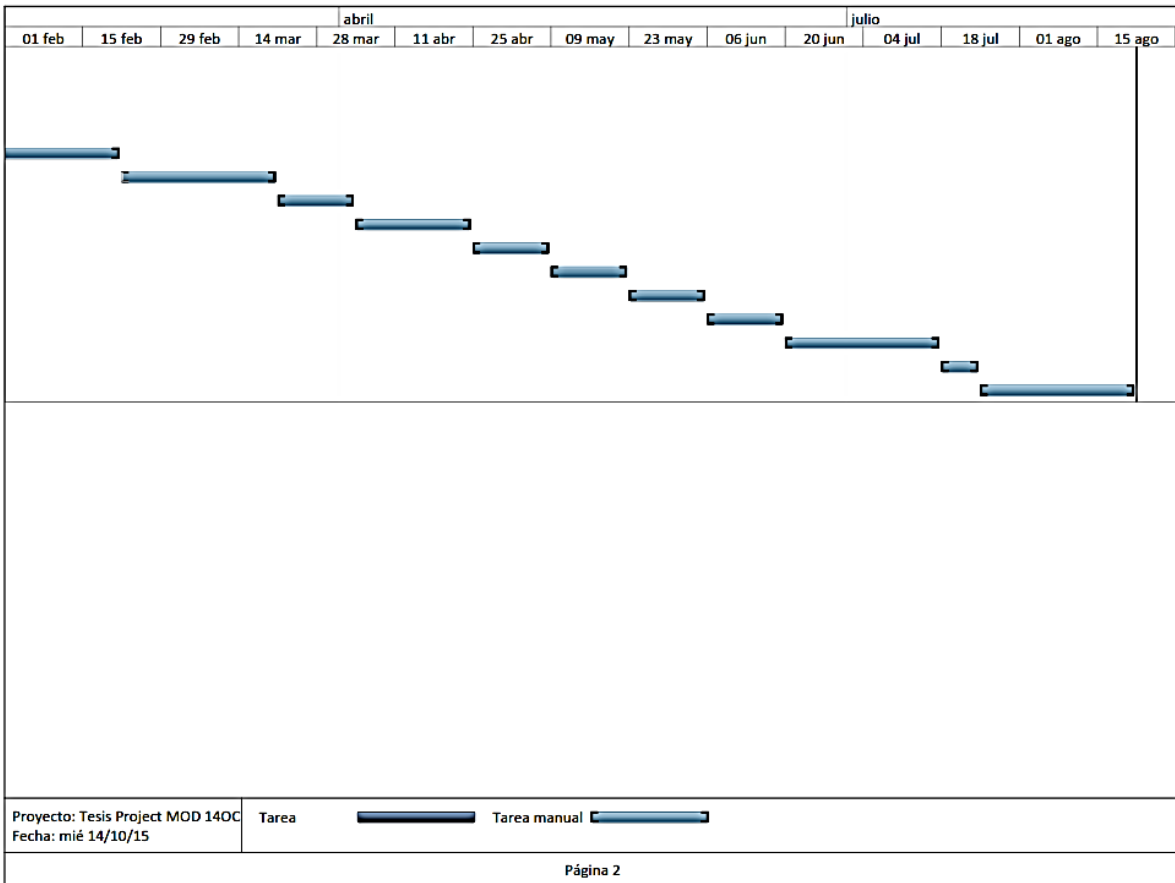
12. CRONOGRAMA

A continuación se presenta de forma gráfica los detalles de los análisis.

Figura 1. Cronograma



Continuación de la figura 1.



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project 2010.

13. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

El estudio que se realizará requiere de acceso a recursos materiales de bibliografía relacionada con el tema, dentro del cual se incluyen normativas y códigos internacionales, estos deben tratarse de conseguir el acceso gratuito, de ser necesario se tendría que adquirir la publicación de la misma.

De la misma manera, otro de los aportes vitales a la investigación es el recurso humano, pues se debe buscar personas que tengan experiencia trabajando con perfiles laminados en frío, con base en experiencia y bases teóricas aclarar dudas y entender partes de las normativas en las que se tenga alguna duda.

Además, parte de la investigación conlleva contacto con las industrias guatemaltecas para determinar cuáles son los materiales, perfiles, propiedades, calibres y otras especificaciones de lo que se usa localmente, para delimitar y reducir la extensión de la investigación y orientar su uso en Guatemala, por lo que se debe buscar información técnica y financiera de los elementos.

En la parte tecnológica, trabajar con un programa adecuado para el área de análisis sísmico y de viento, para realizar el análisis y obtener resultados sísmicos y entender cómo funciona el análisis para este tipo de estructuras. El resto de datos y cálculos podrán ser generados con hojas de cálculo.

La investigación es factible porque no se requiere de mucho recurso económico y puede representar un aporte tangible como solución al déficit

habitacional del país, buscando una tecnología que logre impacto y beneficios para la población en general.

Tabla I. **Presupuesto de gastos de la investigación**

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio	Total Parcial
1	global	Profesional de Área	Q 2 500,00	Q 2 500,00
1	global	Depreciación computadora	Q 1 500,00	Q 1 500,00
1	global	Tiempo de aire de teléfono	Q 300,00	Q 300,00
9	meses	Internet	Q 150,00	Q 1 350,00
1	global	Software	Q 1 000,00	Q 1 000,00
1	global	Material bibliográfico y fotocopias	Q 300,00	Q 300,00
1	global	Útiles de oficina	Q 100,00	Q 100,00
3	resmas	Papel bond	Q 35,00	Q 105,00
1	unidad	Impresora multifuncional	Q 550,00	Q 550,00
4	unidades	Cartucho de tinta para impresora	Q 125,00	Q 500,00
1	global	Empastado	Q 500,00	Q 500,00
1	global	Depreciación de vehículo	Q 750,00	Q 750,00
35	galones	Gasolina	Q 27,00	Q 945,00
TOTAL DE GASTOS				Q 10 400,00

Fuente: elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Iron and Steel Institute. *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members AISI S100*. Estados Unidos: AISI, 2013.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES. (2010).
3. BAUTISTA CEPEDA, R. *Diseño en Steel Framing*. Perú: Universidad de Piura, 2013.
4. CASSANO, A.; HERNÁN, B., Grzelak, F. *Resistencia última en perfiles delgados de acero conformados en frío - una comparativa de distintas normas, análisis mediante métodos numéricos y ensayos reales*. Argentina: Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. 2006.
5. Corporación Aceros Arequipa. *El Acero, lo que hay que saber*. Lima, Perú: Grupo Publicidad S.R.L., 2007.
6. _____. *Aceros de Guatemala Coporación AG*. [en línea]. <<http://www.acerosdeguatemala.com/>>. [Consulta: febrero de 2015].

7. eTeams International Ltd. *Ejemplo práctico: casa familiar de Constantin, Ploiesti, Rumanía*. Ploiesti: Steel Acess, 2006.
8. Fábrica de productos de acero para la construcción. ASSA. [en línea]. <<http://www.assa.com.gt>>. [Consulta: febrero de 2015].
9. Grupo AP. (2009). *Grupo AP, comercializadora de acero*. [en línea]. <<http://www.grupoap.com.gt>>. [Consulta: febrero de 2015].
10. HERNÁNDEZ CASTILLO, A., & ORTIZ LOZANO, J. A. *La construcción de viviendas con el sistema Steel Framing en zonas de subsidencia: Pertinencia y Sustentabilidad*. Labor & Engenho, 10. 2014.
11. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Norma técnica ecuatoriana 1 623:2009*. Ecuador: INEN, 2009.
12. Instituto Nacional de Estadística. *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI)*. Guatemala: INE, 2011.
13. KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. *Manufactural, ingeniería y tecnología* (Cuarta Edición ed.). Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall, 2002.
14. MANTILLA, F.; MEJÍA, C.; RODRÍGUEZ, R.; VACA, R. *Aceros Al Carbono*. 2011.

15. MARTÍNEZ CONTRERAS, F. *Propiedades mecánicas en aceros de bajo carbono laminados en frío*. Nuevo León: Univerisidad Autónoma de Nuevo León, 2002.
16. McCORMAC, J. C. *Diseño de Estructuras de Aceros – Método LRFD –*. (J. De la Cera Alonso, Trad.) México DF: Alfaomega, 2002.
17. MOLINA, M.; ORTIZ PORRAS, J. *Determinación del comportamiento bajo cargas concentradas de perfiles de lámina delgada. Ingeniería e Investigación*. 2006.
18. PFENNIGER, F. *Steel Frame y entramados de perfiles conformados en frío: algo de historia y desarrollos recientes*. Alacero. 2010.
19. RAMIREZ ALVA, C. B. *Diseño de Estructuras de Acero Formado en frío usando las especificaciones AISI 96*. México DF: Instituto Politécnico Nacional, 2005.
20. REYES IBARRA, I.; MEDINA, G. *Procesos de manufactura para el administardor*. México: Spanta, 2000.
21. SARMANHO FREITAS, A. M.; MORAES DE CRASTO, R. C. *Steel Framing: Arquitectura*. (A. Hoffa, Trad.) Río de Janeiro, Brasil: Asociación Latinoamericana del Acero, 2007.

